بررسی شیمی کرومیت به منظور تعیین پتروژنز و محیط تکتونیکی منطقه کلات خوش (غرب فریمان)

فاطمه خوش‌نیت[1*]، ایرج رساء[1] و سیما پیغمبری[2]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، مرکز بهار

نویسنده مسئول: Fatemeh.68.niat@gmail.com *

دریافت: ۹۳/۳/۱۶ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۱

چکیده

مجموعه افیولیتی کلات‌خوش در غرب شهرستان فریمان و استان خراسان رضوی قرار دارد. هارزبورژیت و کرومیتیت، سنگ میزبان کرومیتیت‌های موجود در منطقه را تشکیل می‌دهد. هارزبورژیت‌ها تحت دگرسانی سرپانتینی شدن قرار گرفته و نوع سرپانتین در آن‌ها لیزاردیت است. کرومیت در افیولیت‌های کلات‌خوش غالبا به صورت عدسی شکل، لایه‌ای و توده‌ای نامنظم و پراکنده رخ داده است. از مهم‌ترین بافت و ساخت‌های اولیه می‌توان به انواع افشان و توده‌ای و از بافت و ساخت‌های ثانویه به انواع کاتاکلاستیک و برشی اشاره کرد. از لحاظ ترکیب شیمیایی دو نوع کرومیت در منطقه کلات‌خوش تشخیص داده شد. میزان Cr_2O_3 و Al_2O_3 در کرومیت نوع اول به ترتیب شامل ۵۲ و کمتر از ۱۰ درصد بوده در حالی‌که میزان Cr_2O_3 و Al_2O_3 موجود در کرومیت نوع دوم به ترتیب ۳۸- ۳۴ و ۲۰/۳ تا ۲۰/۹۹ به دست آمد. بر اساس ترکیب شیمیایی، کرومیت‌های کلات‌خوش به کرومیت‌های نوع آلپی شباهت دارند. کرومیت‌ها از نوع کرومیت‌های با کروم بالا و هم‌چنین آلومینیوم‌دار هستند که در نمودار تکتونیکی TiO_2 در مقابل Al_2O_3 در محدوده بالای فرورانش و پشته میان اقیانوسی (MORB) قرار می‌گیرند. داده‌های شیمی کانی کرومیت‌های منطقه کلات‌خوش، حاکی از آن است که مجموعه مافیک- اولترامافیک کلات‌خوش از یک ماگمای مرتبط با پشته میان‌اقیانوسی منشا گرفته که متعاقباً در محیط فرورانش جایگزین شده است.

واژه‌های کلیدی: افیولیت،کرومیتیت، شیمی کرومیت، مجموعه مافیک- اولترامافیک، کلات‌خوش

مقدمه

مجموعه افیولیتی کلات‌خوش در غرب شهرستان فریمان و استان خراسان رضوی، بین طول‌های‌شرقی ″۵۹°۳۷′۰۰ تا ″۵۹°۴۰′۰۰ و عرض‌های‌شمالی ″۳۵°۳۹′۰۰ تا ″۳۵°۴۲′۵۱/۳ قرار گرفته است. توالی کاملی از یک مجموعه افیولیتی در این منطقه شناسایی شده که به علت به هم ریختگی ناشی از جایگیری و عملکرد پدیده‌هایی مانند دیاپیریسم‌های موضعی بر واحدهای سنگی، مجموعه افیولیتی مورد مطالعه، افیولیت ملانژ یا کالرد ملانژ نامیده شد [۵]. کرومیت کانی معمول پریدوتیت‌های گوشته‌ای و ساختمان افیولیت‌ها بوده که به عنوان یک نشانگر مفید و مقاوم در برابر هوازدگی، به منظور تعیین پتروژنز و محیط تکتونیکی سنگ‌های میزبان شناخته می‌شود. نسبت ((Cr/(Cr+Al)) Cr#، نقش مهمی در فهم ژنز ماگما داشته، به طوری که درجه ذوب بخشی یا میزان تهی‌شدگی منشأ را نشان می‌دهد و در محیط‌های تکتونیکی مختلف (مانند پشته‌های میان اقیانوسی و پهنه‌های فرورانش)، این نسبت متفاوت است [۱۰ و ۱۷]. در این پژوهش سعی شده با استفاده از مطالعات صحرایی، پتروگرافی و شیمی کرومیت در کرومیتیت‌های کلات‌خوش، به بررسی ژنتیکی آن‌ها برای تعیین پتروژنز و تاریخچه تکتونیکی مجموعه افیولیتی کلات‌خوش پرداخته شود.

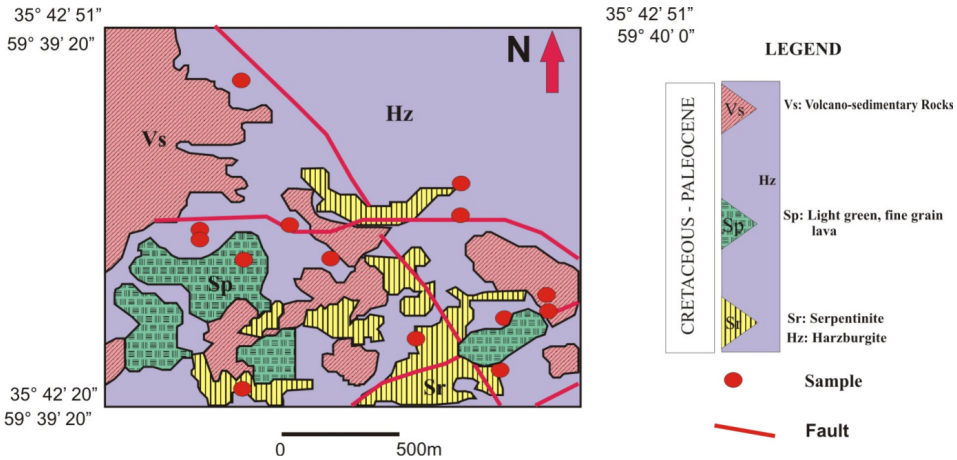
روش مطالعه

به منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی، تعداد ۱۴ نمونه سنگ‌های کرومیتیتی منطقه برداشت شده است. شیوه نمونه‌برداری بدین صورت است که نمونه‌هایی به صورت پراکنده از کرومیتیت در سطح منطقه برداشت شده‌اند. پس از مطالعات میکروسکوپی، جهت بررسی اکسید عناصر اصلی کرومیتیت‌های منطقه، نمونه‌ها به روش

XRF مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته‌اند. روش XRF با دقت و حساسیت ۰/۱ . درصد و به صورت پودری برای کلیه نمونه‌ها در شرکت تحقیقاتی کانساران بینالود انجام شده است. نقاط نمونه‌برداری شده بر روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه فریمان نشان داده شده است (شکل ۱).

زمین‌شناسی محدوده کلات‌خوش

زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه فریمان توسط رسوباتی با دو رخساره کپه‌داغ و ایران مرکزی و نیز نهشته‌های متعلق به نواحی کافتی مشخص شده که یکی از ویژگی‌های زمین‌شناختی فریمان محسوب می‌شود. نهشته‌های پالئوزوئیک همراه با سنگ‌های آواری و گدازه‌های بازی و نیز سنگ‌های الترامافیک نسبت داده شده به شاخه‌ای از حوضه رسوبی دریایی دیرینه تتیس، ردیف‌های کربناتی منسوب به حوضه ایران مرکزی، هم‌چنین وجود سنگ نهشته‌های مزوزوئیک با دو رخساره کپه‌داغ در شمال خاوری و ایران مرکزی، الترامافیک‌های دریای تتیس جوان و هم‌چنین وجود رسوبات ترشیری با رخساره‌ی قاره‌ای و کم عمق با توسعه و گسترش زیاد و در پایان پوشیده شدن پهنه‌های وسیع توسط آبرفت‌های کواترنر، از مهم‌ترین ویژگی‌های زمین‌شناختی منطقه فریمان است. در منطقه فریمان، مجموعه‌ای از گدازه های بازیک، نهشته‌های آذرآواری و سنگ‌های الترامافیک دیده می‌شود. ترکیب سنگ‌های آذرآواری موجود متوسط تا بازیک بوده و اغلب ظاهر توف دارند. هم‌چنین لایه‌هایی از سنگ‌های آواری دانه‌ریز چون آرژیلیت‌ها و ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز هم در این رسوبات دیده می‌شود. توده اولترامافیک کلات‌خوش بخشی از مجموعه پریدوتیتی موجود در کمربند افیولیتی منطقه فریمان (غرب استان خراسان رضوی) بوده که میزبان چندین کانسار کرومیت است. در تقسیم‌بندی افتخار نژاد [۳]، نواحی مورد نظر همراه با ایران مرکزی واحد ساختاری-رسوبی ایران مرکزی و شمال‌شرق ایران را تشکیل می‌دهند. با این حال با توجه به ویژگی‌های متفاوت ساختاری، چینه‌شناسی و سرگذشت زمین‌شناسی، در برخی از تقسیم‌بندی‌های ارائه شده در خصوص زمین‌شناسی ایران از این ناحیه به عنوان یک پهنه تدریجی بین ایران مرکزی و البرز تحت عنوان زون بینالود یاد شده است. طبق مطالعات نبوی [۴]، از آنجایی که بینالود از نظر جغرافیایی دنباله کوه‌های البرز است، به همین دلیل آن را جزء واحد زمین‌ساختی البرز قرار داده‌اند و در مواردی آن را قسمتی از زون ایران مرکزی بشمار می‌آورند. در حقیقت بینالود با هر دو زون ایران مرکزی و البرز شباهت‌هایی دارد. شباهت بینالود با ایران مرکزی به وجود آشکوب‌های زمین‌ساختی و رخساره‌های مشابه طی دوران پالئوزوئیک و چین‌خوردگی سیمرین پیشین مربوط بوده و شباهت آن با البرز شامل همانندی رخساره‌های ژوراسیک و کرتاسه، فقدان و یا اثر کم بودن چین‌خوردگی بین سنگ‌های کرتاسه بالا و پایین است [۶].



شکل۱. نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه کلات خوش و موقعیت مناطق نمونه‌برداری در آن [۶]

بحث و بررسی

خصوصیات سنگ‌نگاری واحدهای مجموعه کلات خوش

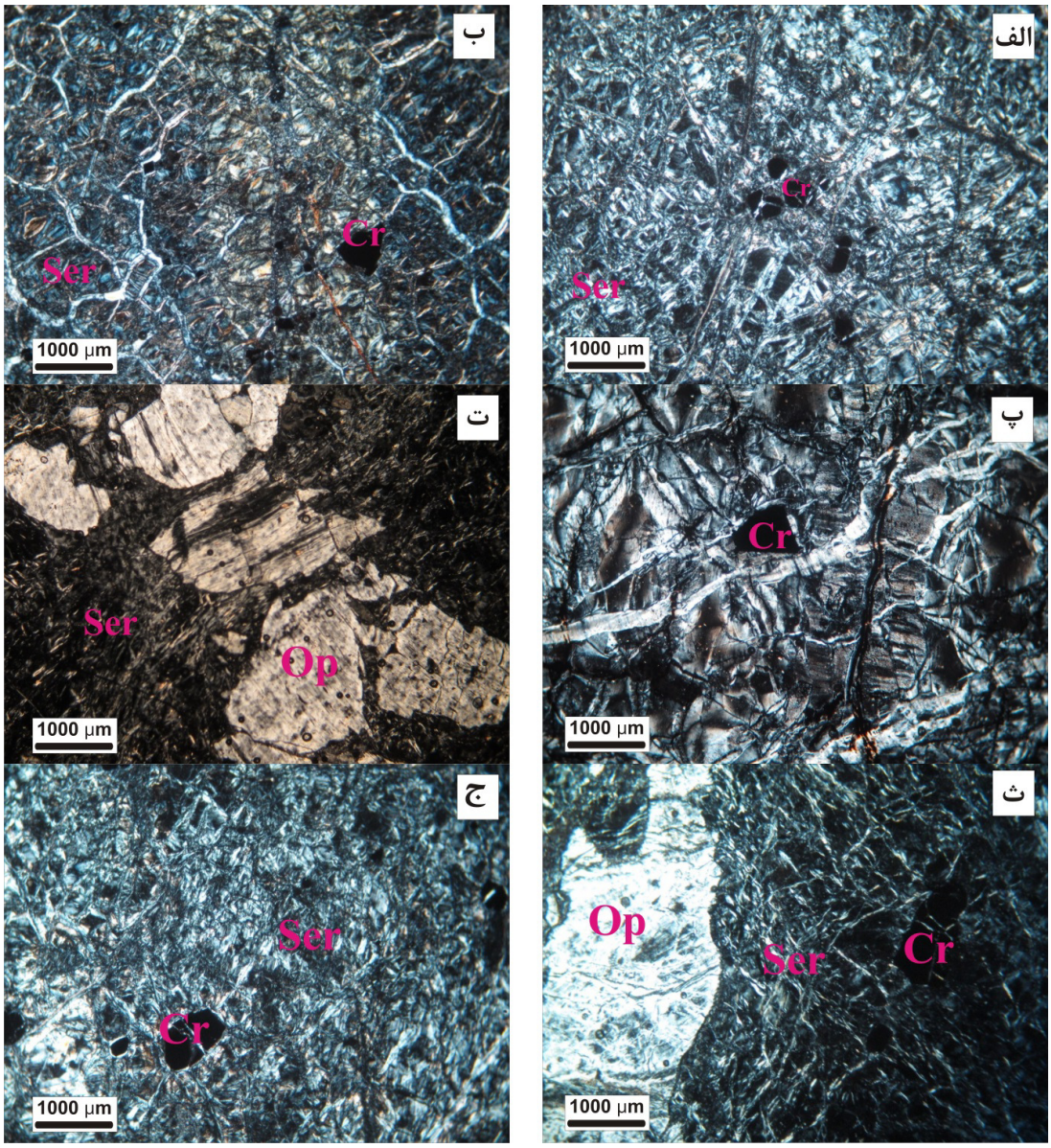
سنگ میزبان کرومیت‌های مجموعه کلات‌خوش از دو واحد سنگ‌شناسی اصلی تشکیل شده است که شامل، ۱) سنگ‌های هارزبورژیتی که بیش‌ترین و مهم‌ترین قسمت مجموعه را تشکیل داده و ۲) کرومیتیت‌ها که بصورت بخش کوچکی رخنمون دارند.

۱- هارزبورژیت: سنگ‌های هارزبورژیت بیش‌تر از ۹۰ درصد مجموعه کلات‌خوش را تشکیل داده‌اند. هارزبورژیت بر اساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه فریمان [۶] بخش عمده محدوده اکتشافی را تشکیل داده‌اند. بر پایه مطالعات پتروگرافی این سنگ‌ها دارای کانی‌های الیوین و پیروکسن بوده و اغلب تبدیل شدگی به سرپانتینیت را نشان می‌دهند. سنگ‌های مذکور به همراه سرپانتینیت میزبان بیش‌ترین ماده معدنی است. کرم اسپینل‌ها، کانی فرعی هارزبورژیت‌ها می‌باشند که به صورت شکل‌دار، نیم شکل‌دار تا بی‌شکل دیده می‌شوند. ترک‌هایی از نوع کششی در کرم اسپینل وجود دارد که ناشی از دگرشکلی‌های درجه حرارت پایین است. بسیاری از دانه‌های خودشکل بافت جدا شدن و کشیدگی در اثر کشش[1] را نشان می‌دهند و در طول شکستگی‌های موجود در آن‌ها، رگه‌های سرپانتین تشکیل شده است. شکستگی‌های کششی همیشه در نتیجه اعمال تنش‌های تکتونیکی ایجاد نمی‌گردد، بلکه در نتیجه سرپانتینی شدن سیلیکات‌های اطراف کرومیت و یا سیلیکات‌های محبوس در آن، ممکن است تشکیل شود. این بدان علت است که در اثر پدیده سرپانتینیتی شدن، حجم افزایش و وزن مخصوص کاهش می‌یابد (از ۳/۲ تا به ۲/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، که این امر سبب ایجاد گسیختگی‌های فراوان به صورت ترک‌های کششی، درون کانی‌های کرومیت می‌شود. در مواردی که ادخال‌های الیوین درون دانه‌های کرومیت سرپانتینی شوند، شکل ترک‌های کششی بوجود آمده معمولا از یک الگوی شعاعی تبعیت می‌کند. کروم اسپینل‌ها در برابر سرپانتینی شدن مقاوم بوده [۲] و تنها در برخی نقاط رگه‌های سرپانتینی به درون کروم اسپینل‌ها نفوذ کرده‌اند (شکل ۲). در مقاطع نازک، بافت غالب سنگ‌های میزبان، غربالی و شبکه‌ای است، به گونه‌ای که بقایایی از کانی‌ها باقی مانده‌اند. از نظر مجموعه کانیایی، هارزبورژیت‌ها شامل الیوین (بطور عمده سرپانتینی شده)، ارتوپیروکسن (بصورت بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار)، است. در مواردی که فرآیند سرپانتینی شدن گسترش یافته، اثری از الیوین به چشم نمی‌خورد و کل سنگ از سرپانتین تشکیل شده است. در غرب روستای کلات‌خوش، ذخیره بیش‌تر بصورت رگه‌ای است و کمتر بصورت عدسی‌های پراکنده است.

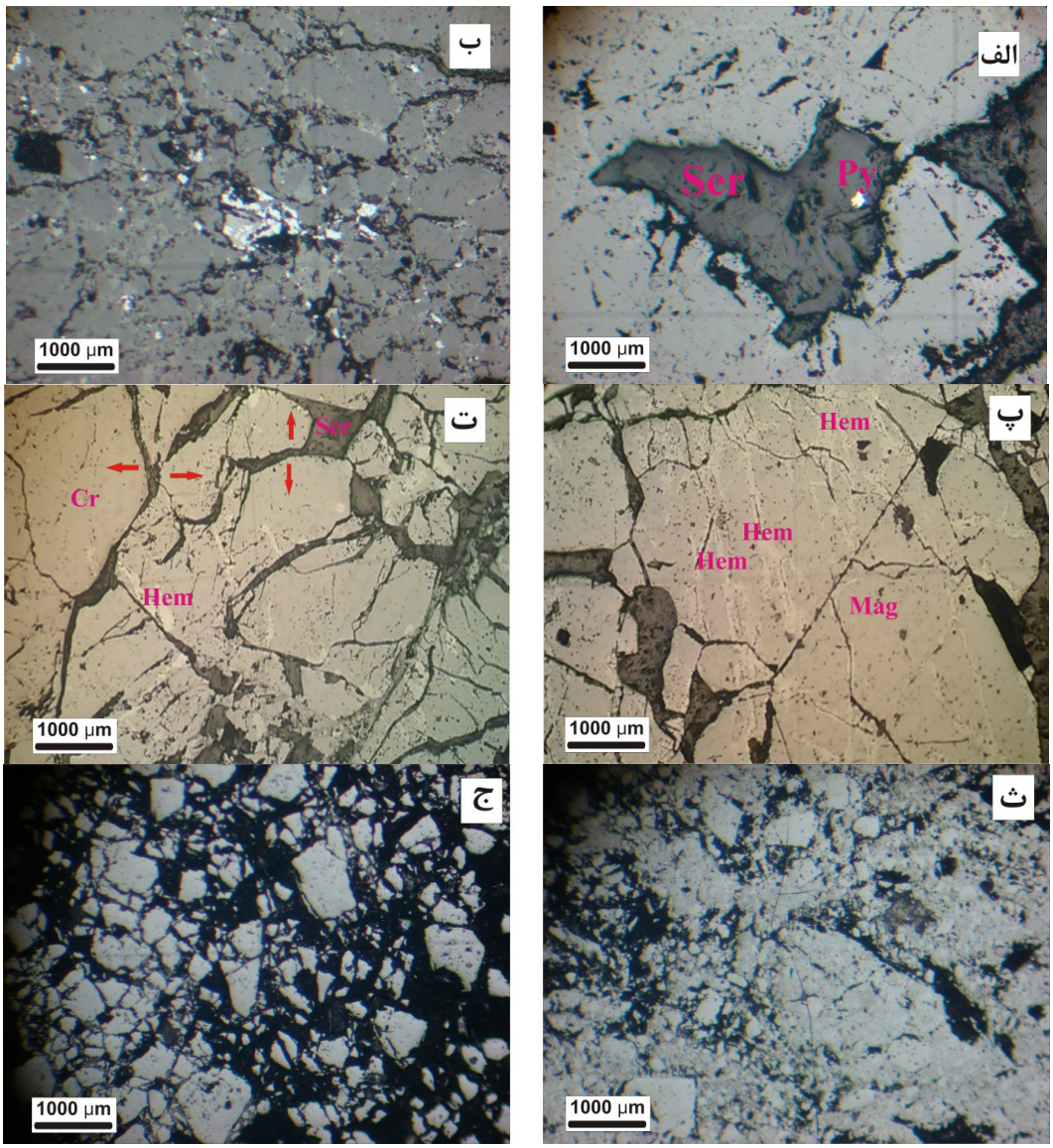
۲-کرومیتیت: یکی از مهم‌ترین کلیدهای پی‌جویی کانسارهای کرومیت، بررسی بافت‌ها و ساخت‌های موجود در این کانسارهاست [۸]. به طور کلی بافت و ساخت‌های موجود را می‌توان به ۲ گروه اولیه و ثانویه تقسیم کرد. بافت و ساخت‌های اولیه، بافت‌هایی هستند که همزمان با تشکیل کانسار، با خاستگاه ماگمایی بوجود آمده‌اند. این بافت‌ها تحت تأثیر فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک که پس از تشکیل کانسارهای کرومیت رخ می‌دهند، منجر به تغییرات زیادی شده و به گروه بافت و ساخت ثانویه تبدیل می‌شوند. از مهم‌ترین بافت و ساخت‌های اولیه می‌توان به انواع افشان، تودهای و از بافت و ساخت‌های ثانویه به انواع کششی، کاتاکلاستیک و برشی اشاره کرد. در کرومیت‌های افشان، بین ۲۵ تا ۸۰ درصد سنگ از دانه‌های کرومیت تشکیل شده که در آن دانه‌ها به صورت یکنواخت بین کانی‌های سیلیکاته (اغلب شامل الیوین و ارتوپیروکسن)، پراکنده شده‌اند. به طور کلی از کرومیت‌های افشان به کرومیت‌های گرهکی و سپس به کرومیت‌های توده‌ای، میزان کرومیت بیش‌تر شده (بیش از ۹۰%) و اندازه دانه‌ها بزرگ‌تر می‌شود. بافت توده‌ای از فراوان‌ترین بافت‌های اولیه ماگمایی در کرومیت‌های منطقه است. بافت توده‌ای از انباشته شدن دانه‌های کم و بیش درشت کرومیت تشکیل شده است که مقادیر کمی از کانی‌های سیلیکات و غیرسیلیکات (نظیر پیریت) را در خود جای داده است [۴]. بافت‌های کاتاکلاستی، از بافت‌های ثانویه است که در کرومیت‌های ناحیه مشاهده می‌شوند. بافت کاتاکلاستیکی از بلورهای خردشده کرومیت به همراه قطعات زاویه‌دار سنگ‌های در برگیرنده پدید آمده است. در کرومیت‌های با بافت توده‌ای، دانه‌ها با اندازه‌ای نسبتاً بزرگ در متن سرپانتینی سنگ قرار دارند. در این نمونه دانه‌های کرومیت تحت تأثیر پدیده

[1] Pull apart Texture

سرپانتینی شدن قرار گرفته، خوردگی یافته و ضمن تکه تکه شدن، ریز شکاف‌ها توسط باطله سرپانتینی پر شده‌اند (شکل ۳، الف). در کرومیت‌های با بافت دانه پراکنده، مقدار کرومیت بسیار کم و به حالت پراکنده است (شکل ۳، ب). در واقع سرپانتینی شدن که موجب افزایش حجم می‌گردد سبب بافت کششی در کرومیت‌ها می‌شود (شکل ۳، ت). در کرومیت‌های با بافت کاتاکلاستیک، بیش از ۵۰ درصد سنگ متشکل از کرومیت‌های ریز تا درشت‌دانه است (شکل۳، ث). فاز خود شکل پیریت که احتمالا در مراحل اولیه ماگمایی تشکیل شده است، در متن سرپانتینی سنگ قرار گرفته‌اند و در برخی از مقاطع بصورت دانه‌های بسیار ریز دیده می‌شود (شکل۳، الف).



شکل ۲. انواع بافت‌های حاصل از سرپانتینی شدن الیوین در سنگ مادر هارزبورژیتی مربوط به گروه ۱ (سرپانتینی شدن در آن‌ها ۴۵ درصد است) را نشان می‌دهد. الف و ب: بافت چندوجهی موجود در سرپانتین. پ: بافت شبکه‌ای موجود در حضور سرپانتین‌ها. ت: بافت شبکه‌ای و بقایایی از ارتوپیروکسن. ث و ج: کروم اسپینل‌ها در برابر سرپانتینی شدن مقاوم بوده و تنها در برخی نقاط رگه‌های سرپانتینی به درون کروم اسپینل‌ها نفوذ کرده‌اند.



شکل۳. بافت‌های مشاهده شده در کرومیتیت‌ها: الف) بافت توده‌ای و حضور سرپانتین در بین آن‌ها و حضور کانی پیریت در زمینه سرپانتینی. ب) بافت دانه پراکنده کرومیت. پ) نوارهای هماتیتی در مگنتیت که حاکی از تبدیل‌شدگی مگنتیت به هماتیت است. ت) گسترش شکستگی‌ها بین دانه‌های کرومیت (Cr) ناشی از بافت کششی (Pullapart Texture). ث) بافت ثانویه کاتاکلاستی در کرومیتیت‌های با بافت توده‌ای و ج) بافت برشی در کانی کرومیت

شیمی کرومیت

نتایج تجزیه شیمیایی برخی از کرومیت‌های موجود در کرومیتیت‌ها در جدول ۱ آورده شده است. کروم اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌ها از دیدگاه ترکیب شیمیایی و بر اساس تقسیم بندی استیونس [۲۲]، در محدوده Al-کرومیت (پیکوتیت) قرار می‌گیرند (شکل ۴). چنین روند ترکیبی، به فرآیند ذوب گوشته و یا واکنش‌های محلی مذاب-سنگ نسبت داده می‌شوند [۱۷]. از ویژگی‌های بارز کرومیت‌های موجود در کرومیتیت‌های مجموعه کلات‌خوش می‌توان به بالا بودن میزان Cr_2O_3 و پایین بودن Al_2O_3 اشاره نمود.

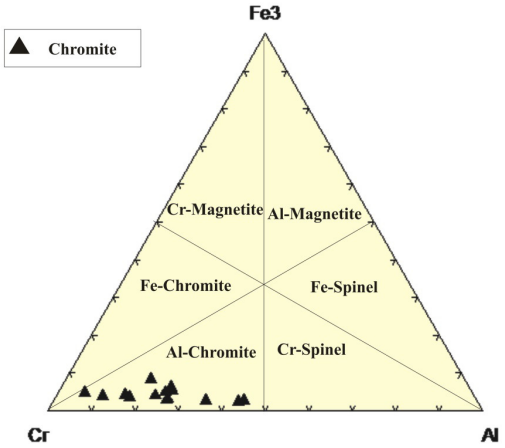
تعیین ترکیب شیمیایی ماگمای مادر تشکیل‌دهنده کرومیتیت‌ها

ترکیب شیمیایی کرومیت برای تعیین ترکیب شیمیایی ماگمای مادر کاربرد دارد [۱۸،۱۶]. مطالعات تجربی حاکی از آن است که میزان Al_2O_3 و نسبت FeO/MgO در کرومیت‌ها رابطه مستقیمی با ترکیب مذاب مادر داشته، هرچند ترکیب شیمیایی کرومیتیت‌ها می‌تواند در

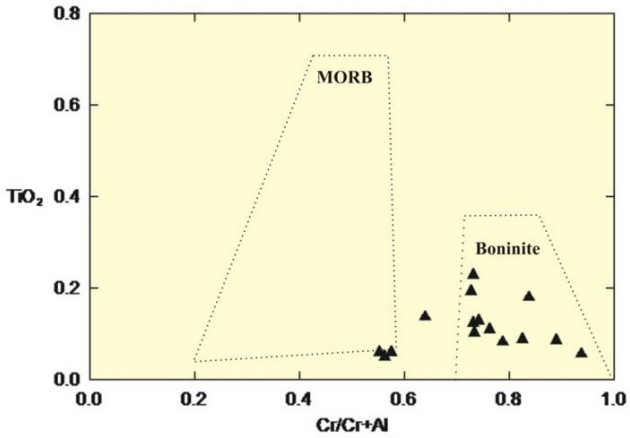
اثر تعادل با الیوین تغییر کند [۱۹،۱۸،۱۶]. در این پژوهش با استفاده از مقادیر Al_2O_3 و نسبت FeO/MgO در کرومیت‌ها، ترکیب شیمیایی ماگمای مادر کرومیتیت‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

از آنجا که میزان Al_2O_3 در کرومیت‌ها به ترکیب ماگما مادر وابسته است، این مقدار بوسیله تبلور و نوسانات دما تغییر نکرده، لذا می‌تواند برای تعیین ترکیب ماگمای مادر مورد استفاده قرار گیرد [۱۷،۱۲،۱۱،۱۰،۲۳،۱۳،۲۰].

وجود کرومیتیت‌های با Cr_2O_3 در حد ۵۰ درصد و Al_2O_3 در حدود کمتر از ۱۰ درصد در کرومیتیت‌های مجموعه کلات‌خوش، بیانگر ترکیب مذاب‌های بونینیتی در محیط‌های مرتبط با فرورانش [۱۴] است. کرومیتیت‌های با Cr_2O_3 ۳۴ تا ۳۸ درصد و Al_2O_3 در حد بین ۱۹ تا ۲۱ درصد بیانگر ترکیب مذاب‌های تولئیتی در محیط‌های پشته میان اقیانوسی است (شکل ۵).



شکل ۴. موقعیت اسپینل‌ها و کرومیت‌های مجموعه کلات‌خوش در نمودار سه‌تایی Cr، Fe^{3+} و Al [۲۲]. مشابه این علائم در نمودارهای بعدی نیز به کاربرده شده‌اند.



شکل ۵. ترکیب شیمیایی کروم اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌های کمپلکس مافیک- اولترامافیک کلات‌خوش. الف- تغییرات Cr/Cr+Al در برابر TiO_2 کرومیتیت‌های منطقه کلات خوش

مقدار Al_2O_3 اولیه موجود در مذاب مادر کرومیتیت‌ها را می‌توان با استفاده از فرمول مورل و مورل [۲۱] بصورت زیر محاسبه نمود:

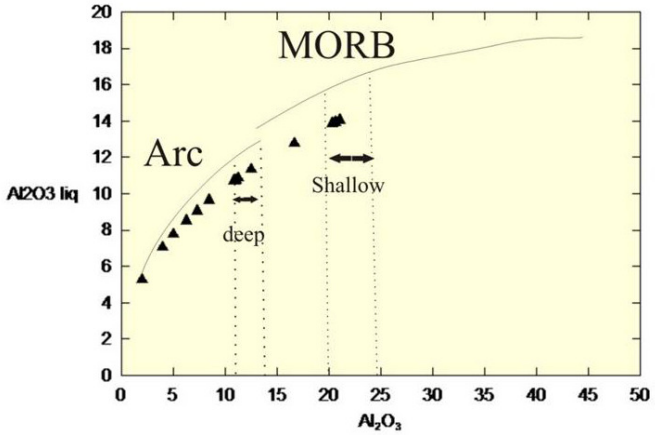
$$Al_2O_3 wt\%_{chromite} = 0.035\ (Al_2O_3)^{2.42} wt\%_{liquid}$$

با به کار بردن داده‌های مربوط به کرومیتیت‌های مجموعه کلات‌خوش در معادله فوق، مقدار Al_2O_3 مذاب اولیه تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها در حدود ۹/۰۶ تا ۱۴/۰۵ درصد بدست می‌آید. در نمودار مربوط به تغییرات Al_2O_3 اسپینل نسبت به Al_2O_3 مذاب، برخی کروم اسپینل‌ها در محدوده پشته میان‌اقیانوسی و برخی در محدوده فرورانش قرار می‌گیرند (شکل۶). نسبت FeO/MgO مذاب نیز توسط نسبت FeO/MgO کرومیت‌ها و با استفاده از فرمول مورل [۲۱] بدست می‌آید:

$Ln\{FeO/MgO\}spinel=\{0.47-1.07Y^{Al}spinel+0.64Y^{Fe3}spinel+ln(FeO/MgO)melt\}$

به طوری که: $Y^{Al}spinel= Al/(Al+Cr+Fe^{3})$, $Y^{Fe3}spinel=Fe^{3+}/(Al+Cr+Fe^{3+})$

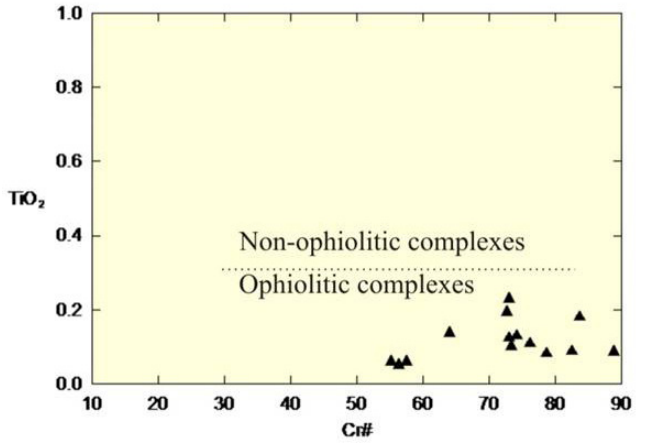
این نسبت برای ماگمای مادر کرومیتیت‌های کلات‌خوش تقریبا ۰/۵۹ تا ۱/۵ به دست آمده است. در واقع دو نوع کرومیت در منطقه کلات‌خوش موجود است. می‌توان مجموعه اولترامافیک کلات‌خوش را جزیی از گوشته زیر پشته‌های در حال گسترش اقیانوسی در نظر گرفت که بعدا در شرایط فرورانش قرار گرفته است.



شکل ۶. ترکیب Al_2O_3 مذاب در حال تعادل با کرومیتیت‌های کمپلکس اولترامافیک کلات‌خوش [۲۰]

استفاده از ترکیب شیمیایی کروم اسپینل‌های تشکیل‌دهنده کرومیتیت‌ها در تعیین پتروژنز

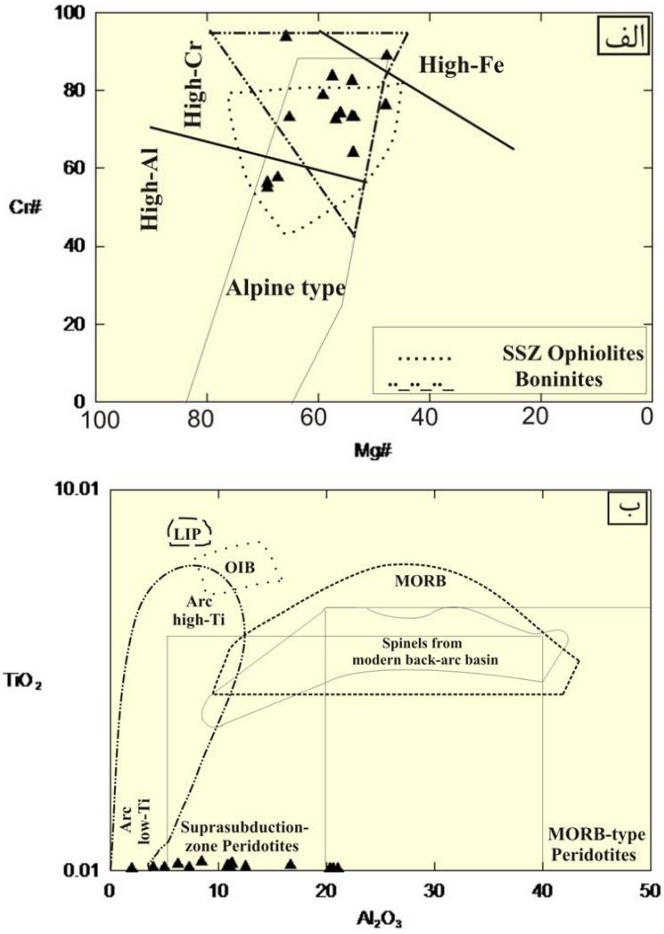
به علاوه مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی کروم اسپینل مطابق با شرایط فیزیکوشیمیایی ماگماهای دخیل در تشکیل آن‌ها تغییر می‌کند. از این رو کروم اسپینل‌ها به عنوان شاخص‌های پتروژنتیکی حساس، کاربرد فوق العاده‌ای پیدا نموده‌اند زیرا ترکیب آن‌ها به تغییرات دما، فشار، فوگاسیته اکسیژن، ترکیب سنگ کل و ترکیب سیالات بستگی دارد [۹]. بر اساس ترکیب شیمیایی کروم اسپینل کرومیتیت‌ها می‌توان نوع کرومیتیت (آلپی یا نیامی شکل) و نیز محیط تشکیل آن‌ها (گوشته یا پوسته) را تعیین کرد. در نمودار TiO_2 در برابر #Cr، کرومیت‌ها اغلب در محدوده مجموعه‌های افیولیتی قرار می‌گیرند (شکل ۷). با تعیین مقدار #Mg و #Cr کروم اسپینل‌های کرومیتیت‌ها و انطباق آن‌ها بر روی نمودار مربوطه (شکل۸ ، الف) تمامی نمونه‌های کرومیتیتی توده کلات خوش در محدوده تیپ آلپی واقع می‌گردند.



شکل ۷. تغییرات #Cr در برابر TiO_2 در کرومیتیت‌های تشکیل‌دهنده کرومیتیت‌های کمپلکس مافیک- اولترامافیک کلات خوش که در آن محدوده مجموعه‌های افیولیتی از غیر افیولیتی [۱۴]، تفکیک شده است.

استفاده از ترکیب شیمیایی کروم اسپینل در تعیین جایگاه تکتونیکی

به منظور تعیین جایگاه تکتونیکی کرومیتیت‌ها، از ترکیب شیمیایی کروم اسپینل‌ها یعنی از #Mg، #Cr، TiO_2 و Al_2O_3 استفاده شده است. با انطباق مقادیر TiO_2 و Al_2O_3 کروم اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌های کمپلکس مافیک- اولترامافیک کلات‌خوش، نمونه‌های کرومیتیتی در محدوده پشته میان اقیانوسی و فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۸، ب).



شکل ۸. الف- تغییرات #Mg در مقابل #Cr. محدوده تیپ آلپی از [۱۹] و سایر محدوده‌ها از [۲۴]. ب- نمودار تغییرات (TiO_2(wt%) در مقابل (Al_2O_3(wt% کروم اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌های مجموعه مافیک- اولترامافیک کلات‌خوش که در جایگاه های متفاوت تکتونیکی مرتبط با فرورانش و پشته میان اقیانوسی نشان داده شده است [۲۰]. SSZ- زون بالای فرورانش، LIP- ایالت‌های آذرین بزرگ، MORB- بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی، OIB- بازالت های جزایر اقیانوسی

نتیجه‌گیری

هارزبورژیت و کرومیتیت، سنگ میزبان کرومیتیت‌های موجود در منطقه را تشکیل می‌دهد. هارزبورژیت‌ها تحت دگرسانی سرپانتینی شدن قرار گرفته و نوع سرپانتین در آن‌ها لیزاردیت است. کرومیت در افیولیت‌های کلات‌خوش غالبا به صورت عدسی شکل، لایه‌ای و توده‌ای نامنظم و پراکنده رخ می‌دهند. از مهم‌ترین بافت و ساخت‌های اولیه می‌توان به انواع افشان و توده‌ای و از بافت و ساخت‌های ثانویه به انواع کاتاکلاستیک و برشی اشاره کرد. کروم اسپینل‌ها به عنوان شاخص‌های پتروژنتیکی حساس، کاربرد فوق‌العاده‌ای پیدا نموده‌اند. تمامی نمونه‌های کرومیتیتی توده کلات‌خوش در محدوده تیپ آلپی واقع می‌شوند. ترکیب شیمیایی کرومیت‌ها، دو دسته کرومیت را در منطقه مشخص کرده‌اند. نوع کروم بالا با منشأ وابسته به تبلور از مذاب‌های بونینیتی در محیط فرورانش و نوع آلومینیوم بالا با منشأ وابسته به

تبلور از مذاب‌های تولئیتی در محیط پشته میان اقیانوسی را آشکار می‌سازد. بدین ترتیب با استفاده از شواهد مختلف در مقیاس‌های متفاوت می‌توان توده اولترامافیک کلات‌خوش را بخشی از گوشته زیرپشته‌های در حال گسترش اقیانوسی در نظر گرفت که بعدا در شرایط فرورانش قرار گرفته است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی کروم اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌ها (Chr) مجموعه کلات‌خوش

Sample	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
SiO_2	۱۲/۱۹	۹/۸۹	۵/۴۰	۵/۲۵	۶/۵۴	۱۰/۰۲	۵/۱۳	۲/۳۴	۷/۳۸	۶/۹۸	۱/۸۳	۳/۲۵	0	5/05
TiO_2	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۳	0/06	0/06
Al_2O_3	۱/۹۷	۸/۴۳	۱۱/۲۷	۱۰/۹۹	۶/۲۳	۴/۹۹	۷/۲۶	۱۲/۴۸	۱۰/۸۷	۳/۹۷	۱۰/۸۹	۱۶/۶۶	20/99	20/58
Cr_2O_3	۴۳/۳۹	۳۴/۱۰	۴۴/۷۰	۴۷/۰۱	۴۷/۵۶	۲۷/۵۷	۵۰/۸۳	۵۱/۰۴	۴۳/۹۷	۴۷/۲۴	۵۱/۹۸	۴۴/۲۳	38/44	41/6
Fe_2O_3	۲/۴۳	۳/۲۴	۳/۵۶	۳/۴۳	۲/۶۵	۳/۳۲	۲/۳۵	۲/۱۷	۲/۰۷	۲/۲۳	۳/۰۲	۱/۹۶	۲/۰۸	۰
FeO	۱۸/۷۷	۱۶/۹۵	۲۰/۳۸	۱۹/۹۱	۲۰/۸۶	۱۷/۳۳	۲۱/۲۸	۱۷/۷۷	۱۹/۰۷	۲۶/۸۵	۲۲/۴۴	۲۰/۱۹	13/44	13/89
MnO	۰/۲۸	۰/۴۷	۰/۲۹	۰/۷۵	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۰۹
MgO	۲۰/۳۵	۱۷/۱۷	۱۵/۰۶	۱۴/۲۹	۱۵/۸۲	۱۴/۱۰	۱۳/۹۵	۱۳/۱۸	۱۲/۳۸	۱۳/۷۰	۱۱/۶۱	۱۳/۱۹	16/92	16
CaO	۰/۱۷	۵/۱۱	۰/۵۸	۰/۰۴	۰/۰۲	۱۶/۷۴	۰/۱۶	۰/۸۰	۴/۵۵	۰/۱۰	۰/۲۷	۰/۹۸	0/77	0/88
Total	۹۹/۶	۹۶/۱۸	۱۰۱/۴	۱۰۱/۹	۱۰۰/۲	۹۴/۳۵	۱۰۱/۴	۱۰۰/۲	۱۰۰/۷	۱۰۱/۵	۱۰۲/۴	۱۰۰/۸	۹۲/۷۸	۹۸/۱۵
Si	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۵
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۰/۰۷	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۴۱	۰/۶۱	۰/۷۲	۰/۷۴
Cr	۱/۰۶	۰/۸۹	۱/۱۰	۱/۱۵	۱/۲۰	۰/۸۶	۱/۲۸	۱/۲۹	۱/۱۲	۱/۲۱	۱/۳۲	۱/۰۹	۰/۸۹	۱/۰۰
Fe3	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰
Fe2	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۷۳	۰/۶۰	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۳۵
Mn	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mg	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۷۰	۰/۶۶	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۷۴	۰/۷۳
Ca	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲
Total	۲/۹۷	۳/۱۶	۲/۹۹	۲/۹۸	۳	۳/۶۷	۲/۹۹	۳	۳/۰۶	۳/۰۳	۳	۳	۲/۹۴	۲/۹۹
Cr#	۹۳/۶۶	۷۳/۰۷	۷۲/۶۸	۷۴/۱۵	۸۳/۶۶	۷۸/۷۵	۸۲/۴۴	۷۳/۲۸	۷۳/۰۷	۸۸/۸۶	۷۶/۲۰	۶۴/۰۴	۵۵/۱۲	۵۷/۵۵
Mg#	۶۵/۹۰	۶۵/۱۴	۵۶/۸۴	۵۶/۱۲	۵۷/۴۸	۵۹/۱۸	۵۳/۸۸	۵۶/۹۳	۵۳/۶۴	۴۷/۶۳	۴۷/۹۷	۵۳/۸۰	۶۹/۱۷	۶۷/۲۴
Y Al	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۴۲
(FeO/MgO)Liq	۰/۵۹	۰/۷۵	۱/۰۷	۱/۰۹	۰/۹۴	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۰۹	۱/۲۴	۱/۳۴	۱/۵۰	۱/۳۶	۰/۷۷	۰/۸۵
Al_2O_3 liq	۵/۲۸	۹/۶۴	۱۰/۸۷	۱۰/۷۵	۸/۵۰	۷/۷۶	۹/۰۶	۱۱/۳۳	۱۰/۷۱	۷/۰۶	۱۰/۷۱	۱۲/۷۷	۱۴/۰۵	۱۳/۹۴

منابع

[۱] ابراهیمی، خ، غلامی، س (۱۳۹۰) بررسی‌های کانی‌شناسی-ژئوشیمیایی ذخایر کرومیت چاه یابو و چشمه پلنگ با نگرشی بر کاربرد صنعتی آن‌ها، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، صفحه ۱۶۷ تا ۱۸۲.

[۲] احمدی‌پور، ح.، محمدی، ن (۱۳۹۱) کانی‌شناسی و نحوه تشکیل کانی‌های گروه سرپانتین در سرپانتینیت‌های آمیزه افیولیتی بافت در استان کرمان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، صفحه ۹۷ تا ۱۱۰.

[۳] افتخارنژاد، ج (۱۳۵۹) تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی- نشریه انجمن نفت- شماره ۸۲- صفحه ۱۹-۲۸.

[۴] باقریان، س (۱۳۷۴) بررسی کانسارهای کرومیت توده پریدوتیتی آبدشت (ناحیه اسفندقه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[۵] جلائی‌فر، م (۱۳۸۳) پتروگرافی و ژئوشیمی نهشته‌های کرومیتی در افیولیت ملانژهای منطقه بیرجند- نهبندان، رساله کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

[۶] رحمن‌زاده هروی، م (۱۳۸۹) گزارش پایان عملیات اکتشاف (مرحله شناسایی-پی‌جویی کرومیت)، سازمان صنایع و معدن خراسان رضوی.

[۷] سدایی، ح (۱۳۹۰) بررسی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمی افیولیت‌ملانژهای غرب فریمان (خراسان رضوی)، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۸] کنعانیان، ع (۱۳۸۹) سنگ‌شناسی، شیمی کانی و شکل‌گیری کرومیت‌های الند و قشلاق، مجموعه افیولیتی خوی (شمال‌غرب ایران)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره سوم ، صفحه ۳۷۱ تا ۳۸۲.

[۹] نجف‌زاده، ع (۱۳۹۱) تعیین پتروژنز و محیط تکتونیکی کرومیتیت‌های کمپلکس مافیک – اولترامافیک صوغان، کرمان، جنوب‌شرق ایران، ششمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور.

[10] Arai, S (1994) Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationship: review and interpretation, Chemical Geology 113: 191–204.

[11] Auge, T (1987) Chromite deposits in the northern Oman ophiolite: mineralogical constraints, Mineralium Deposita 22: 1-10.

[12] Barnes, S.J (1986) The distribution of chromium among orthopyroxene, spinel and silicate liquid at atmosphere pressure, Geochimica et Cosmochimica Acta 50: 1889–1909.

[13] Bedard, J.H (1999) Petrogenesis of boninites from the Betts Cove ophiolite, Newfoundland, Canada: identification of subducted source components, Journal of Petrology 40: 1853–1889.

[14] Bonavia, F.F., Diella, V., Ferrario, A (1993) Precambrian podiform chromitites from Kenticha Hill, southern Ethiopia. Economic Geology 88: 198-202.

[15] Crawford, A.J., Falloon, T.J., Green, D.H (1989) Classification, petrogenesis and tectonic setting of boninites, In: Crawford AJ (ed) Boninites and related rocks, Unwin Hyman, London 1–49.

[16] Dick, H.J.B (1977) Partial melting in the Josephine peridotite I, the effect on mineral compositions and its consequence for geobarometry and geothermometry, American Journal of Science 277: 801-832.

[17] Dick, H.J.B., Bullen, T (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas, Contributions to Mineralogy and Petrology 86: 54–76.

[18] Irvine, T.N (1965) Chromian spinel as a petrogenetic indicator, Part I. Theory, Canadian Journal of Earth Science 2: 648–672.

[19] Irvine, T.N (1967) Chromian spinel as a petrogenetic indicator, Part II. Petrological applications, Canadian Journal of Earth Science 4: 71–103.

[20] Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J., Meffre, S (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks, Journal of Petrology 42: 655–671.

[21] Maurel, C., Maurel, P (1982) Étude expérimental de la distribution de l'aluminium entre bain silicate basique et spinelle chromifère. Implications pétrogenetiques: teneur en chrome des spinelles, Bulletin de Mineralogie 105: 197–202.

[22] Stevens, R.E (1994) Composition of some chromites of the western Hemisphere, American Mineralogist 29: 1–34.

[23] Zhou, M. F., Robinson, P., Malpas, J., Li, Z (1996) Podiform chromites in the Luobusa ophiolite (Southern Tibet): Implications for melt–rock interaction and chromite segregation in the upper mantle, Journal of Petrology 37: 3–21.

[24] Zhou, M.F., Bai, W. J (1992) Chromite deposits in China and their origin. Mineralium Deposita 27: 192-199.

Petrogenesis and tectonic environment of Kalate Khosh ophiolitic complex (Western Fariman) : chromite chemistry evidences

F. Khoshniat*[1], I. Rasa[1] and S. Peighambari[2]

1- Dept. of Geology, Shahid Beheshti University, Tehran
2- Dept. of Geology, Payame Noor University, Bahar

* Fatemeh.68.niat@gmail.com

Recieved: 2014/6/5 Accepted: 2016/1/30

Abstract

The Kalate Khosh ophiolitic complex is located in the western of Fariman city (Khorasane Razavi province). The chromitites are hosted in serpentinized harzburgits (mostly lizardite). Chromitite deposits in Kalate Khosh ophiolite complex occurred as lens shape, layered, massive and disseminated pods. They consisting of primary and secondary structures including disseminated, massive and cataclastic textures respectively. Two main distinct chromite deposits are recognized in Kalate Khosh ophiolitic complex. The first group contain higher Cr_2O_3 (average 52 wt%) and lower Al_2O_3 contents (<10 wt%) while second chromitite group has lower Cr_2O_3 34 to 38 wt% and higher Al_2O_3 content 20.3 to 20.99 wt%. Geochemical compositions of these chromites revealed alpine-type chromitites in the suprasubduction and MORB field in TiO_2 vs. Al_2O_3 diagram. Mineral chemistry show that Kalate Khoh mafic- ultramafic complex was originated from MORB like magma, emplaced in subduction environment.

Keywords: Ophiolite, Chromitite, Mineral chemistry, Mafic-ultramafic complex, Kalate Khosh