



کانی‌شناسی و سنگ‌زائی کروم‌اسپینل‌های توده‌ی فراقلیایی رودان، استان هرمزگان

محمد پوستی*، غلامرضا قدمی، سودابه صالحی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

(دریافت مقاله: ۹۵/۳/۳، نسخه نهایی: ۹۵/۶/۶)

چکیده: ناحیه‌ی مورد بررسی در شمال شهرستان رودان واقع شده و بخشی از نوار افیولیتی کهنوج- رودان - میناب را تشکیل می‌دهد. سنگ‌های منطقه از نوع هارزبورژیت و لرزولیت هستند و از الیوین، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن و کانی فرعی کروم‌اسپینل تشکیل شده‌اند. با توجه به داده‌های تجزیه‌ی نقطه‌ای، میزان MgO در الیوین‌ها بین ۵۰/۵۵ تا ۵۰/۱۷ درصد است، و از نوع فورستريت و کلینوپروکسن‌ها نیز از نوع دیوپسیدی و اسپینل کروم‌دار هستند. بررسی‌های ریزپردازشی روی کروم‌اسپینل موجود در لرزولیت‌های فراقلیایی، مقادیر بالای $Mg\#$ (۷۱٪ - ۷۷٪) و Al_2O_3 (۴۶/۳۱ تا ۵۲/۹۸ درصد وزنی) و مقادیر پایین $Cr\#$ (۱۴٪ - ۲۲٪) را نشان می‌دهند. نسبت کروم به آلومینیم (Cr/Al) کانی اسپینل در لرزولیت‌ها، برابر ۰/۱۹ است. مقدار Fe^{3+} در کروم‌اسپینل موجود در پریدوتیت‌های فراقلیایی بسیار پایین (۰/۱ < درصد وزنی) است که نشان دهنده‌ی تبلور در شرایط گریزندگی پایین اکسیژن است. براساس شیمی کانی اسپینل، نمونه‌های لرزولیتی مورد بررسی در موقعیت زمین‌ساختی پریدوتیت‌های اقیانوسی (آبیسال) قرار می‌گیرند و در محل پشته‌های میان اقیانوسی (مورب) تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: کروم/اسپینل؛ لرزولیت؛ پریدوتیت؛ فراقلیایی؛ رودان.

مقدمه

بخش فراقلیایی افیولیت، خاستگاه مهم اطلاعات ژئوشیمی، سنگ‌شناسی و زمین‌ساختی گوشته‌ی بالایی هستند. اسپینل، کانی پایدار و مقاوم در برابر دگرسانی بوده و شاخص‌های سنگ‌شناختی قابل اطمینانی هستند که در طول دگرسانی تغییر ترکیب چندانی نمی‌کنند [۱]. فراقلیایی‌های مورد بررسی حاوی مقادیری کروم‌اسپینل بوده و تا حدودی تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند.

ناحیه‌ی مورد بررسی در شمال شهرستان رودان واقع شده است و بخشی از نوار افیولیتی کهنوج- رودان - میناب است که در راستای گسل میناب قرار می‌گیرد. مجموعه‌ی فراقلیایی مورد بررسی از دیدگاه ساختاری در برخوردگاه دو منطقه‌ی زمین‌ساختی ایران، یعنی زاگرس و مکران جای می‌گیرند و سمت خاور و باختر آن با آمیزه‌ی رنگین منطقه دارای مرز

گسلی است. واحدهای مجاور آن، شامل آبرفت‌های قدیمی و رسوب‌های موجود در دشت‌هاست که به سن کواترنری هستند. اولترابازی‌های رودان بیشتر از هارزبورژیت و مقدار کمتری لرزولیت تشکیل یافته است که به سن پالئوسن گزارش شده‌اند (شکل ۱).

روش پژوهش

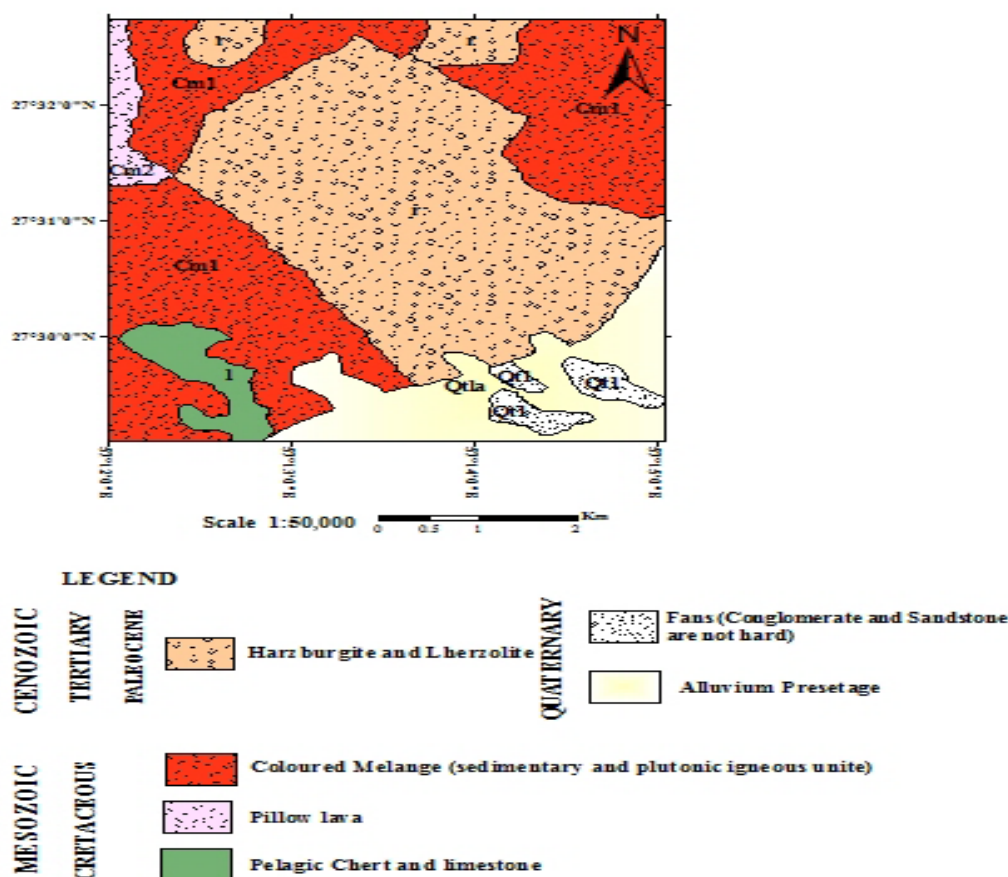
بررسی‌های انجام شده عبارتند از بررسی‌های صحرایی، آزمایشگاهی، میکروسکوپی و ژئوشیمیایی. در این پژوهش سعی شده است تا نمونه‌های مناسب با کمترین دگرسانی انتخاب شوند. سپس از این نمونه‌ها مقاطع نازک تهیه شد تا مورد بررسی ریزپردازشی قرار گیرند. پس از بررسی مقاطع نازک، تعدادی از آنها برای بررسی انتخاب شدند. به منظور تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌های مختلف، ۳ نمونه مورد تجزیه‌ی نیمه کمی و تصویر برداری الکترونی قرار گرفتند. آنالیز نقطه‌ای

های بی‌شکل و ریز دانه‌ای در سنگ‌ها سرپانتینی شده‌اند، با این حال، بخش‌هایی سالم از آنها را هنوز می‌توان در مقاطع پیدا کرد. به علت شدیدتر بودن فرایند سرپانتینی شدن در هارزبورژیت‌ها نسبت به لرزولیت‌ها، بافت مشبک در این سنگ‌ها به خوبی گسترش یافته است (شکل ۲ الف). کانی‌های ثانویه عبارتند از سرپانتین و مگنتیت. ارتوپیروکسن‌ها با بلورهای نیمه شکلدار تا بی‌شکل، خرد شده و دارای تیغه‌های جدایشی کلینوپیروکسن هستند و معمولاً دگرشکلی از خود نشان می‌دهند که نشانه تغییر شکل آنها در دما و فشار بالای گوشته است. این تیغه‌ها معمولاً به موازات رخ ارتوپیروکسن‌ها مشاهده می‌شوند. ارتوپیروکسن‌ها نسبت به دیگر کانی‌های موجود در سنگ بزرگ‌ترند و در زمینه‌ی سرپانتینی سنگ پورفیروکلاست‌هایی را تشکیل می‌دهند. در بسیاری موارد، ادخال‌های ریزدانه تا میان دانه از کانی الیوین (بافت پوئی-کلیتیک) که ممکن است دارای شکستگی بوده و گاه سرپانتینی شده باشند درون ارتوپیروکسن‌ها قابل مشاهده‌اند، که نشان

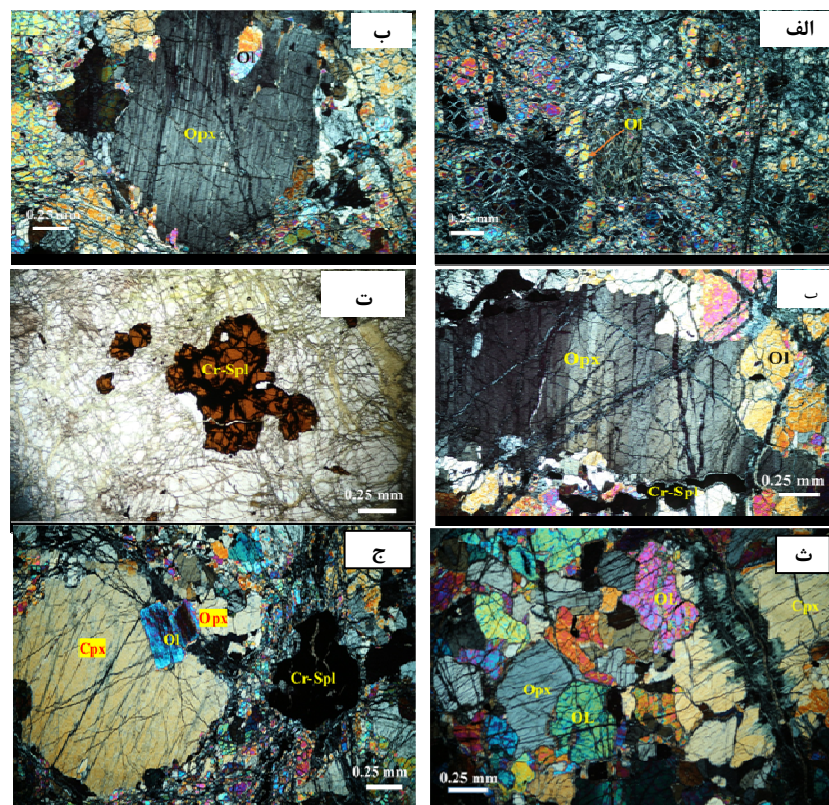
کانی‌ها در شرکت ایمیدرو و به وسیله‌ی ریزدازنده‌ی الکترونی مدل CAMECA, X100 با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۱۵ kv و جریان ۲۰ nA صورت گرفته است. خلاصه‌ی نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای کانی‌ها در جدول‌های ۱ تا ۳ آورده شده‌اند.

سنگ‌نگاری

پریدوتیت‌های منطقه از نظر سنگ‌شناسی، اساساً از هارزبورژیت و لرزولیت تشکیل شده‌اند. در سطح هوازده به رنگ زرد قهوه‌ای تا قهوه‌ای سوخته و در سطح تازه شکسته شده به رنگ سبز تیره هستند. از آنجا که کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها تفاوت حجمی زیادی با هم ندارند، بنابراین سنگ‌نگاری کانی-های آنها را با هم مورد بررسی قرار می‌دهیم. هارزبورژیت‌ها از ۷۰-۷۵ درصد الیوین، بین ۱۰-۲۵ درصد ارتوپیروکسن، کمتر از ۵ درصد کلینوپیروکسن و بین ۱-۲ درصد کروم‌اسپینل تشکیل شده‌اند که در گوشته، بر اثر فرایندهای زمین‌ساختی، گاهی به صورت خرد شده دیده می‌شوند. این سنگ‌ها معمولاً دارای بافت گوشته‌ای (دانه‌دار) هستند. بخش زیادی از الیوین-



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی فراقلیایی‌های شمال رودان، (اقتباس از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ میناب) [۲].



شکل ۲ الف) الیوین در هارزبورژیت‌ها با بافت مشبک (XPL)؛ ب) ارتوپیروکسن با بافت پوئی‌کلیتیک، حاشیه واکنشی و تیغه‌های نا آمیزشی کلینوپیروکسن که به موازات رخ‌های آن وجود دارد (XPL)؛ پ) درشت بلور ارتوپیروکسن هارزبورژیتی همراه با خاموشی موجی و طولی شدگی تحت تأثیر تنش کششی (XPL)؛ ت) کانی اسپینل سرخ - قهوه‌ای بی‌شکل و تجزیه شده به مگنتیت در زمینه‌ای از هارزبورژیت سرپانتینی شده (PPL، ث) الیوین، کلینوپیروکسن، و ارتوپیروکسن موجود در سنگ‌های لرزولیت (XPL، ج) درشت بلور کلینوپیروکسن موجود در لرزولیت‌ها به همراه ادخال‌هایی از کانی الیوین (XPL)، علائم اختصاری از [۳].

لرزولیت‌ها مهم‌ترین عامل سنگ‌شناسی منطقه به شمار می‌روند. بررسی‌های سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که ترکیب لرزولیت‌ها، شامل ۶۰-۷۰ درصد الیوین، بین ۱۵ تا ۱۰ درصد کلینوپیروکسن و حدود ۲۰ درصد ارتوپیروکسن است. کروم-اسپینل نیز به عنوان کانی فرعی بین ۱ تا ۲ درصد در نمونه‌ها وجود دارد (شکل ۲ ث و ج). علائم اختصاری کانی‌ها از [۳] اقتباس شده‌اند.

شیمی کانی‌ها

الیوین و کلینوپیروکسن

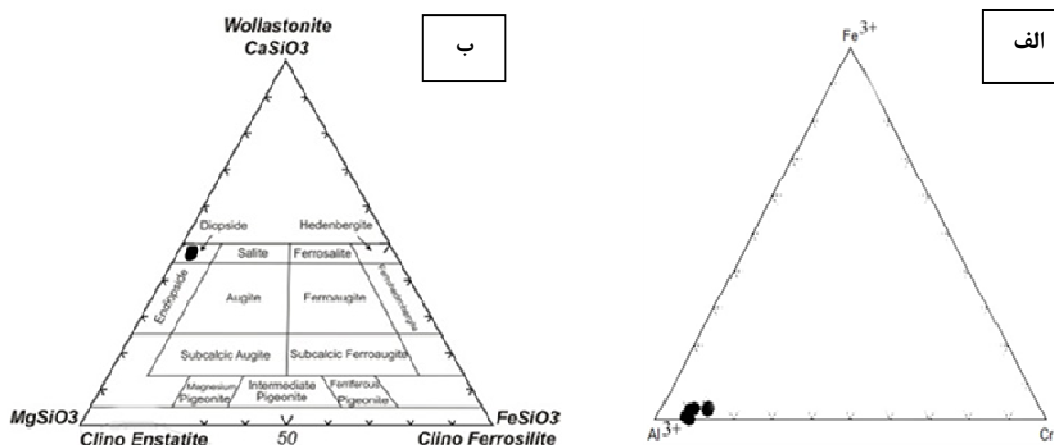
الیوین‌های موجود در فراقلیایی‌های بررسی شده غنی از منیزیم هستند، به گونه‌ای که مقدار MgO بین ۵۰٫۵۵ تا ۵۰٫۱۷ درصد وزنی محاسبه شده است. سنگ‌های فوق بازی نوع آلی دارای، بالاترین مقدار منیزیم هستند [۴] مقدار MnO (۰٫۱۱ تا ۰٫۱۷ درصد وزنی)، NiO (۰٫۱ تا ۰٫۰۹ درصد وزنی) و نیز مقدار FeO الیوین (۸٫۲۱ تا ۱۰٫۰۶ درصد وزنی) موجود در این سنگ‌ها نسبتاً پایین است. در رده‌بندی این کانی‌ها (شکل ۳)

دهنده‌ی تقدم تبلور الیوین‌ها نسبت به ارتوپیروکسن‌هاست. از طرف دیگر حاشیه‌ی ارتوپیروکسن‌ها به صورت بریده بریده، و خلیج خورده دیده می‌شوند که به وسیله‌ی الیوین‌های ریز دانه پر شده است (شکل ۲ ب). خاموشی موجی نیز ویژگی بسیاری از کانی‌های ارتوپیروکسن موجود در سنگ است. بعضی از بلورهای ارتوپیروکسن درشت، تحت تأثیر تنش برشی طولی قرار گرفته‌اند (شکل ۲ پ). کلینوپیروکسن‌ها از نظر اندازه از ارتوپیروکسن‌ها کوچکتر بوده، ولی نسبت به ارتوپیروکسن‌ها مقاوم‌ترند و کمتر از آنها تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند.

اسپینل‌ها تنها در فضای بین کانی‌ها و در اغلب موارد در زمینه‌ی سرپانتینی سنگ حضور دارند و در الیوین‌ها و پیروکسن‌ها دیده نمی‌شوند. بیشتر آنها نیمه شکل‌دار و در نور طبیعی به رنگ سرخ تا قهوه‌ای تیره بوده و در مواردی حاشیه‌ای سیاه که ناشی از مگنتیتی شدن این کانی‌هاست، در اطراف آنها و درون شکستگی‌ها دیده می‌شوند، که این به دلیل افزایش آهن در این مناطق است (شکل ۲ ت). پس از هارزبورژیت‌ها،

الیوین‌های موجود در سنگ‌های لرزولیتی فراقلیایی رودان، فرمول ساختاری و میزان $Mg\# = [Mg / (Mg + Fe^{+2})]$ آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

گستره‌ی ترکیب الیوین‌های موجود در لرزولیت‌ها در مثلث Fo، Ca و Fa نشان داده شده است [۵]. این نمودار نشان می‌دهد که، الیوین‌ها دارای ترکیب فورستریتی هستند. $(Fo = 91.61-89.8)$ میانگین نتایج آنالیز نقطه‌ای



شکل ۳ الف- گستره‌ی ترکیبی کلینوپروکسن‌ها فراقلیایی رودان روی مثلث ناپایدار En - فروسیلیت Fs - ولاستونیت Wo، ب-موقعیت ترکیبی کروم‌اسپینل‌های موجود در فراقلیایی رودان بروی نمودار سه تایی Fe^{+3} ، Cr^{+3} ، Al^{+3} [۶].

جدول ۱ نتایج بررسی نقطه‌ای و محاسبه‌ی فرمول ساختاری برخی از الیوین‌های موجود در لرزولیت‌های فراقلیایی رودان (سمت راست).

Sample wt%	۱۶	۱۶	۵۸	۵۸	۱۰۲	۱۰۲
Na ₂ O	۰.۱۱	۰.۱۶	۰.۴۳	۰.۴۹	۰.۳۹	۰.۵۲
K ₂ O	۰	۰	۰.۰۲	۰	۰.۰۲	۰
MgO	۱۷.۹۷	۱۷.۴۳	۱۷.۶۱	۱۷.۵۱	۱۷.۹۴	۱۶.۸۴
CaO	۲۴.۸۲	۲۴.۲۴	۲۲.۵۵	۲۲.۸۱	۲۳.۵۳	۲۳.۵۵
MnO	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۶
FeO	۱.۷۱	۲.۰۵	۱.۹۸	۲.۰۴	۲.۳۸	۲.۲۱
NiO			۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲
Al ₂ O ₃	۲.۴۶	۳.۱۹	۳.۲	۳.۳	۳.۴	۳.۸۸
Cr ₂ O ₃	۰.۴۳	۴.۸۰	۰.۴۲	۰.۴۴	۰.۶۱	۰.۸
SiO ₂	۵۳.۲۹	۵۳.۰۳	۵۲.۳۸	۵۲.۳۸	۵۲.۲	۵۱.۲۹
TiO ₂	۰.۲۴	۰.۲۵	۰.۲۲	۰.۲۸	۰.۲۵	۰.۲۳
Total	۱۰۳.۱۳	۱۰۰.۹۲	۹۸.۹	۹۹.۲۸	۱۰۰.۸۱	۹۹.۴
Si	۱.۹۰۶	۱.۹۰۵	۱.۹۱۳	۱.۹۰۴	۱.۸۷	۱.۸۶۷
Ti	۰.۰۰۶	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶
Al	۰.۱۰۴	۰.۱۳۵	۰.۱۳۸	۰.۱۴۱	۰.۱۴۴	۰.۱۶۶
Cr	۰.۰۱۲	۰.۰۱۴	۰.۰۱۲	۰.۰۱۳	۰.۰۱۷	۰.۰۲۳
Fe ³⁺	۰.۰۶۶	۰.۰۴	۰.۰۴۸	۰.۰۶۳	۰.۱۱۲	۰.۱۰۱
Fe ²⁺	-۰.۰۱۵	۰.۰۲۲	۰.۰۱۲	-۰.۰۰۱	-۰.۰۴۱	-۰.۰۳
Mn	۰.۰۰۳	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲
Mg	۰.۹۵۹	۰.۹۳۳	۰.۹۵۹	۰.۹۵	۰.۹۵۸	۰.۹۱۴
Ca	۰.۹۵۱	۰.۹۳۲	۰.۸۸۲	۰.۸۸۹	۰.۹۰۳	۰.۹۱۸
Na	۰.۰۰۸	۰.۰۱۱	۰.۰۳	۰.۰۳۵	۰.۰۲۷	۰.۰۳۷
Wo	۴۸.۵	۴۸.۳۹	۴۶.۴	۴۶.۷۷	۴۶.۷۳	۴۸.۳۵
En	۴۸.۸۹	۴۸.۴۱	۵۰.۴۲	۴۹.۹۶	۴۹.۵۸	۴۸.۱۱
Fs	۲.۶۱	۳.۱۹	۳.۱۸	۳.۲۷	۳.۶۹	۳.۵۴
Mg#	۰.۹۸	۰.۹۷	۰.۹۸	۱	۰.۹۵	۱

تعیین کرد. برای شناسایی ترکیب شیمیایی کروم‌اسپینل‌ها، در حدود ۱۱ نقطه از کانی کروم‌اسپینل موجود در لرزولیت‌ها مورد بررسی نقطه‌ای قرار گرفتند و فرمول ساختاری آن‌ها بر اساس ۳۲ اتم اکسیژن و ۲۴ کاتیون محاسبه شدند. مقدار Fe^{+2} و Fe^{+3} براساس ضرایب عنصرسنجی و فرمول ارائه شده به-وسیله‌ی [۷] محاسبه شده‌اند. ترکیب و فرمول ساختاری اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌ها در جدول ۳ آورده شده است. داده‌های حاصل از تجزیه‌های نقطه‌ای نشان می‌دهد که عدد کروم $Cr\# = [Cr / (Cr + Al * 100)]$ در کروم‌اسپینل‌ها بین ۱۴ تا ۲۲ درصد است. در برابر آن مقادیر عدد منیزیم نمونه‌ها $Mg\# = [Mg / (Mg + Fe^{+2}) * 100]$ (۷۱-۷۷ درصد) نسبتاً بالاست.

میانگین نتایج و فرمول ساختاری این کانی‌ها و نتایج محاسبه‌ی درصد اعضای پایانی، به همراه $Mg\#$ این میانگین کلینوپیروکسن‌ها در جدول ۲ آورده شده است. کلینوپیروکسن‌های لرزولیتی، دارای $Mg\#$ برابر با ۰/۹۸ هستند، با انطباق مقادیر (Wo~48)، (Fs~3) و (En~49) روی نمودار (شکل ۳) ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در لرزولیت‌ها در گستره-ی دیوپسید قرار می‌گیرد.

کروم‌اسپینل

در سنگ‌های پریدوتیتی مورد بررسی، بیشتر فازهای سیلیکاتی تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها به کانی ثانویه مانند سرپانتین دگرسان شده‌اند، ولی کانی‌های کروم‌اسپینل موجود در این سنگ‌ها در بیشتر موارد بدون تغییر باقی مانده‌اند و به کمک آنها می‌توان ترکیب شیمیایی اولیه‌ی سنگ‌های پریدوتیتی را

جدول ۲ نتایج بررسی نقطه‌ای و محاسبه‌ی فرمول ساختاری برخی از کلینوپیروکسن‌های موجود در لرزولیت‌های فراقلیایی رودان (سمت چپ).

Sample wt%	۵۸	۵۸	۱۰۲	۱۰۲	۱۰۲
Na ₂ O	۰	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲
K ₂ O	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰
MgO	۵۱/۰۴	۵۰/۵۵	۵۱/۳	۵۰/۳۸	۵۰/۰۴
CaO	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
MnO	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۴
FeO	۸/۲۱	۸/۵۶	۱/۲۷	۱۰/۰۶	۹/۶۱
NiO	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Al ₂ O ₃	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲
Cr ₂ O ₃	۰/۰۶	۰	۰	۰/۰۱	۰
SiO ₂	۴۱/۱	۴۰/۹۶	۴۰/۵	۴۰/۵۱	۴۰/۴۱
TiO ₂	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱
Total	۱۰۰/۷	۱۰۰/۳	۱۰۱	۱۰۱/۲۶	۱۰۰/۷۲
Si	۰/۹۹۳	۰/۹۹۴	۰/۹۷	۰/۹۷۹	۰/۹۸
Ti	۰	۰	۰	۰	۰
Al	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰	۰/۰۰۱
Cr	۰/۰۰۱	۰	۰	۰	۰
Fe ³⁺	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۵	۰/۰۴۲	۰/۰۴
Fe ²⁺	۰/۱۵۴	۰/۱۶۳	۰/۱۳	۰/۱۶۱	۰/۱۵۵
Mn	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
Mg	۱/۸۳۶	۱/۸۲۹	۱/۸۳	۱/۸۱۵	۱/۸۲۲
Ca	۰	۰	۰	۰	۰
Te	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۴
Fo	۹۱/۶۱	۹۱/۲۱	۹۰/۶	۸۹/۸	۹۰/۲
Fa	۸/۲۷	۸/۶۶	۹/۱۸	۱۰/۰۶	۹/۶۵
Mg#	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۲

جدول ۳ نتایج بررسی نقطه‌ای و محاسبه‌ی فرمول ساختاری برخی از کروم‌اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌های فراقلیایی رودان.

Sample wt%	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۱۰۲	۱۰۲	۱۰۲
Na ₂ O	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۱۶	۰	۰/۰۸
K ₂ O	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
MgO	۱۹/۸۵	۱۹/۴۳	۱۹/۵۸	۱۹/۷۹	۱۸/۷۷	۱۸/۸	۱۸/۶۲	۱۹	۱۷/۷	۱۷/۷	۱۷/۸۹
CaO	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۳
MnO	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
FeO	۱۲/۴۴	۱۲/۵۳	۱۳/۰۱	۱۲/۹۷	۱۲/۹۸	۱۳/۵۸	۱۲/۹۳	۱۳/۷	۱۴/۶	۱۴/۴	۱۳/۹۶
NiO					۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۲
Al ₂ O ₃	۵۲/۵۳	۵۱/۵۸	۵۲/۱۱	۵۲/۰۷	۵۲/۹۳	۵۲/۷۵	۵۲/۶۵	۵۳	۴۶/۶	۴۶/۳	۴۶/۴۷
Cr ₂ O ₃	۱۳/۷۸	۱۴/۱۲	۱۴/۸۲	۱۵/۰۷	۱۳/۱۱	۱۲/۹۲	۱۲/۹۷	۱۲/۷	۱۹/۳	۱۹/۷	۱۹/۸
SiO ₂	۱/۳۱	۳/۰۴	۰	۰/۱۷	۰/۵۵	۰/۳۸	۰/۸۷	۰/۲۶	۰/۲۷	۰	۰/۳
TiO ₂	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۵
Total	۱۰۰	۱۰۰/۸۱	۹۹/۶۴	۱۰۰/۲	۹۹/۶۵	۹۸/۶۶	۹۸/۲۷	۹۸/۸	۹۸/۹	۹۸/۲	۹۸/۶۲
Si	۰/۰۳۴۴	۰/۰۸	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱۵	۰/۰۱	۰/۰۲۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۰۸
Ti	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۱
Al	۱/۶۲۷	۱/۵۹۳	۱/۶۲۷	۱/۶۱۷	۱/۶۶۹	۱/۶۶۳	۱/۶۶۶	۱/۶۷	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۰۶
Cr	۰/۲۸۶	۰/۲۹۳	۰/۳۱	۰/۳۱۴	۰/۲۷۷	۰/۲۷۳	۰/۲۷۵	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۴۳
Fe ³⁺	۰/۰۱۶	۰	۰/۰۵۹	۰/۰۵۷	۰/۰۲۴	۰/۰۴۲	۰/۰۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴۵
Fe ²⁺	۰/۲۵۷	۰/۲۷۵	۰/۲۲۹	۰/۲۲۹	۰/۲۶۷	۰/۲۶۲	۰/۲۷۹	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۷۶
Mn	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Mg	۰/۷۷۸	۰/۷۵۹	۰/۷۷۳	۰/۷۷۷	۰/۷۴۸	۰/۷۴۹	۰/۷۴۵	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۳۳
Cr#	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۲
Mg#	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۲
Cr/Al	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۸
Fe ³⁺ #	۰/۰۰۸	۰	۰/۰۲۹	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۰۲۱	۰/۰۰۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳	۰/۰۲۲

تمایل و کشیده شدن ترکیبات کروم‌اسپینل به سمت قطب Al^{3+} است. در واقع کروم‌اسپینل موجود در لرزولیت‌ها غنی از آلومینیم هستند. بین اکسیدهای Al_2O_3 و MgO همبستگی مثبت وجود دارد (شکل ۴ الف). هم چنین ارتباط منفی بین اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 در نمونه‌های لرزولیتی (شکل ۴ ب) به خوبی نمایان است.

مقدار TiO_2 در کروم‌اسپینل موجود در لرزولیت‌ها بسیار پایین (با میانگین ۰/۰۵ درصد) و حداکثر به ۰/۱ درصد می‌رسد (جدول ۳). براساس بررسی‌های [۹] می‌توان بر پایه‌ی TiO_2 موجود در کروم‌اسپینل‌های کانسارهای لایه‌ای و نیامی شکل (پودفرم)، این دو را از یکدیگر جدا کرد، به گونه‌ای که مقدار TiO_2 در کانسارهای نیامی شکل کمتر از ۰/۳ درصد بوده، در

داده‌های حاصل از تجزیه‌ی نقطه‌ای نشان می‌دهد که، در ترکیب شیمیایی کروم‌اسپینل‌های لرزولیتی میزان Cr_2O_3 در گستره‌ی بین ۶۶ تا ۱۲/۱۹ درصد وزنی تغییر می‌کند و از این رو اکسید نسبتاً فقیرند. ولی از Al_2O_3 (۴۶/۳۱ - ۵۲/۹۸ درصد وزنی) نسبتاً غنی هستند، که به خاطر افزایش این اکسید میزان $Cr\#$ کاهش یافته است. همچنین کمترین میزان FeO (۱۲/۴۴ تا ۱۴/۶۱ درصد وزنی) را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). این نوع ترکیب احتمالاً نشان دهنده یک ترکیب پیکوتیتی (اسپینل قهوه‌ای) [۸] است. ترکیب شیمیایی اسپینل‌های منطقه در نمودار مثلثی $Fe^{3+} - Al^{3+} - Cr^{3+}$ (شکل ۳) نشان داده شده است. چنانکه مشهود است نمونه‌ها بر روی محور $Al^{3+} - Cr^{3+}$ قرار می‌گیرند و نشان دهنده‌ی

شود و برعکس. گستره‌های گوناگون مشخص شده در شکل ۵ توسط [۱۴، ۱۵، ۱۶] پیشنهاد شده است.

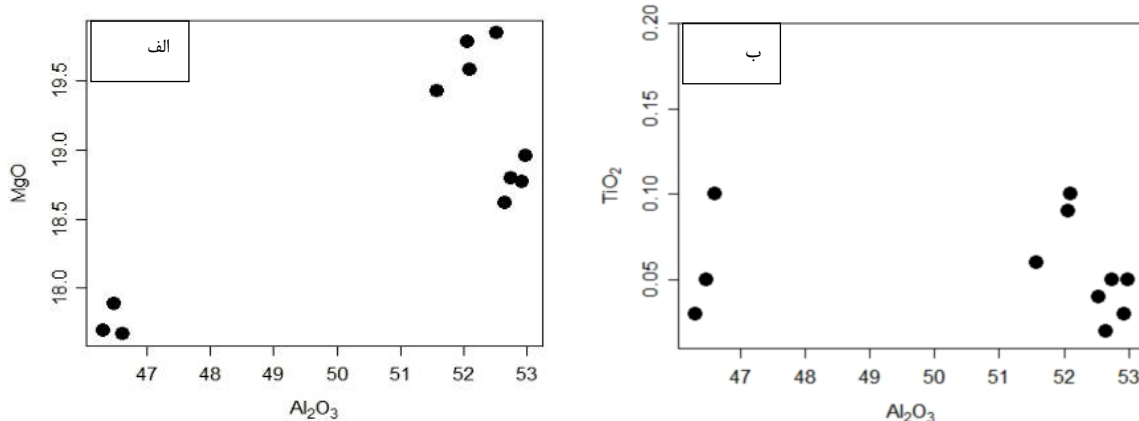
مقدار TiO_2 به عنوان یک فاکتور برای تشخیص محیط تکتونیکی لحاظ می‌شود. در نمودار TiO_2 در مقابل Al_2O_3 که برای تمایز گستره‌های منطقه ابرفروراندی (SSZ) از پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) ارائه شده است، ترکیب کروم‌اسپینل لرزولیت‌های بررسی شده در موقعیت پریدوتیت‌های کف اقیانوس (مورب) قرار می‌گیرند (شکل ۵ ب). کروم‌اسپینل موجود در لرزولیت‌ها از نوع آلومینیوم بالا هستند (جدول ۳). بالا بودن Al و نیز مقدار Ti پایین در اسپینل از سرشتی‌های اسپینل‌های مورب هستند [۱۶]. از طرف دیگر بالا بودن Cr# در اسپینل، از اسپینل‌های محیط فرورانشی است که برخلاف این برداشت، با توجه به پایین بودن Cr# در کروم‌اسپینل لرزولیت‌ها، می‌توان گفت که سرشتی‌ها به محیط مورب وابسته‌اند. از سوی دیگر با همخوانی ترکیب کروم‌اسپینل، پریدوتیت‌ها در نمودار TiO_2 در برابر Cr# (شکل ۵ ج)، کروم-اسپینل لرزولیت‌ها در موقعیت الیون-اسپینل آرایه‌ی گوشته قرار می‌گیرند و ترکیب این کانی از ترکیب آرایه‌های موجود در گوشته پیروی می‌کند.

مقادیر اکسیدهای MgO و Cr_2O_3 [۱۷] موجود در کروم-اسپینل‌ها ارتباط منفی با یکدیگر دارند که در شکل ۶ الف مشاهده می‌شود. این نمودار نیز نشان می‌دهد که کروم‌اسپینل موجود در لرزولیت‌های فراقلیایی رودان در گستره‌ی آرایه‌ی گوشته‌ای و در انتهای با تهی شدگی پایین قرار می‌گیرند.

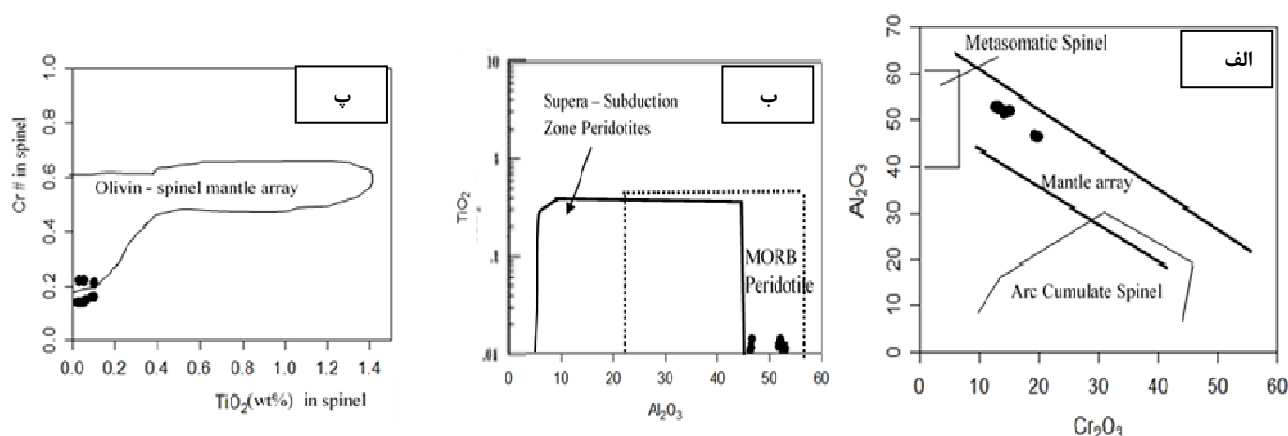
حالی که مقدار این اکسید در انواع لایه‌ای شکل بیشتر از ۰/۳ درصد است، زیرا طی ذوب بخشی گوشته‌ی فوقانی، Ti به شدت وارد گدازه می‌شود [۱۰].

سنگ‌زایی

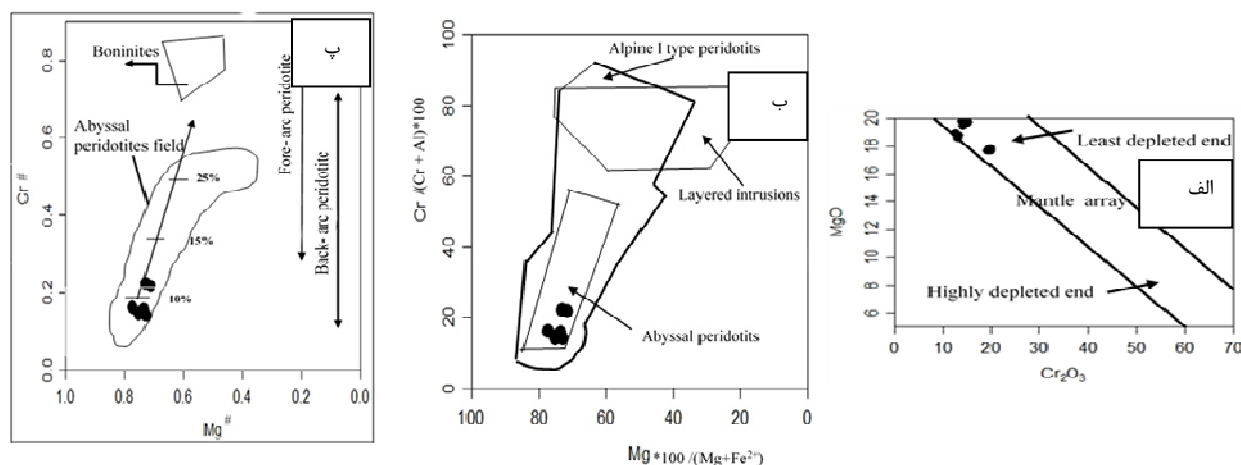
علیرغم سرپانتینی شدن کانی‌های سیلیکاتی، کروم‌اسپینل‌ها معمولاً کمتر دگرسان شده و شیمی مطمئن‌تری دارند. شیمی کانی اسپینل اطلاعات مفیدی از شیمی ماگما، گریزندگی اکسیژن و دمای تشکیل سنگ نشان می‌دهد و شاخص مناسبی برای آگاهی از زمین‌ساختی گذشته‌ی منطقه است [۱۱، ۱۲]. نسبت $Cr\# = [Cr / (Cr + Al)]$ به عنوان یک شاخص سنگ‌زایی مهم برای سنگ‌های فراقلیایی و قلیایی به حساب می‌آید [۱۳] نسبت $Mg\# = (Mg / (Mg + Fe))$ با مقادیر متفاوت Cr# در کروم‌اسپینل‌ها نسبت معکوس دارند [۱۳]. ترکیب شیمیایی کانی‌های بررسی شده‌ی موجود در لرزولیت‌های فراقلیایی، برای تعیین محیط زمین‌ساختی و خاستگاه، در نمودارهای سنگ‌زایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اگر محتوای Al_2O_3 کانی‌های اسپینل موجود در لرزولیت‌ها در برابر Cr_2O_3 آن‌ها ترسیم شود، تمامی کروم‌اسپینل‌ها در گستره الیون - اسپینل شاخص گوشته‌ای (OSMA) قرار می‌گیرند (شکل ۵ الف). در نمودار Cr_2O_3 و Al_2O_3 همبستگی منفی بین تمامی نمونه‌های لرزولیت برقرار است. چنین ارتباطی گویای جانشینی اتمی Al^{+3} به جای Cr^{+3} در شبکه‌ی ساختاری کروم‌اسپینل است. چنانکه با افزایش مقادیر Cr^{+3} ، از مقدار Al^{+3} کاسته می‌-



شکل ۴ الف) ارتباط مثبت Al_2O_3 و MgO در کروم‌اسپینل ب) ارتباط منفی Al_2O_3 و TiO_2 در کروم‌اسپینل موجود در فراقلیایی رودان [۱۵].



شکل ۵ الف- نمودار درصد وزنی Al_2O_3 در مقابل Cr_2O_3 کروم اسپینل ب- نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 پ- کروم اسپینل ها در گستره ی آرایه الیون - اسپینل گوشته ای [۱۶].



شکل ۶ الف- نمودار درصد وزنی Cr_2O_3 در مقابل MgO ، کروم اسپینل [۱۷] ب- نمودار $Mg\#$ در مقابل $Cr\#$ کروم اسپینل [۱۸، ۱۹]. پ- نمودار $Cr\#$ در مقابل $Mg\#$ اسپینل ها، که در آن گستره آبیسال، جلوی قوس و پشت قوس مشخص شده اند [۱۳].

میزان $Cr\#(Sp)$ نمونه های لرزولیتی مورد بررسی بین ۱۴ تا ۲۲ درصد متغیر است. با توجه به مفاهیم بیان شده در مورد عدد کروم و مقایسه آن ها به نظر می رسد لرزولیت ها در گستره ی وابسته به پریدوتیت های آبیسال (نوع آلپی) قرار می گیرد. از نکات قابل توجه در نمودارهای یادشده می توان به تغییرات بسیار محدود و ترکیب نزدیک کروم اسپینل های موجود در لرزولیت ها اشاره کرد. تعیین نسبت Cr/Al ، در پریدوتیت های فاقد پلاژیوکلاز مناسب است، زیرا با وجود پلاژیوکلاز، آلومینیم در ساختار کانی پلاژیوکلاز قرار می گیرد، بنابراین شیمی کانی اسپینل تغییر می کند و نسبت کروم به آلومینیم آن افزایش

در نمودار $Cr\#$ در مقابل $Mg\#$ ، اسپینل [۱۸، ۱۹] (شکل ۶ ب) کروم اسپینل لرزولیت ها با پریدوتیت های آبیسال که شامل پریدوتیت های نوع آلپی و نوع Al بالاست بیشترین هم پوشی دارند. عدد کروم اسپینل موجود در پریدوتیت های ابرفرورانشی بالاتر از عدد کروم اسپینل موجود در پریدوتیت های آبیسال است. گستره ی عدد کروم اسپینل در پریدوتیت های ابرفرورانشی از ۳۸ تا بالاتر از ۸۰ است که نشان می دهد درجه ی ذوب بخشی در پریدوتیت های ابرفرورانشی در مقابل پریدوتیت های آبیسال بالاتر است. پریدوتیت ابرفرورانشی با عدد کروم ۳۸ تا ۵۸ با پریدوتیت های آبیسال هم پوشی دارد. چنانکه گفته شد

می‌یابد. در موقعیت زمین‌ساختی آبیسال اسپینل غنی از آلومینیم است و عدد کروم آن ۰/۱۰-۰/۵۹ است که نسبت پایین کروم به آلومینیم نشان دهنده‌ی خروج گدازه کم از پریدوتیت مادر است [۱۳]. پریدوتیت‌های مورد بررسی فاقد کانی پلاژیوکلاز هستند. نسبت Cr/Al در اسپینل موجود در لرزولیت‌ها برابر ۰/۱۹ است (جدول ۳). بنابراین لرزولیت‌های کمتر تهی شده از پریدوتیت‌های وابسته به آبیسال هستند، که همراه با خروج گدازه در مرکز گستره اقیانوس به وجود آمده‌اند. فشار بخشی اکسیژن یا به عبارتی گریزندگی اکسیژن، از جمله پارامترهای اساسی در فرایندهای گوشته‌ای به شمار می‌رود. این پارامتر، موقعیت فشار - دمای انجماد گوشته را تحت تأثیر قرار داده و ترکیب گدازه و شارهای ریشه گرفته از گوشته نیز متأثر از وجود این عامل است. به علاوه، بعضی از، سرشتی‌های ژئوفیزیکی گوشته نیز تحت تأثیر آن قرار دارد [۲۱،۲۰] با استفاده از داده‌های ترمودینامیکی، گریزندگی اکسیژن از کروم-اسپینل‌ها محاسبه شده و تأکید بر این است که این کانی‌ها، شاخص‌های پتانسیل ماگماهای سیلیکاتی هستند که از آن‌ها متبلور می‌شوند. بنابر دریافت او نسبت Fe^{3+}/Fe^{2+} در کروم-اسپینل تابعی از دما و گریزندگی اکسیژن است. در گوشته‌ی فوقانی، شرایط احیایی‌تر بوده و fO_2 بسیار پایین است [۲۲] و با افزایش گریزندگی اکسیژن، $Cr\#$ به نحو موثری افزایش می‌یابد. Fe^{3+} فقط به صورت فرعی در سنگ‌های پریدوتیتی وجود دارد. مقدار Fe^{3+} اسپینل تابعی از گریزندگی اکسیژن است. مقدار $[Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Cr+Al)]$ در کروم‌اسپینل موجود در نمونه‌های لرزولیتی بسیار پایین است (با میانگین حدود ۰/۰۱). بر پایه بررسی‌های [۲۳]، مقادیر پایین Fe^{3+} (<۰/۱) در پریدوتیت‌ها می‌تواند بازتابی از شرایط تبلور، در گریزندگی پایین اکسیژن (fO_2) باشد. پایین بودن $Cr\#$ نمونه‌های مورد بررسی نیز موید این شرایط است.

مقدار $Cr\#$ در کروم‌اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته‌ی آبیسال، میانگینی از ۰/۱ تا ۰/۶ [۱۳] که از حدود ۰/۴ تا ۰/۶ در هارزبورژیت تا >۰/۴ در لرزولیت در پاسخ به کاهش

درجه‌ی ذوب بخشی تغییر می‌کند [۱۳]. محتوای TiO_2 آن‌ها اغلب کمتر از ۰/۳ $Wt\%$ در کروم‌اسپینل‌هایشان است. کروم-اسپینل موجود در لرزولیت‌ها با داشتن $Cr\#$ بین ۰/۱ تا ۰/۲ و TiO_2 قریب به ۰/۱ $Wt\%$ مشابه مقادیر پریدوتیت‌های گوشته است. مقادیر $Cr\#$ اسپینل یا Al_2O_3 معمولاً برای مشخص کردن سرشت خاستگاه گوشته پریدوتیتی و درجه ذوب بخشی استفاده می‌شوند [۲۴].

نسبت Fe^{2+}/Fe^{3+} و TiO_2 کروم‌اسپینل می‌تواند در تعیین ویژگی‌های ابرفرورانشی منطقه‌ی و پریدوتیت‌های نوع مورب استفاده شود [۲۵] پریدوتیت‌های آلی (فیولیتی) را بر اساس $Cr\#$ به سه دسته تقسیم می‌کنند: I) پریدوتیت‌هایی که محتوای اسپینل $Cr\# > ۰/۶$ دارند و تصور می‌شود که از لیتوسفر اقیانوسی تشکیل شده در پشته‌های میان اقیانوسی مشتق شده‌اند، اگرچه محیط‌های دیگر منع نشده‌اند. II) پریدوتیت‌هایی که حاوی اسپینل $Cr\# > ۰/۶$ هستند که اغلب به عنوان محیط‌های ایلند آرک‌های شبه‌آتشفشانی در نظر گرفته می‌شوند و III) پریدوتیت‌هایی که حاوی اسپینل‌های در برگرفته‌ی طیف کاملی از ترکیبات بین نوع I و II هستند، که بازتابی از یک خاستگاه ترکیبی مانند تشکیل سنگ‌های فروراننده به پوسته اقیانوسی هستند. بر این اساس می‌توان مشاهده کرد که کروم‌اسپینل موجود در لرزولیت‌های اولترامافیک رودان وابسته به نوع I بوده و از پشته‌های میان اقیانوسی مشتق شده‌اند [۲۷،۲۶]. پریدوتیت‌های منطقه شامل هارزبورژیت و لرزولیت است و به نظری می‌رسد که لرزولیت‌های فرامافیکی، الیوین‌های غنی از منیزیم ($Fo_{۸۹/۸-۹۱/۶۱}$) و اسپینل کروم‌دار دارند که از ویژگی‌های شاخص پریدوتیت‌های اقیانوسی (آبیسال) است [۱۱]. در پریدوتیت‌ها معمولاً درجه ذوب‌شدگی از کمتر از ۵ درصد تا حدود ۳۰ درصد دیده شوند [۲۸]. با افزایش درجه‌ی ذوب بخشی سنگ‌های تهی شده یا به بیان دیگر سنگ‌های پریدوتیتی مادر گوشته‌ی بالایی، درصد مودی الیوین به تدریج افزایش، میزان کلینوپیروکسن به سرعت کاهش و میزان ارتوپیروکسن نیز در آغاز به آرامی، ولی پس از

برداشت

بررسی شیمی کانی‌ها به خصوص اسپینل‌های کروم‌دار که کانی‌های باقی مانده از پریدوتیت‌های گوشته‌ی اولیه در نظر گرفته می‌شوند نشان می‌دهد که لرزولیت‌های فراقلیایی رودان از نوع پریدوتیت‌های اقیانوسی بوده و شبیه پریدوتیت‌های نوع آلپی هستند. بنابر رده‌بندی پریدوتیت‌های نوع آلپی (افیولیتی) براساس مقدار $Cr\#$ ، کروم‌اسپینل موجود در لرزولیت‌ها دارای مقادیر $Cr\# > 0.6$ بوده و به پشته‌های میان اقیانوسی وابسته‌اند. بر اساس نسبت کروم به آلومینیوم در اسپینل، لرزولیت‌ها با خروج گدازه‌ی کم و وابسته به پریدوتیت‌های آبیسال هستند. لرزولیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی از تفاله‌های گوشته‌ای هستند که در نتیجه‌ی ذوب‌بخشی حدود ۶-۱۲ درصد از گوشته به وجود آمده‌اند. بالا بودن Al و Ti پایین در کروم-اسپینل‌ها نشان دهنده‌ی محیط پشته‌های میان اقیانوسی است. همچنین پایین بودن $Cr\#$ و مقدار کم $Fe^{+3}\#$ شرایط گریزندگی اکسیژن پایین را نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] Barnes S. J., Roeder P. L., "The Range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks", *Journal of Petrology*, 42 (2001) 2279-2302.
- [2] Mc Call, G. g. H., Morgan K. H., Huber H., "Geological Quadrangle Map of Minab, 1:250,000 Series", Sheet J 13, Geological Survey of Iran, Tehran.
- [3] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals", *American Mineralogist*, 68 (1983) 277-279.
- [4] Dick H. J. B., Bullen T., "Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpinotype peridotites and spatially associated lavas", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 86 (1984) 54-76.
- [5] Poldervaart A., Hess H. H., "Nomenclature of clinopyroxenes in the system $CaMgSi_2O_6$ - $CaFeSiO_6$ - $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$ ", *Journal of Geology*, 59(1951) 325-394.
- [6] Haggerty S., "Diamond genesis in a multiply-constrained model", *Nature*, 320 (1986) 34-38.

ناپدید شدن کلینوپیروکسن به سرعت کاهش می‌یابد. این تغییرات، بسته به ترکیب اولیه‌ی سنگ مادر در گستره‌ی ۱۵ تا ۳۰ درصد از درجه‌ی ذوب‌شدگی رخ می‌دهد [۲۴]. در طول پدیده ذوب بخشی، نه تنها نسبت فازهای موجود در تفاله کم و زیاد می‌شود، بلکه ترکیب هر فاز نیز تغییر می‌کند. برای نمونه، نسبت Mg/Fe در البوین و پیروکسن‌ها و نیز نسبت Cr/Al در اسپینل‌ها افزایش می‌یابد، در حالی که میزان Ti ، Al ، Na و پیروکسن‌ها کم می‌شود [۲۴]. که این پدیده نشان دهنده‌ی آن است که عناصر ماگما مانند Al ، Fe ، Ti و قلیائیه‌ها تمایل دارند که به گدازه وارد شوند، ولی عناصر دیر گداز مانند Mg و Cr تمایل دارند که در تفاله باقی بمانند. بنابراین ترکیب مودی و نیز شیمی کانی‌های پریدوتیت‌های گوشته‌ای، می‌تواند شاخصی از درجه‌ی ذوب‌شدگی و یا تهی‌شدگی این سنگ‌ها باشد. به کمک ترکیب شیمیایی کانی‌های کروم اسپینل موجود در این سنگ‌ها می‌توان برآورد اولیه‌ای از میزان ذوب بخشی به دست آورد. معمولاً چندین متغیر ترکیبی برای برآورد درجه‌ی تهی‌شدگی پریدوتیت‌ها در اثر خروج گدازه از آن‌ها استفاده می‌شوند [۱۳]. از ترکیب شیمیایی کروم‌اسپینل‌های یادشده در تعیین میزان ذوب بخشی این سنگ‌ها استفاده شده است [۲۹]. بر پایه نمودار $Cr\#$ در برابر $Mg\#$ ، میزان ذوب بخشی لرزولیت‌های فراقلیایی رودان بین ۷ تا ۱۲ درصد برآورد می‌شود (شکل ۶ ج). $Cr\#$ همبستگی مثبتی با درجه‌ی ذوب بخشی دارد به گونه‌ای که کروم‌اسپینل‌ها با افزایش درجه‌ی تهی‌شدگی سرشار از کروم می‌شوند [۱۳]. با توجه به شکل ۶، کروم اسپینل موجود در لرزولیت‌ها در درجات پایین‌تری از ذوب بخشی ایجاد شده‌اند. همچنین یک رشته معادله‌ی تجربی در مورد ارتباط میان درجه‌ی ذوب بخشی و میزان $Cr\#$ کروم-اسپینل موجود در پریدوتیت‌های افیولیتی [۳۰] و پریدوتیت‌های اقیانوسی ارائه شده است. بر پایه‌ی معادله‌ی ارائه شده توسط [۳۰] $F\% = 9.71 * \ln(Cr\#_{spl}) + 25.8$ لرزولیت‌های فراقلیایی رودان حدود ۶۷۰ - ۱۱۰۹ درصد ذوب بخشی را تحمل کرده‌اند.

- [17] Al-Abed S., "Petrogenesis of chromite and associated minerals in the upper mantle peridotite of the northern Semail ophiolite", Ph.D thesis, The Ohio state University, (2000) 639 p.
- [18] Ishii T., Robinson P. T., Maekawa H., Fiske M., "Petrological studies of peridotites from diapiric serpentinite seamounts in Izu-Ogasawara-Mariana forearc", Leg 125. In: P., Fryer, J. A., Pearce and L. B., Stocking (Eds.): Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results 125, College station, Texas, (1992) 445-485.
- [19] Monnier C., Girardeau J., Maury R., Cotton J., "Back-arc basin origin for the East Sulawesi ophiolite (eastern Indonesia)", Journal of Geology, 23 (1995) 851-854.
- [20] Taylor W.R., Green D. H., "The petrogenetic role of methane: effect on liquidus phase relations and the solubility mechanism of reduced C-H volatiles. In: Mysen BO (ed) Magmatic processes: physicochemical principles", Geochem. Soc. Spec Publ, (1987) 121-138 Ho.
- [21] Irvine T. N., "Chromian spinel as a petrogenetic indicator: part 2. Petrologic applications", Canadian Journal of Earth Sciences, 4 (1967) 71-103.
- [22] Hill R., Roeder P., "The crystallization of spinel from basaltic liquid as a function of oxygen fugacity", Journal of Geology, 82 (1974) 709-729.
- [23] Fisk M. R., Bence A. E., "Experimental crystallization of chrome spinel in FAMUS basalt 527-1-1.", Earth and planetary science letters, 48 (1980) 111-123.
- [24] Jaques A. L., Green D. H., "Anhydrous melting of peridotite at 0-15 kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts", Contribution to Mineralogy and Petrology, 73(1980) 287-310.
- [25] Kamenetsky V. S., Crawford A. J., Meffre S., "Factors controlling chemistry of magmatic spinel: An empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks", Journal Petrology, 42 (2001) 655-671.
- [۲۶] کنعانیان ع. و همکاران، "سنگ‌شناسی، شیمی کانی و شکل‌گیری کرومیت‌های اند و قشلاق، مجموعه‌ی افیولیتی
- [7] Droop G.T.R., "A general equation for estimating Fe+3 concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses", using stoichiometric criteria. Mineralogical Magazine, 51(1987) 431-435.
- [8] Ahmadipour H., Sabzehei M., Whitechurch H., Rastad E., Emami M. H., "Soghan complex as an evidence for paleosspreading center and mantle diapirism in Sanandaj-Sirjan zone (South-east Iran)", Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, 14 (2003) 157-172.
- [9] Zhou M. F., Bai W. J., "Chromite deposits in China and their origin. Mineralium Deposita", 27 (1992) 192-199.
- [10] Jan M. Q., Windley B. F., "Chromian spinel-silicate chemistry in ultrabasic rocks of the Jijal complex, Northwest Pakistan", Journal of petrology, 31 (1990) 667-715.
- [11] Rollinson H., "Chromite in the mantle section of the Oman ophiolites a new genetic model", Island Arc, 14 (2005) 542-550.
- [12] Zhou M. F., Sun M., Keays R. R., Kerrich R. W., "Controls on platinum group elemental distribution of podiform chromitites. A case study of high-Cr and high-Al chromitites from Chinese orogenic belts", Geochemica et Cosmochimica Acta, 62 (1998) 677-688.
- [13] Dick H. J. B., "The origin and emplacement of the Josephine peridotite of Southwestern Oregon", Ph.D. thesis, Yale University, USA (1976) 409pp.
- [14] Kamenetsky V. S., Crawford A. J., Meffre S., "Factors controlling chemistry of magmatic spinel: An empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks", Journal Petrology, 42 (2001) 655-671.
- [15] Conrad W. K., Kay R. W., "Ultramafic and mafic inclusions from Adak Island: Crystallization history and implications for the nature of primary magmas and crustal evolution in the Aleutian arc", Journal of Petrology, 25(1984) 88-125.
- [16] Sigurdsson H., Schilling J. G., "Spinels in Mid-Atlantic ridge basalts: chemistry and occurrence", Earth and Planetary Science Letters, 29 (1976) 2-7.

- [۲۹] صلواتی م.، و همکاران، "سنگ‌شناسی، شیمی کانی‌های اصلی سنگ‌های الترامافیک مجموعه افیولیتی جنوب دریای خزر (خاور گیلان): شواهدی از تفریق بلور در فشار بالا"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی، شماره ص (۱۳۸۸) ۱۴۹ تا ۱۶۶.
- [30] Batanova V. G., Suhr G., Sobolev A. V., "Origin of Geochemical Heterogeneity in the Mantle Peridotites from the Bay of Islands Ophiolite, Newfoundland", Canada: Ion Probe Study of Clinopyroxenes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62 (1998) 853-866.
- خوی شمال غرب ایران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی، شماره ۳ (۱۳۸۸) ص ۳۷۱ تا ۳۸۲.
- [۲۷] امینی ص.، و همکاران، "سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و سنگ‌شناسی مجموعه افیولیتی جنوب صحنه (شمال شرق کرمانشاه)، مجله بلورشناسی و کانی شناسی، شماره ۲ (۱۳۸۵) ص ۲۲۵ تا ۲۴۶.
- [28] McDonough W. F., Frey F. A., "Rare earth elements in upper mantle rocks. In: Lipin, B. R. and McKay, G. A. (eds) *Geochemistry and Mineralogy of rare earth elements (Reviews in Mineralogy vol 21)*", Mineralogical Society of America, Washington, DC (1989) 99-145.