

پترولوژی، سال دوم، شماره پنجم، بهار ۱۳۹۰، صفحه ۱۹-۴۸
تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۷/۱۳

بررسی شیمی کانی‌های پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر (جنوب غرب کابل - افغانستان)

غلام حسین نظری، قدرت ترابی* و محمود خلیلی
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

مجموعه افیولیتی لوگر در کمربند افیولیتی جنوب شرق افغانستان در محدوده بلوک کابل گسترش دارد و بخشی از افیولیت‌های نئوتیس در سیستم کوهزایی آلپ-همالیا با سن جاگیری ائوسن محسوب می‌شود. کانی‌های الیون، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن و اسپینل سازه‌های اصلی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر هستند. الیون‌های واحدهای مختلف سنگی اغلب سرپانتینی شده‌اند، اما الیون‌های سالم از نوع فورستریت هستند. ارتوپروکسن و کلینوپروکسن‌های واحدهای مختلف سنگی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر، به ترتیب از نوع انستاتیت ($Mg\#0/961 - 0/972$) و دیوپسید ($Mg\#0/976 - 0/999$) هستند. $Cr\#$ اسپینل‌های ورمیکولار و بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار موجود در لرزولیت و هارزبورژیت‌ها نسبتاً بالا بوده، به ترتیب $0/547$ و $0/625$ با رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز هستند. $Cr\#$ اسپینل‌های نیمه‌شکل دار تا خودشکل دونیت‌ها ($0/477$)، به علت دارا بودن مقدار بیشتر Al_2O_3 و مقدار کمتر Cr_2O_3 نسبت به سایر واحدهای سنگی گوشته افیولیت لوگر، کمتر است. $Cr\#$ اسپینل‌های کاملاً خودشکل و قرمز تیره رنگ کرومیتیت $0/633$ است. پریدوتیت‌های مورد بررسی در این مطالعه گوشته‌ای و به گوشته زیر پوسته اقیانوسی متعلق هستند. محتوای کم Al_2O_3 ارتوپروکسن‌ها و کلینوپروکسن‌ها و Na_2O کلینوپروکسن‌ها نشان‌دهنده درجه بالای ذوب‌بخشی واحدهای سنگی گوشته افیولیت لوگر است. کانی‌های موجود در دونیت‌ها در بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی و عنصری هماهنگی رفتاری با کانی‌های مشابه در لرزولیت و هارزبورژیت‌ها نشان نمی‌دهند. اسپینل‌های دونیت‌ها از لحاظ شیمیایی شباهت زیادی به اسپینل‌های بالشی نسبت به اسپینل لرزولیت و هارزبورژیت‌ها نشان می‌دهند. این دونیت‌ها ویژگی‌های دونیت‌های حاصل از ذوب‌بخشی را نشان نمی‌دهند و بیشتر نمایانگر مکان هندسی جریان مذاب تجمع یافته در گوشته هستند.

واژه‌های کلیدی: ائوسن، افغانستان، افیولیت لوگر، پریدوتیت گوشته

مقدمه

می‌توانند اطلاعات مهمی درباره ماهیت فرایندهای ممکن برای ذوب‌بخشی و منشأ مذاب و محیط تکتونیک - ماگمایی که افیولیت‌ها شکل گرفته‌اند، ارائه

ترکیب سنگ‌های گوشته موجود در افیولیت‌ها که به‌عنوان باقیمانده‌های ذوب‌بخشی تصور می‌شوند،

برخورد مایل این قاره، سبب تغییراتی در روندهای ساختمانی و یک سری گسل خوردگی و چین خوردگی‌ها شده است. این مجموعه بلوک‌ها و قطعات، توسط زمین درزهایی که در طول آنها افیولیت‌ها دیده می‌شوند، از همدیگر جدا شده‌اند. افیولیت‌ها در ظاهر تنها بقایای پوسته اقیانوسی زیر رانده شده هستند که خود نشان‌دهنده فضاهای اقیانوسی با عرض نامشخص هستند.

اولترامافیک‌های افغانستان را بر اساس زمان تشکیل به سه گروه عمده تقسیم می‌کنند:

۱- اولترامافیک‌های پالئوزوییک که در دوره کربنیفر تحتانی و پرمین به وجود آمده‌اند؛

۲- اولترامافیک‌های مزوزوییک که در دوره کرتاسه تشکیل شده‌اند؛

۳- اولترامافیک‌های سنوزوییک که تشکیل آنها با دوره ائوسن ارتباط دارد.

بهترین مدل برای تکتونیک سنوزوییک انتهای غربی کمربند هیمالیا، نفوذ رأس مقاوم و محکم درون یک صفحه نیمه پلاستیک است (Tapponnier and Molnar, 1976). در این مدل، رأس محکم در شمال غربی قاره هند قرار دارد، که هم‌اکنون توسط گسل چمن در غرب و گسل کاراکوروم در شرق محدود شده است. اگر چه این گوه یا رأس در طول زمان تغییر یافته است، بر اساس ترسیم‌بندی امروزی همان گوه پامیر است (Tapponnier et al., 1981).

زمین‌درز ایندوس - تسانگپو (Indus - Tsangpo) بین هند و تبت با دو زیر کمربند افیولیتی نزدیک کابل و خوست در شرق افغانستان هم‌خوانی دارد. هر دو مجموعه افیولیتی بین کرتاسه بالایی و ائوسن زیرین توسط مسدود شدن دو زون فرورانش به سمت شمال تشکیل شده‌اند (Tapponnier et al., 1981).

کنند. افیولیت‌ها می‌توانند در پشته‌های میان اقیانوسی (MOR)، مراکز گسترش پشت قوس (spreading centers Back-arc) و طی فرایندهای تکتونیکی زون سوپرا سابداکشن (Supra-Subduction Zone) به وجود آیند (Miyashiro, 1975; Pearce et al., 1984). پریدوتیت‌های گوشته افیولیت‌ها، اطلاعات مستقیمی درباره تحولات ژئوشیمیایی گوشته بالایی فراهم می‌آورند. یکی از ابزارهای مورد استفاده برای بررسی منشأ سنگ‌ها، شیمی کانی‌های موجود در آنهاست که از طریق آنالیز میکروپروب و محاسبات فرمول ساختمانی آنها امکان پذیر می‌شود.

از آنجایی که تا کنون بر روی پریدوتیت‌های افیولیت لوگر مطالعه پتروولوژی انجام نشده است، در این مطالعه، سعی بر آن است که با مطالعه شیمی کانی‌های موجود در واحدهای مختلف سنگی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر و استفاده از دیاگرام‌های ژئوشیمی مناسب، ماهیت و نوع کانی‌های موجود در این پریدوتیت‌ها و منشأ تشکیل این پریدوتیت‌ها مشخص شود و همچنین، دما و فشار تعادلی این پریدوتیت‌ها تخمین زده شوند.

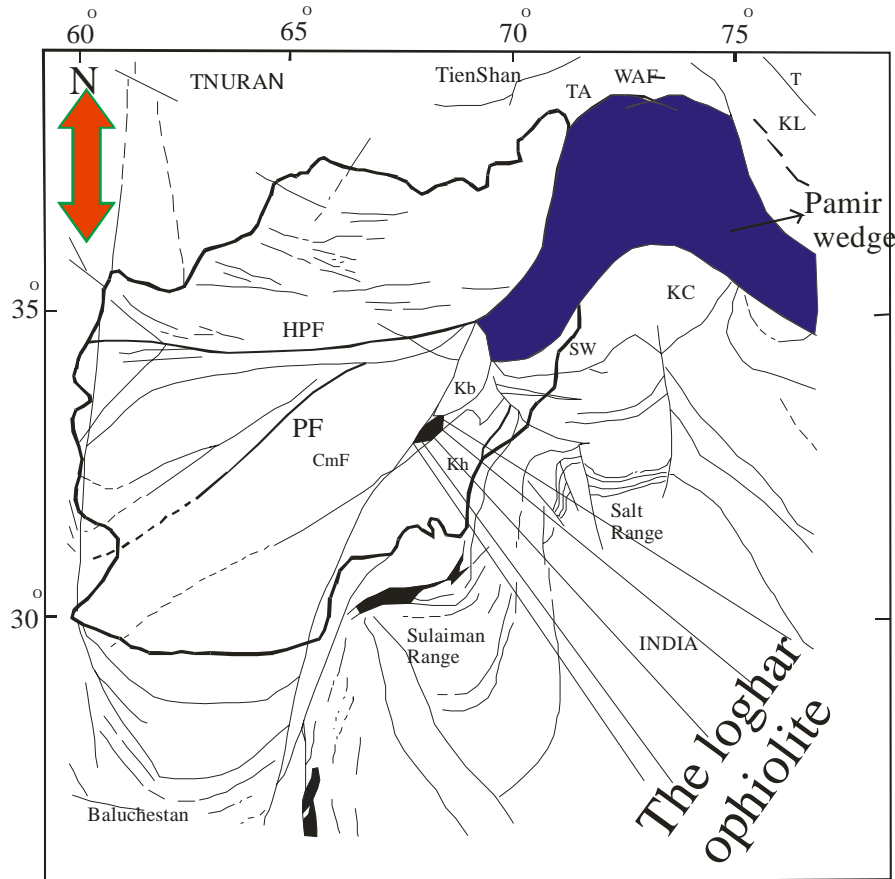
زمین‌شناسی منطقه

از نظر زمین‌شناسی، ساختار فعلی کشور افغانستان در مزوزوییک شکل گرفته است. اوایل مزوزوییک، پانگه‌آ شروع به شکستن به دو تکه عمده نموده است: ۱- لوراسیا در شمال دریای تتیس؛ ۲- گندوانا در جنوب.

توده‌های خشکی کوچک‌تری از گندوانا مشتق شده و به سوی شمال در دریای تتیس حرکت کرده‌اند (Schindler, 2002)، و به‌طور مایل با توده قاره‌ای آسیا برخورد داشته‌اند. آخرین قطعه‌ای که به این مجموعه در حال پیوستن است، بلوک قاره‌ای بزرگ هندوستان است.

جنوب شرقی افغانستان گسترش داشته، همانند دیگر اولترامافیک‌ها، با شکستگی‌های عمیق تکتونیکی مرتبط هستند (شکل ۱).

اولترامافیک‌های سنوزوییک که در ائوسن تشکیل شده‌اند، قسمت اعظم اولترامافیک‌های افغانستان را شامل می‌شوند. این سنگ‌ها در زون کابل و قسمت‌های

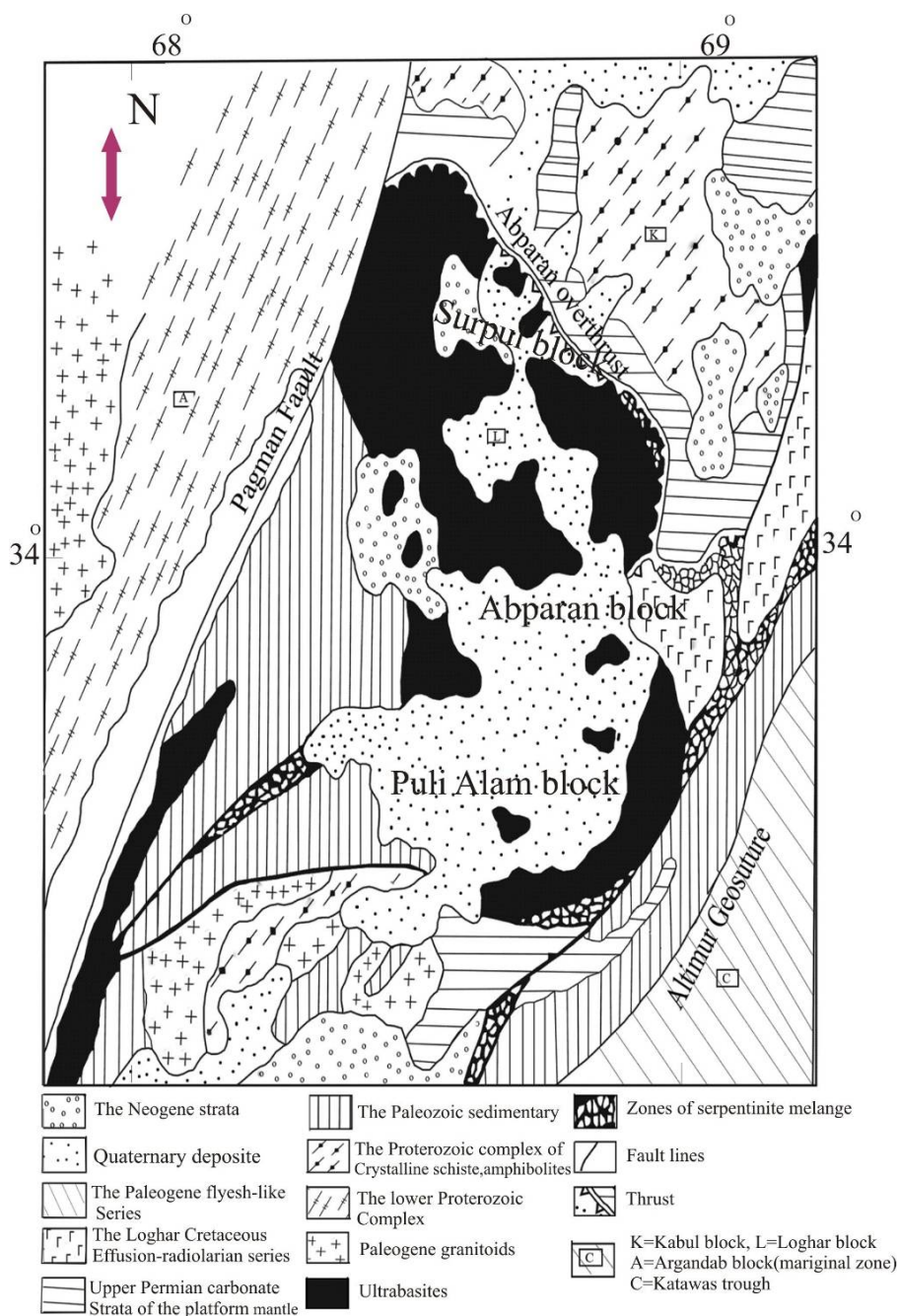


شکل ۱- موقعیت بلوک کابل و افیولیت لوگر در تکتونیک منطقه (برگرفته از Klootwijk (۱۹۷۹)، با تغییرات).

(Ch= Chitral, CCA= Central Crystalline Axis of Himalayas, CmF= Chaman-Moqor Fault, HK= Hidu Kush, HPF= Heart-Panjshir geosuture, Kb= Kabul, Kh= Khost, Ko= Kohistan, KL= Kunlun, Ld= Ladakh, PF= Panjao geosuture, SF= Sarobi fault, Sw= Swat, Ta= Transalai, WAF= Wanch-Akbaytal fault)

مجموعه افیولیتی لاکولیت مانند لوگر که با نام سازند اولترامافیکی لوگر نیز خوانده می‌شود، یکی از بزرگ‌ترین انواع خود در جهان با مساحتی در حدود 2000 Km^2 است (Shareq *et al.*, 1980) و از نظر سنگ‌شناسی دارای سکانس تقریباً کاملی از سنگ‌های اولترامافیک تا مافیک و اسیدی همراه با واحدهای رسوبی و دگرگونی است (شکل ۲). سنگ‌های اولترامافیک، اصلی‌ترین متشکله این پهنه افیولیتی هستند.

این اولترامافیک‌ها در مقایسه با اولترامافیک‌های کربنیفر تحتانی - پرمین و کرتاسه تحتانی، توده‌های نسبتاً بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند. اولترامافیک‌های سنوزوییک که در میدان چین خورده سلیمان-کرتار گسترش وسیع دارند، در میدان یاد شده کمپلکس متون را تشکیل می‌دهند (Ezbrushikov *et al.*, 1947) کمپلکس متون با توجه به محل جای‌گیری به سه گروه اولترامافیکی لوگر، التیمور و خوست تفکیک می‌شود.



شکل ۲- شمای زمین‌شناسی و تکتونیکی افیولیت لوگر (موسسی‌زی، ۱۳۷۳ با اندکی تغییر).

بلوک سورپل عموماً از دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت و ورلیت تشکیل شده است. در قسمت‌های فوقانی این بلوک گابروها دیده می‌شوند. تغییر لیتولوژی اولترابازیک‌ها به گابرو از طریق پیروکسنیت‌های پلاژیوکلازدار صورت می‌گیرد (موسسی‌زی، ۱۳۷۳).

بر اساس بررسی‌های پتروگرافی، مشخصات ژئوشیمیایی و موقعیت ساختمانی، توده اولترامافیکی لوگر را به سه بلوک سورپل، شامل قسمت‌های شمالی و مرکزی این توده، بلوک آب‌پران شامل قسمت شرقی و بلوک پل‌علم شامل قسمت‌های جنوبی تقسیم می‌کنند.

قابل دسترسی هستند و نرم افزار Minpet، استفاده شد. خلاصه نویسی‌های به کار برده شده برای نام کانی‌ها در این متن برگرفته از Kretz (۱۹۸۳) است.

پتروگرافی

پریدوتیت‌ها تقریباً در همه جای افیولیت لوگر رخنمون دارند و از لحاظ سنگ شناسی، شامل هارزبورژیت، لرزولیت و دونیت همراه با نهشته‌های کرومیتیتی هستند.

لرزولیت: کانی‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها الیون، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن و کانی فرعی اسپینل کروم دار هستند که تحت شرایط گوشته، بر اثر فرآیندهای تکتونیک، گاهی به صورت شکسته و در برخی موارد خرد شده دیده می‌شوند.

بخش‌های زیادی از الیون‌های موجود در لرزولیت‌های گوشته افیولیت لوگر سرپانتینی شده‌اند؛ با این حال، بخش‌هایی سالم از آنها را هنوز می‌توان در مقطع پیدا نمود. سرپانتینی شدن این کانی‌ها در بعضی قسمت‌های سنگ، بافت مشبک (Mesh texture) را ایجاد نموده است. کانی‌های سرپانتین حاصل، کریستال‌های الیون را به صورت جزایری مجزا در بر گرفته‌اند.

ارتوپروکسن‌های موجود در این سنگ به صورت پورفیروکلاست‌ها نمایان هستند و عموماً تحت تاثیر آلتراسیون به بستیت (Bastite) تبدیل شده‌اند. ارتوپروکسن‌ها دارای خاموشی موجی نیز هستند. بعضی از ارتوپروکسن‌ها دارای تیغه‌های جدایشی (Blebbly exsolution) از کلینوپروکسن هستند. این تیغه‌ها معمولاً به موازات رخ ارتوپروکسن‌ها مشاهده می‌شوند. ارتوپروکسن‌ها در مقطع میکروسکوپی دارای خوردگی‌هایی شبیه به خوردگی خلیجی (Corrosion)

زون‌های میلونیتی شده نیز در این محدوده دیده می‌شوند. هدف از نوشتن این مقاله، بررسی پتروگرافی و کانی‌شناسی پریدوتیت‌های گوشته موجود در افیولیت لوگر است.

روش انجام پژوهش

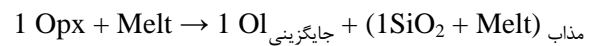
با اینکه نمونه‌برداری سیستماتیک از این واحدها به علت تاثیر فازهای تکتونیک در منطقه و همچنین، دگرسانی پیشرفته موثر بر این سنگ‌ها کاری مشکل بود، اما سعی شد که از انواع واحدهای سنگی متشکله پریدوتیت‌ها نمونه‌های مناسب با کمترین آثار دگرسانی و ارتباط ژنتیکی نزدیک با یکدیگر انتخاب شوند، تا بتوان مقطع کاملی از سکانس گوشته‌ای این افیولیت را به دست آورد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها به صورت مقطع نازک میکروسکوپی و انجام مطالعات پتروگرافی، به منظور تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌ها و محاسبه فرمول ساختمانی آنها، آنالیز نقطه‌ای بر روی الیون، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن و اسپینل‌های کروم دار سنگ‌های مورد مطالعه، در آزمایشگاه الکترون مایکروپروپ دانشگاه اوکلاه‌مای ایالات متحده آمریکا انجام شد. آنالیزهای نقطه‌ای کانی‌ها توسط دستگاه الکترون مایکروپروپ CAMECA SX - 50 با ولتاژ شتاب دهنده 20kV، جریان 20 nA بر روی نقطه‌های ۲ میکرومتری با زمان شمارش حد اکثر ۳۰ ثانیه صورت گرفت. سپس با استفاده از نتایج به دست آمده، اقدام به محاسبه فرمول ساختمانی کانی‌های فوق الذکر شد. برای تعیین مقدار Fe^{+3} از فرمول ارائه شده توسط Droop (۱۹۸۱) استفاده شد. برای محاسبه فرمول ساختمانی کانی‌ها، صفحات گسترده (Spread sheets) ارائه شده توسط Jeremy Preston (۱۹۹۹) که به صورت Online در سایت www.pcu-services.co.uk

کلسیت‌های ثانویه‌ای دیده می‌شوند. الیوین‌های موجود در هارزبورژیت‌ها اغلب سرپانتینی شده‌اند. این کانی‌ها به صورت بی‌شکل و ریزدانه هستند و هیچ نوع زونینگ و دگرشکلی را نمایش نمی‌دهند. به علت شدیدتر بودن فرایند سرپانتینی شدن در هارزبورژیت‌ها نسبت به لرزولیت‌ها، بافت مشبک در این سنگ‌ها به خوبی توسعه یافته است.

فرورفتگی‌هایی شبیه به خوردگی‌های خلیجی که به وسیله الیوین‌های ریز دانه جایگزینی حاصل از ذوب نامتجانس ارتوپروکسن‌ها پر شده‌اند، در این سنگ‌ها نیز دیده می‌شود (شکل ۲-B). ارتوپروکسن‌ها در هارزبورژیت‌ها به صورت پورفیروکلاست بوده، دگرشکلی از خود نشان می‌دهند که نشانه تغییر شکل آنها در دما و فشار بالای گوشته است. در این سنگ‌ها نیز مانند لرزولیت‌ها، ارتوپروکسن‌ها نسبت به دیگر کانی‌های موجود در سنگ بزرگ‌تر هستند و در زمینه سرپانتینی سنگ پورفیروکلاست‌هایی را تشکیل می‌دهند. کلینوپروکسن‌های موجود در هارزبورژیت دارای فراوانی کمتری نسبت به لرزولیت‌ها هستند. اسپینل‌ها به طور کلی، در هارزبورژیت‌ها نیمه‌شکل دار (Subhedral) بوده، دارای حاشیه سیاه رنگ مگنتیتی هستند. اسپینل‌های کروم‌دار در لرزولیت و هارزبورژیت‌ها تنها در فضای بین کانی‌ها و در اغلب موارد در زمینه سرپانتینی سنگ حضور دارند و در الیوین‌ها و پیروکسن‌ها دیده نمی‌شوند (شکل ۲-A). کلسیت ثانویه که بر اثر فرایندهای ثانویه‌ای بر روی پریدوتیت‌ها تشکیل می‌شود، در همه لرزولیت‌ها دیده می‌شود (شکل ۲-F).

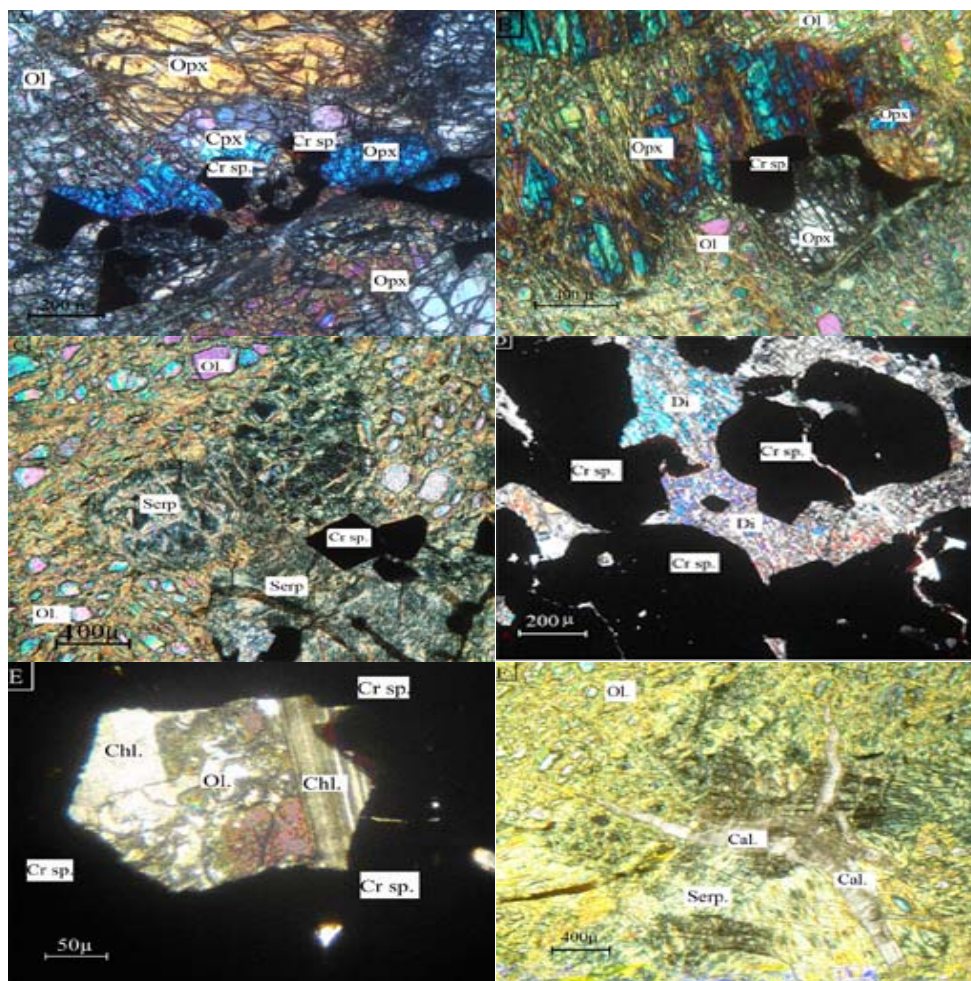
هارزبورژیت: هارزبورژیت‌ها بیشترین حجم از پریدوتیت‌های گوشته مجموعه افیولیتی لوگر را به خود اختصاص داده‌اند. در هارزبورژیت، الیوین، سرپانتین‌های حاصل از الیوین، ارتوپروکسن، بستیت‌های حاصل از ارتوپروکسن، کانی‌های فرعی کلینوپروکسن و اسپینل کروم‌دار که در اغلب موارد مگنتیتی شده‌اند و

(gulf) بوده، که به صورت فرورفتگی‌هایی با انحناهای ملایم در حاشیه کانی مشخص هستند. این فضاها فرورفته توسط دانه‌های الیوین جایگزینی حاصل از ذوب نامتجانس ارتوپروکسن‌ها و در مواردی اسپینل‌های بسیار دانه ریز پر شده‌اند:



به طور کلی، فضای بین‌بلوری در این سنگ‌ها نیز توسط الیوین دانه‌ریز جایگزینی، اسپینل کروم‌دار و سرپانتین پر شده است. کلینوپروکسن‌ها نیز به صورت پورفیروکلاست دیده می‌شوند و نسبت به ارتوپروکسن‌ها مقاوم‌تر بوده و کمتر از آنها تحت تاثیر آلتراسیون قرار گرفته‌اند و از نظر اندازه کوچک‌تر از ارتوپروکسن‌ها هستند. اسپینل به عنوان کانی فرعی در سنگ حضور دارد. اسپینل‌های موجود در این سنگ‌ها دارای رنگ قهوه‌ای روشن بوده، در مواردی حاشیه‌ای سیاه رنگ که ناشی از مگنتیتی شدن این کانی‌هاست، در اطراف آنها و داخل شکستگی‌ها حاصل شده است. این بلورها از لحاظ شکل ظاهری بی‌شکل (Unhedral) و در مواردی ورمیکولار (Vermicular) هستند. اسپینل‌های کروم‌دار در لرزولیت‌ها تنها در فضای بین کانی‌ها و در اغلب موارد در زمینه سرپانتینی سنگ حضور دارند و در الیوین‌ها و پیروکسن‌ها دیده نمی‌شوند (شکل ۲-A). کلسیت ثانویه که بر اثر فرایندهای ثانویه‌ای بر روی پریدوتیت‌ها تشکیل می‌شود، در همه لرزولیت‌ها دیده می‌شود (شکل ۲-F).

هارزبورژیت: هارزبورژیت‌ها بیشترین حجم از پریدوتیت‌های گوشته مجموعه افیولیتی لوگر را به خود اختصاص داده‌اند. در هارزبورژیت، الیوین، سرپانتین‌های حاصل از الیوین، ارتوپروکسن، بستیت‌های حاصل از ارتوپروکسن، کانی‌های فرعی کلینوپروکسن و اسپینل کروم‌دار که در اغلب موارد مگنتیتی شده‌اند و



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی (A) تصویر یک لرزولیت ۴ فازی گوشته را با بافت پورفیروبلاستیک و گرانوبلاستیک نشان می‌دهد. اسپینل به صورت بی‌شکل در اطراف ارتوپیروکسن دیده می‌شود، (B) تصویر یک هارزبورژیت. به شکل‌گیری الیوین‌ها در خوردگی‌های خلیجی شکل ارتوپیروکسن توجه شود، (C) تصویر اسپینل‌های موجود در یک دونیت که شکل‌دارتر از اسپینل‌های هارزبورژیت است و در بین سرپانتین‌ها قرار دارند، (D) تصویر دیپوسید موجود در یک کرومیتیت با رخ‌های بسیار واضح آورده شده است، (E) تصویر ادخال در اسپینل یک کرومیتیت مشاهده می‌شود. در این ادخال الیوین و کلریت با رخ واضح دیده می‌شوند که توسط کروم اسپینل‌ها در برگرفته شده‌اند، (F) رگه‌های کلسیتی ثانویه ای. این رگه‌ها در همه واحدهای سنگی گوشته افیولیت لوگر بجز کرومیتیت‌ها دیده می‌شوند.

دونیت: دونیت‌ها در بخش پریدوتیت‌های گوشته حجم کمی را به خود اختصاص می‌دهند. این سنگ‌ها درجات سرپانتینی شدن بالاتری را نسبت به هارزبورژیت‌ها از خود نشان می‌دهند. بلورهای کلینوپیروکسن، اسپینل‌های کروم‌دار و مگنتیت به صورت کانی‌های فرعی در این سنگ

حضور دارند. بافت اصلی موجود در این سنگ‌ها پورفیروکلاستیک است ولی به علت شدت سرپانتینی شدن و حضور سرپانتین بافت مشبک را نیز نشان می‌دهند. اسپینل‌های کروم‌دار موجود در دونیت‌ها نسبت به هارزبورژیت‌ها شکل‌دارتر و تیره‌تر می‌شوند (شکل ۲- C).

افزایش می‌یابد. ترکیب متوسط الیوین‌های موجود در لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت به ترتیب $FO_{90.9}$ ، $FO_{91.8}$ و $FO_{91.7}$ است. ترکیب متوسط الیوین‌های موجود در کرومیتیت‌ها، $FO_{93.5}$ و الیوین احاطه شده توسط کروم اسپینل در کرومیتیت $FO_{95.3}$ محاسبه شده است. در تقسیم بندی، این کانی‌ها در قسمت فورستریت (Forsterite)، قرار می‌گیرند (شکل ۳).

مقدار فورستریت الیوین‌های موجود در دونیت‌ها برابر با مقدار فورستریت لرزولیت‌ها و کمی بیشتر از هارزبورژیت‌هاست. تغییر مقدار فورستریت از لرزولیت به سمت هارزبورژیت و دونیت روند منظمی را نشان نمی‌دهد. الیوین‌های موجود در کرومیتیت‌ها مقدار فورستریت بیشتر از سایر واحدها دارند. در بین الیوین‌های کرومیتیت‌ها آنهایی که کاملاً توسط کروم اسپینل احاطه شده‌اند، به علت واکنش بین الیوین و کروم اسپینل در دمای ساب سولیدوس مقدار فورستریت بیشتر از سایر الیوین‌ها دارند.

مقدار NiO در الیوین‌های پریدوتیت گوشته و کرومیتیت‌های لوگر بین ۰/۳۷ تا ۰/۶۲ درصد وزنی در تغییر است؛ به طوری که الیوین‌های کرومیتیت‌ها دارای بیشترین مقدار NiO و الیوین‌های دونیت‌ها کمترین مقدار NiO را دارا هستند. مقدار میانگین NiO در لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت‌ها به ترتیب، ۰/۴۰۵، ۰/۴۱۲ و ۰/۳۹۸ درصد وزنی است. مقدار درصد وزنی NiO در الیوین‌های موجود در کرومیتیت‌ها افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد؛ به طوری که مقدار میانگین این اکسید در الیوین احاطه شده توسط کروم اسپینل (Chromitite1) و الیوین آزاد در کرومیتیت (Chromitite2) به ترتیب، ۰/۵۹۲ و ۰/۵۲۲ درصد وزنی است. مقدار FeO الیوین‌ها در محدوده‌ای بین ۹/۱۳ - ۴/۶۵ درصد وزنی در تغییر هستند. بیشترین مقدار

کرومیتیت: کرومیتیت‌ها در ملانژ افیولیتی لوگر، به طور ویژه با دونیت‌ها و هارزبورژیت‌ها همراه هستند. این نهشته‌ها از نوع انبانی و غنی از کروم هستند. کانی‌های عمده در این سنگ‌ها کروم اسپینل، الیوین و گاهی دیوپسید هستند. در مقطع نازک بافت گرانولار مشاهده می‌شود. در کرومیتیت‌ها گاهی اداخل‌هایی از الیوین در کروم اسپینل‌ها دیده می‌شوند، همچنین، دانه‌های کروم اسپینل احاطه شده توسط الیوین نیز دیده می‌شود. کانی‌های الیوین و کروم اسپینل کرومیتیت‌ها بسیار سالم‌تر از الیوین و کروم اسپینل موجود در لرزولیت‌ها و هارزبورژیت‌های گوشته هستند. کروم اسپینل‌های کرومیتیت‌ها درشت و شکل‌دار هستند. شکستگی‌های مکانیکی در این کروم اسپینل‌ها گاهی دیده می‌شوند. در این شکستگی‌ها و همچنین، در اطراف آنها پدیده مگنتیتی شدن را می‌توان مشاهده نمود.

کروم اسپینل‌های کرومیتیت‌ها گاهی بافت پویی کلیتیک نیز نشان می‌دهند. الیوین، سرپانتین، پیروکسن و کلریت به صورت اداخل در این کروم اسپینل‌ها دیده می‌شوند. دیوپسید با رخ‌های کاملاً واضح نیز گاهی در بین اسپینل‌ها دیده می‌شود (شکل ۲-D). کلریت‌ها بعضی جاها به صورت اداخل در بین کروم اسپینل‌ها و در بعضی جاها درگیر با دیوپسیدها و گاهی کنار الیوین‌ها، توسط اسپینل‌ها احاطه شده‌اند. این کلریت‌ها گاهی دارای ماکل‌های شبیه به ماکل پلی سنتتیک پلاژیوکلازها هستند (شکل ۲-E).

شیمی کانی‌ها

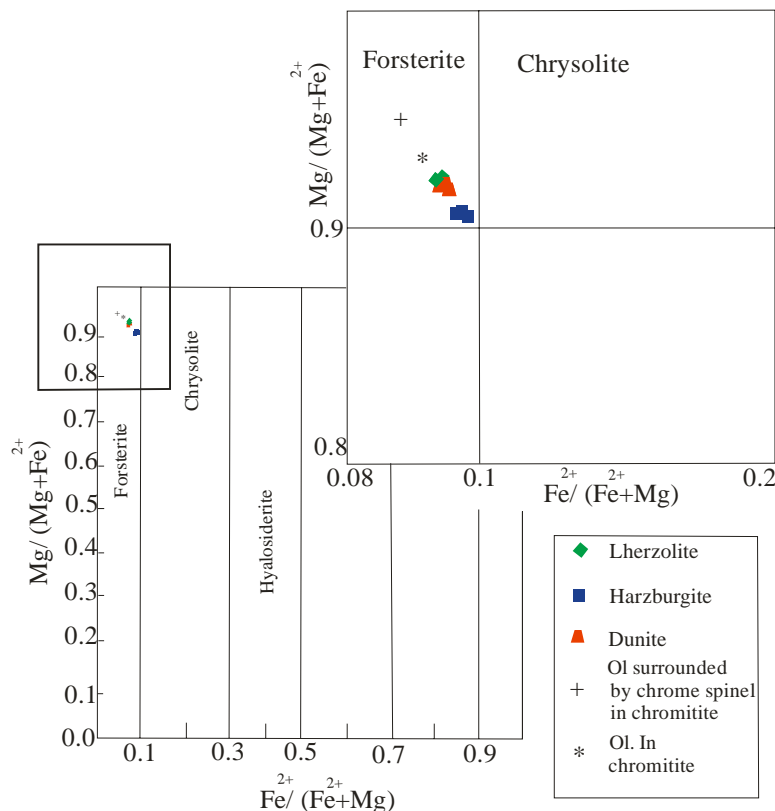
الیوین‌ها: الیوین‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر اغلب سرپانتینی شده‌اند؛ میزان سرپانتینی شدن این کانی‌ها از لرزولیت به سمت دونیت

بیشتر از دیگر الیوین‌های موجود در کرومیتیت است. الیوین‌های موجود در دونیت شباهت‌های نزدیکی با الیوین‌های موجود در لرزولیت نشان می‌دهند و اگر $Mg\#$ الیوین‌ها در برابر $Fe\#$ آنها رسم شود مشخص است که $Mg\#$ و $Fe\#$ دونیت و لرزولیت تقریباً در یک حد است (شکل ۳).

میانگین نتایج آنالیز الیوین‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر، فرمول ساختاری، میزان $Mg\# = Mg/(Mg+Fe^{2+})$ و درصد اعضای پایانی این کانی‌ها در جدول ۱ آورده شده است. فرمول شیمیایی الیوین‌های گوشته افیولیت لوگر در جدول ۲ آورده شده است.

FeO الیوین‌ها به هارزبورژیت و کمترین مقدار به الیوین کرومیتیت مربوط است. مقدار FeO الیوین کرومیتیت‌ها بین $4/65$ تا $6/36$ درصد وزنی متغیر است به گونه‌ای که کمترین مقدار FeO مربوط به الیوین‌های کاملاً محاط شده توسط اسپینل‌هاست. مقدار میانگین MnO الیوین‌های موجود در لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت‌ها به ترتیب $0/11$ ، $0/12$ و $0/11$ درصد وزنی است. مقدار درصد وزنی MnO الیوین‌های موجود در کرومیتیت، $0/09$ و در الیوین‌های کاملاً احاطه شده توسط کروم اسپینل $0/07$ است.

همان طور که اشاره شد، میزان $Mg\#$ و NiO در الیوین‌های کرومیتیت‌ها بیشترین مقدار را داشته، در الیوین‌های احاطه شده توسط کروم اسپینل‌ها بسیار



شکل ۳- موقعیت ترکیبی الیوین‌های پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر

جدول ۱- میانگین ترکیب الیون‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر، بر اساس درصد وزنی و فرمول ساختمانی بر اساس ۴ اکسیژن، به همراه محاسبه ی اعضای پایانی آنها (Fo = Forsterite).

Rock type*	Lz	Lz	Hx	Hx	Hx	Du	Du	Du	Chromitite1	Chromitite2
Sample No.	09-O1 ₁	09-O1 ₂	05-O1 ₁	05-O1 ₂	05-O1 ₃	11-O1	11-O1	11-O1	02-O1 ₁	02-O1 ₂
SiO ₂	40.09	40.07	41.07	40.51	40.05	40.24	40.59	40.41	41.23	41.05
TiO ₂	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00
FeO*	8.31	8.09	9.04	9.00	8.95	8.20	8.17	8.15	4.68	6.21
MnO	0.13	0.10	0.13	0.12	0.12	0.10	0.12	0.12	0.07	0.08
MgO	51.71	52.23	51.31	50.90	51.31	51.01	51.05	52.01	54.25	52.69
CaO	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
NiO	0.39	0.41	0.41	0.42	0.40	0.38	0.39	0.41	0.59	0.51
Total	100.67	100.97	102.05	100.99	100.89	100.0	100.3	101.1	100.92	100.57
Si	0.974	0.970	0.986	0.983	0.973	0.982	0.986	0.976	0.983	0.987
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.169	0.164	0.181	0.183	0.182	0.167	0.166	0.165	0.093	0.125
Mn	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
Mg	1.872	1.885	1.836	1.840	1.859	1.856	1.849	1.872	1.927	1.889
Ca	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008	0.011	0.01
Total	3.027	3.030	3.016	3.017	3.025	3.016	3.012	3.024	3.017	3.014
Mg#	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.95	0.94
Forsterite	91.59	91.91	90.89	90.86	90.99	91.65	91.67	91.81	95.34	93.70
Fayalite	8.27	8.00	8.96	9.04	8.91	8.25	8.23	8.09	4.60	6.20
Tephroite	0.15	0.10	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.10
Olivine Name	Fo	Fo	Fo	Fo	Fo	Fo	Fo	Fo	Fo	Fo

*Lz = Lherzolite; Hx = Harzburgite; Du = Dunite

جدول ۲- نام و فرمول شیمیایی الیون‌ها به‌طور میانگین (بر اساس ۴ اتم اکسیژن).

Rock type	Sample No.	Olivine Name	Chemical Formula
Lherzolite	09-O1 ₁	Forsterite	(Mg _{1.872} Fe _{0.169} ²⁺ Ni _{0.008} Mn _{0.003} Ca _{0.001}) (Si _{0.974})
Lherzolite	09-O1 ₂	Forsterite	(Mg _{1.885} Fe _{0.164} ²⁺ Ni _{0.008} Mn _{0.002} Ca _{0.001}) (Si _{0.970})
Harzburgite	05-O1 ₁	Forsterite	(Mg _{1.836} Fe _{0.181} ²⁺ Ni _{0.008} Mn _{0.003} Ca _{0.001}) (Si _{0.986})
Harzburgite	05-O1 ₂	Forsterite	(Mg _{1.840} Fe _{0.183} ²⁺ Ni _{0.008} Mn _{0.002} Ca _{0.001}) (Si _{0.983})
Harzburgite	05-O1 ₃	Forsterite	(Mg _{1.859} Fe _{0.182} ²⁺ Ni _{0.008} Mn _{0.002} Ca _{0.001}) (Si _{0.973})
Dunite	11-O1 ₁	Forsterite	(Mg _{1.856} Fe _{0.167} ²⁺ Ni _{0.007} Mn _{0.002} Ca _{0.001}) (Si _{0.982})
Dunite	11-O1 ₂	Forsterite	(Mg _{1.849} Fe _{0.166} ²⁺ Ni _{0.008} Mn _{0.002} Ca _{0.001}) (Si _{0.986})
Dunite	11-O1 ₃	Forsterite	(Mg _{1.872} Fe _{0.165} ²⁺ Ni _{0.008} Mn _{0.002} Ca _{0.001}) (Si _{0.976})
Chromitite (enclosed.Ol.)	02-O1 ₁	Forsterite	(Mg _{1.927} Fe _{0.093} ²⁺ Ni _{0.011} Mn _{0.001} Ca _{0.001}) (Si _{0.983})
Chromitite (Vein Ol.)	02-O1 ₂	Forsterite	(Mg _{1.889} Fe _{0.125} ²⁺ Ni _{0.01} Mn _{0.002} Ca _{0.001}) (Si _{0.987})

ساختمانی این کانی‌ها و نتایج محاسبه در صد اعضای پایانی، به‌همراه $Cr/(Cr+Al)$ و $Mg\#$ این ارتوپیروکسن‌ها در جدول ۳ و فرمول شیمیایی این کانی‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

ارتوپیروکسن‌ها: فرمول ساختمانی ارتوپیروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر بر پایه ۶ اتم اکسیژن و مقاله Morimoto (۱۹۸۹) محاسبه شده است. میانگین نتایج و فرمول

جدول ۳- میانگین نتایج ترکیب ارتوپایروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر و محاسبه درصد اعضای پایانی آنها بر اساس درصد وزنی و فرمول ساختمانی (En = Enstatite).

Rock type*	Lz	Lz	Lz	Lz	Lz	Hz	Hz	Hz	Du	Du	Du
Sample No.	09-Opx1	09-Opx2	09-Opx3	09-Opx4	09-Opx5	05-Opx1	05-Opx2	05-Opx3	11-Opx1	11-Opx2	11-Opx3
SiO ₂	56.12	55.91	55.62	55.86	55.96	56.15	56.95	56.09	56.02	55.59	55.5
TiO ₂	0.00	0.02	0.00	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.08	0.06	0.06
Al ₂ O ₃	1.76	1.97	1.89	1.99	1.79	1.27	1.39	1.4	2.18	2.28	2.41
Cr ₂ O ₃	0.55	0.66	0.52	0.71	0.61	0.44	0.51	0.53	0.61	0.6	0.74
FeO*	5.52	5.34	5.54	5.36	5.38	5.93	5.94	5.85	5.16	5.31	5.38
MnO	0.13	0.13	0.13	0.14	0.12	0.16	0.11	0.16	0.12	0.11	0.11
MgO	35.8	35.06	35.32	35.49	35.4	35.35	35.44	34.92	34.18	35.06	35.03
CaO	0.86	1.27	0.96	0.86	1.22	0.66	0.94	1.22	1.87	1.19	1.05
Na ₂ O	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
NiO	0.08	0.08	0.08	0.11	0.11	0.09	0.06	0.11	0.1	0.11	0.12
Total	100.82	100.45	100.07	100.55	100.64	100.1	101.37	100.29	100.32	100.32	100.41
Si	1.907	1.91	1.905	1.905	1.907	1.926	1.931	1.923	1.922	1.901	1.897
Ti	0.00	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.00	0.002	0.002	0.002
Al	0.070	0.079	0.076	0.080	0.072	0.051	0.056	0.057	0.088	0.092	0.097
Cr	0.015	0.018	0.014	0.019	0.016	0.012	0.014	0.014	0.017	0.016	0.020
Fe ³⁺	0.100	0.081	0.099	0.089	0.098	0.085	0.067	0.083	0.047	0.087	0.086
Fe ²⁺	0.056	0.072	0.06	0.063	0.055	0.085	0.101	0.085	0.101	0.065	0.068
Mn	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.003	0.003
Mg	1.813	1.786	1.804	1.804	1.798	1.807	1.792	1.875	1.749	1.787	1.787
Ca	0.031	0.046	0.035	0.031	0.045	0.024	0.034	0.045	0.069	0.044	0.038
Na	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
Total	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Mg#	0.970	0.961	0.968	0.966	0.970	0.955	0.947	0.955	0.945	0.965	0.963
Cr#	0.176	0.186	0.156	0.192	0.182	0.190	0.200	0.197	0.162	0.143	0.171
Wollastonite	1.561	2.338	1.76	1.577	2.228	1.209	1.71	2.239	3.492	2.195	1.942
Enstatite	90.43	89.8	90.121	90.548	89.932	90.082	89.698	89.151	88.81	89.998	90.132
Ferrosilite	8.009	7.862	8.118	7.875	7.841	8.709	8.592	8.61	7.698	7.807	7.926
Opx Name	En	En	En	En	En	En	En	En	En	En	En

*Lz = Lherzolite; Hz = Harzburgite; Du = Dunite; Chr = Chromitite

جدول ۴- نام و فرمول شیمیایی ارتوپایروکسن‌های آورده شده در جدول ۳

Rock type	Sample No.	Opx Name	Chemical Formula
Lherzolite	09-Opx1	Enstatite	(Mg _{0.908} Fe ⁺² _{0.056} Mn _{0.004} Ca _{0.031})(Mg _{0.905} Fe ⁺³ _{0.078} Cr _{0.015} Ni _{0.002})(Si _{1.907} Al _{0.07} Fe ⁺³ _{0.022})O ₆
Lherzolite	09-Opx2	Enstatite	(Mg _{0.877} Fe ⁺² _{0.072} Mn _{0.004} Ca _{0.046} Na _{0.001})(Mg _{0.909} Fe ⁺³ _{0.07} Cr _{0.018} Ni _{0.002} Ti _{0.001})(Si _{1.91} Al _{0.079} Fe ⁺³ _{0.011})O ₆
Lherzolite	09-Opx3	Enstatite	(Mg _{0.901} Fe ⁺² _{0.06} Mn _{0.004} Ca _{0.035})(Mg _{0.903} Fe ⁺³ _{0.081} Cr _{0.014} Ni _{0.002})(Si _{1.905} Al _{0.076} Fe ⁺³ _{0.018})O ₆
Lherzolite	09-Opx4	Enstatite	(Mg _{0.91} Fe ⁺² _{0.063} Mn _{0.004} Ca _{0.031})(Mg _{0.903} Fe ⁺³ _{0.074} Cr _{0.019} Ni _{0.003} Ti _{0.001})(Si _{1.905} Al _{0.08} Fe ⁺³ _{0.015})O ₆
Lherzolite	09-Opx5	Enstatite	(Mg _{0.895} Fe ⁺² _{0.055} Mn _{0.003} Ca _{0.045} Na _{0.001})(Mg _{0.903} Fe ⁺³ _{0.077} Cr _{0.016} Ni _{0.003} Ti _{0.001})(Si _{1.907} Al _{0.072} Fe ⁺³ _{0.021})O ₆
Harzburgite	05-Opx1	Enstatite	(Mg _{0.884} Fe ⁺² _{0.085} Mn _{0.005} Ca _{0.024} Na _{0.001})(Mg _{0.923} Fe ⁺³ _{0.062} Cr _{0.012} Ni _{0.002} Ti _{0.001})(Si _{1.926} Al _{0.051} Fe ⁺³ _{0.023})O ₆
Harzburgite	05-Opx2	Enstatite	(Mg _{0.862} Fe ⁺² _{0.101} Mn _{0.003} Ca _{0.034})(Mg _{0.93} Fe ⁺³ _{0.054} Cr _{0.014} Ni _{0.002} Ti _{0.001})(Si _{1.931} Al _{0.056} Fe ⁺³ _{0.013})O ₆
Harzburgite	05-Opx3	Enstatite	(Mg _{0.865} Fe ⁺² _{0.085} Mn _{0.005} Ca _{0.045})(Mg _{0.92} Fe ⁺³ _{0.063} Cr _{0.014} Ni _{0.003})(Si _{1.923} Al _{0.057} Fe ⁺³ _{0.02})O ₆
Dunite	11-Opx1	Enstatite	(Mg _{0.827} Fe ⁺² _{0.101} Mn _{0.003} Ca _{0.069})(Mg _{0.922} Fe ⁺³ _{0.047} Cr _{0.017} Ni _{0.003} Ti _{0.002})(Si _{1.922} Al _{0.078})O ₆
Dunite	11-Opx2	Enstatite	(Mg _{0.888} Fe ⁺² _{0.065} Mn _{0.003} Ca _{0.044})(Mg _{0.899} Fe ⁺³ _{0.08} Cr _{0.016} Ni _{0.003} Ti _{0.002})(Si _{1.901} Al _{0.092} Fe ⁺³ _{0.007})O ₆
Dunite	11-Opx3	Enstatite	(Mg _{0.89} Fe ⁺² _{0.068} Mn _{0.003} Ca _{0.038} Na _{0.001})(Mg _{0.895} Fe ⁺³ _{0.08} Cr _{0.02} Ni _{0.003} Ti _{0.002})(Si _{1.897} Al _{0.097} Fe ⁺³ _{0.006})O ₆

بستیت (Bastite) شده‌اند. مقدار میانگین TiO₂ و Cr# در کانی Opx موجود در لرزولیت‌ها به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۱۷۹، در هارزبورژیت‌ها ۰/۱۵ و ۰/۱۹۴ و در دونیت‌ها این مقادیر ۰/۰۵۹ و ۰/۱۶۱ است. همان گونه که مشاهده می‌شود، ارتوپایروکسن‌ها کمترین مقدار

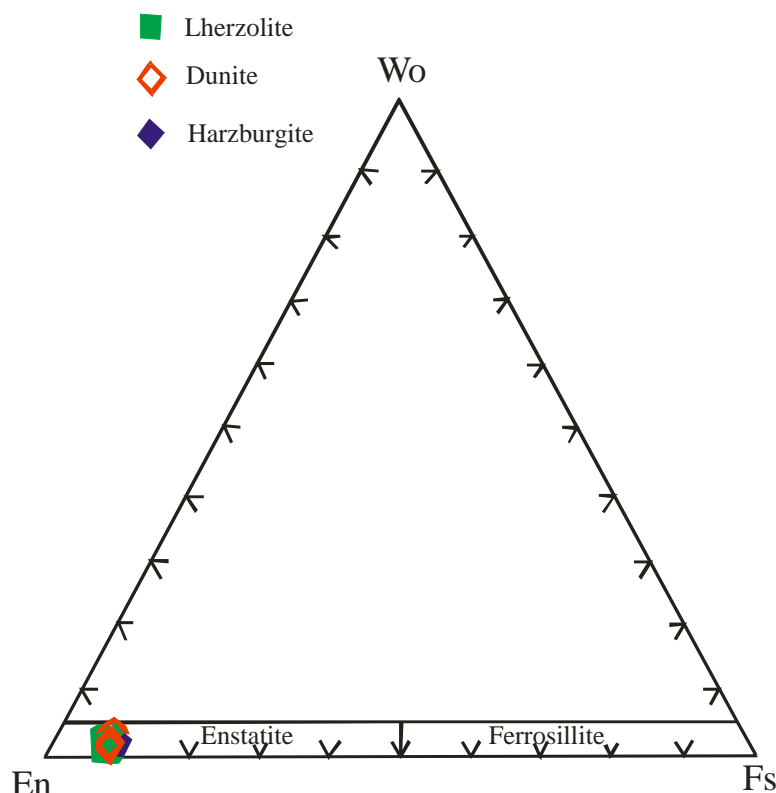
ارتوپایروکسن‌های موجود در لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت‌های گوشته افیولیت ملانژ لوگر از نوع انستاتیت بوده، به‌طور میانگین، به‌ترتیب دارای Mg# برابر با ۰/۹۶۷، ۰/۹۵۰ و ۰/۹۵۴ هستند. این کانی‌ها به‌طور کامل یا به‌صورت بخشی تبدیل به نوعی سرپانتین به نام

و ۰/۶۲ درصد وزنی است. مقدار میانگین FeO در ارتوپیروکسن‌های موجود در لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت‌ها به ترتیب، ۵/۴۵، ۵/۹۰ و ۵/۳۷ درصد وزنی است. مقدار FeO ارتوپیروکسن‌ها همانند مقدار Cr# ارتوپیروکسن‌ها از لرزولیت به سمت هارزبورژیت افزایش می‌یابد، ولی در دونیت این مقدار یک کاهش ناگهانی نشان می‌دهد و به کمترین حد خود می‌رسد.

بیشترین مقدار Al_2O_3 ، TiO_2 و Cr_2O_3 و کمترین مقدار FeO و Cr# مربوط به ارتوپیروکسن‌های موجود در دونیت‌ها هستند. در شکل ۴ ترکیب ارتوپیروکسن‌ها در دیاگرام مثلثی ارتوپیروکسن‌ها نمایش داده شده است. همه ارتوپیروکسن‌ها در محدوده انستاتیت واقع می‌شوند.

TiO_2 را در لرزولیت‌ها داشته و در هارزبورژیت‌ها این مقدار کمی افزایش یافته است و در دونیت‌ها بیشترین مقدار TiO_2 دیده می‌شود. میزان Cr# ارتوپیروکسن‌ها نیز از لرزولیت به سمت هارزبورژیت یک روند افزایشی نشان می‌دهد، ولی در دونیت باز کاهش یافته است. میزان Al_2O_3 در لرزولیت‌ها به‌طور میانگین ۱/۸۷ است. این مقدار در ارتوپیروکسن‌های هارزبورژیت‌ها کاهش می‌یابد و میانگین مقدار آن ۱/۳۹ می‌شود، در ارتوپیروکسن‌های تشکیل شده در دونیت‌ها میزان Al_2O_3 به حداکثر مقدار خود می‌رسد که به‌صورت میانگین ۲/۲۲ است.

مقدار میانگین Cr_2O_3 موجود در ارتوپیروکسن‌های لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت‌ها به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۵۰



شکل ۴- موقعیت ترکیبی ارتوپیروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر در دیاگرام مثلثی تقسیم‌بندی ارتوپیروکسن‌ها

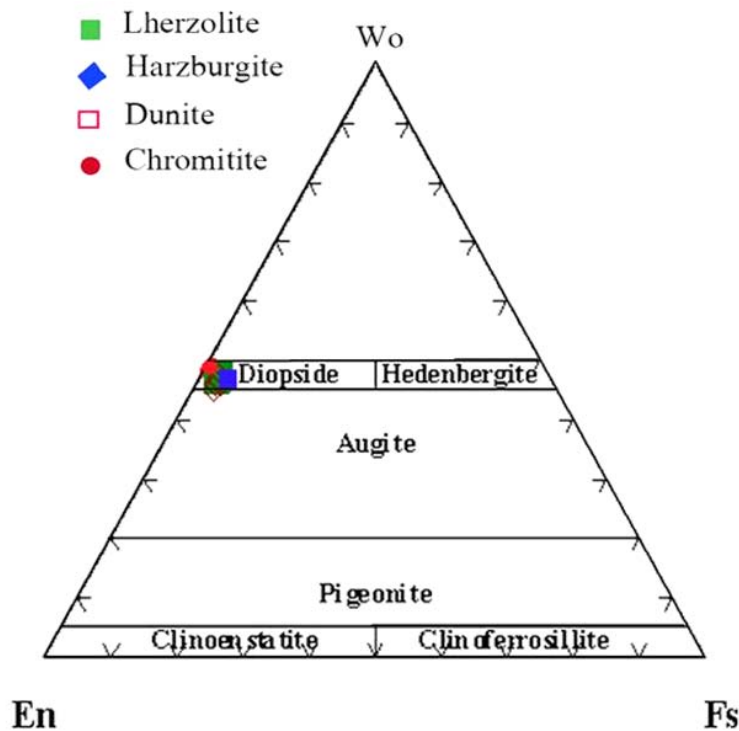
جدول ۵- ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر بر اساس درصد وزنی، به همراه فرمول ساختمانی، Cr#، Mg# و درصد اعضای پایانی (Di = Diopside).

Rock type*	Lz	Lz	Lz	Lz	Lz	Hz	Hz	Hz	Du Du	Du	Chr	Chr	
Sample No.	09-Cpx1-1	09-Cpx1-2	09-Cpx1-3	09-Cpx2-1	09-Cpx2-2	05-Cpx1-1	05-Cpx1-2	05-Cpx1-3	11-Cpx1-1	11-Cpx1-2	11-Cpx1-3	02-Cpx1-1	02-Cpx1-2
SiO ₂	53.52	53.02	53.39	53.84	53.19	53.39	53.23	53.04	53.13	52.62	53.65	55.04	54.31
TiO ₂	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.03	0.15	0.13	0.1	0.08	0.06
Al ₂ O ₃	1.59	1.58	1.57	1.46	1.58	1.55	1.61	1.68	2.21	2.23	2.32	0.43	0.41
Cr ₂ O ₃	0.63	0.65	0.6	0.59	0.58	0.77	0.79	0.89	0.88	0.86	0.94	0.14	0.18
FeO*	1.84	1.87	1.75	1.75	1.72	2	1.99	1.97	1.82	1.73	1.95	0.68	0.83
MnO	0.05	0.04	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.01	0.01
MgO	18.19	18.39	18.3	18.44	18.28	18.55	18.08	18.18	18.09	18.23	18.78	18.73	18.61
CaO	24.05	23.46	23.71	23.63	23.46	23.57	23.46	23.6	23.65	23.1	22.82	25.39	24.82
Na ₂ O	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.11	0.14	0.11	0.11	0.12	0.03	0.04
K ₂ O	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.06	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.01	0.06	0.05	0.08	0.06	0.03	0.05
Total	100.04	99.14	99.51	99.92	98.99	100.06	99.39	99.66	100.14	99.15	100.81	100.56	99.32
Si	1.936	1.933	1.939	1.948	1.942	1.929	1.939	1.926	1.92	1.918	1.923	1.974	1.972
Ti	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
Al	0.068	0.067	0.068	0.062	0.068	0.066	0.069	0.072	0.094	0.096	0.098	0.018	0.018
Cr	0.018	0.019	0.017	0.017	0.017	0.022	0.023	0.026	0.025	0.025	0.027	0.004	0.005
Fe ⁺³	0.047	0.054	0.042	0.03	0.037	0.059	0.036	0.058	0.039	0.043	0.033	0.000	0.000
Fe ⁺²	0.008	0.003	0.011	0.023	0.015	0.001	0.024	0.001	0.016	0.009	0.026	0.02	0.025
Mn	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000
Mg	0.981	1.000	0.991	0.995	0.995	0.999	0.982	0.984	0.975	0.991	1.004	1.002	1.008
Ca	0.932	0.916	0.923	0.916	0.918	0.913	0.916	0.918	0.916	0.902	0.876	0.976	0.966
Na	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.008	0.01	0.008	0.008	0.008	0.002	0.003
Ni	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001
Total	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mg#	0.992	0.997	0.989	0.977	0.985	0.999	0.976	0.999	0.984	0.991	0.975	0.980	0.976
Cr#	0.209	0.221	0.200	0.215	0.200	0.250	0.250	0.265	0.210	0.207	0.216	0.182	0.217
Wollastonite	47.31	46.42	46.871	46.607	46.654	46.211	46.702	46.743	47.036	46.327	45.163	48.837	48.317
Enstatite	49.787	50.63	50.335	50.605	50.581	50.604	50.079	50.101	50.06	50.87	51.715	50.127	50.407
Ferrosilite	2.903	2.951	2.794	2.788	2.764	3.185	3.218	3.155	2.904	2.803	3.122	1.036	1.277
Jadeite	0.041	0.005	0.079	0.162	0.12	0.00	0.144	0.00	0.216	0.198	0.334	0.000	0.000
Aegirin	0.539	0.581	0.503	0.486	0.468	0.654	0.657	1.024	0.586	0.612	0.533	0.002	0.003
Cpx Name	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di

*Lz = Lherzolite; Hz = Harzburgite; Du = Dunite; Chr = Chromitite

Mg# کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های هارزبورژیت (۰/۹۹۱) کمتر و از دونیت (۰/۹۸۳) بیشتر است. میانگین Mg# کلینوپیروکسن‌های تشکیل شده در کرومیتیت ۰/۹۷۸ است. مقاوم بودن کلینوپیروکسن در سنگ‌های پریدوتیتی گوشته لوگر باعث شده که این کانی‌ها نسبت به دیگر کانی‌های موجود در سنگ (الیون، ارتوپیروکسن و اسپینل) کمتر تحت تاثیر دگرسانی قرار گیرند. در شکل ۵ ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر در دیگرام مثلی کلینوپیروکسن‌ها نمایش داده شده است.

کلینوپیروکسن‌ها: فرمول ساختمانی کلینوپیروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر بر پایه ۶ اتم اکسیژن و مقاله Morimoto (۱۹۸۹) محاسبه شده است. ترکیب و فرمول ساختمانی کلینوپیروکسن‌ها به همراه محاسبه در صد اعضای پایانی در جدول ۵ آورده شده است. کلینوپیروکسن‌های موجود در لرزولیت، هارزبورژیت، دونیت و کرومیتیت‌های افیولیت ملانژ لوگر از نوع دیوپسید هستند (شکل ۵). میانگین میزان Mg# کلینوپیروکسن‌های لرزولیت ۰/۹۸۸ است که نسبت به



شکل ۵- ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر

دیده می‌شود (۰/۵۸-۰/۶۵ درصد وزنی). این مقدار در هارزبورژیت‌ها کمی افزوده می‌شود (۰/۷۷-۰/۸۹ درصد وزنی) و در کلینوپیروکسن‌های موجود در دونیت‌ها حداکثر مقدار Cr_2O_3 دیده می‌شود (۰/۸۶-۰/۹۴ درصد وزنی) (شکل ۶B).

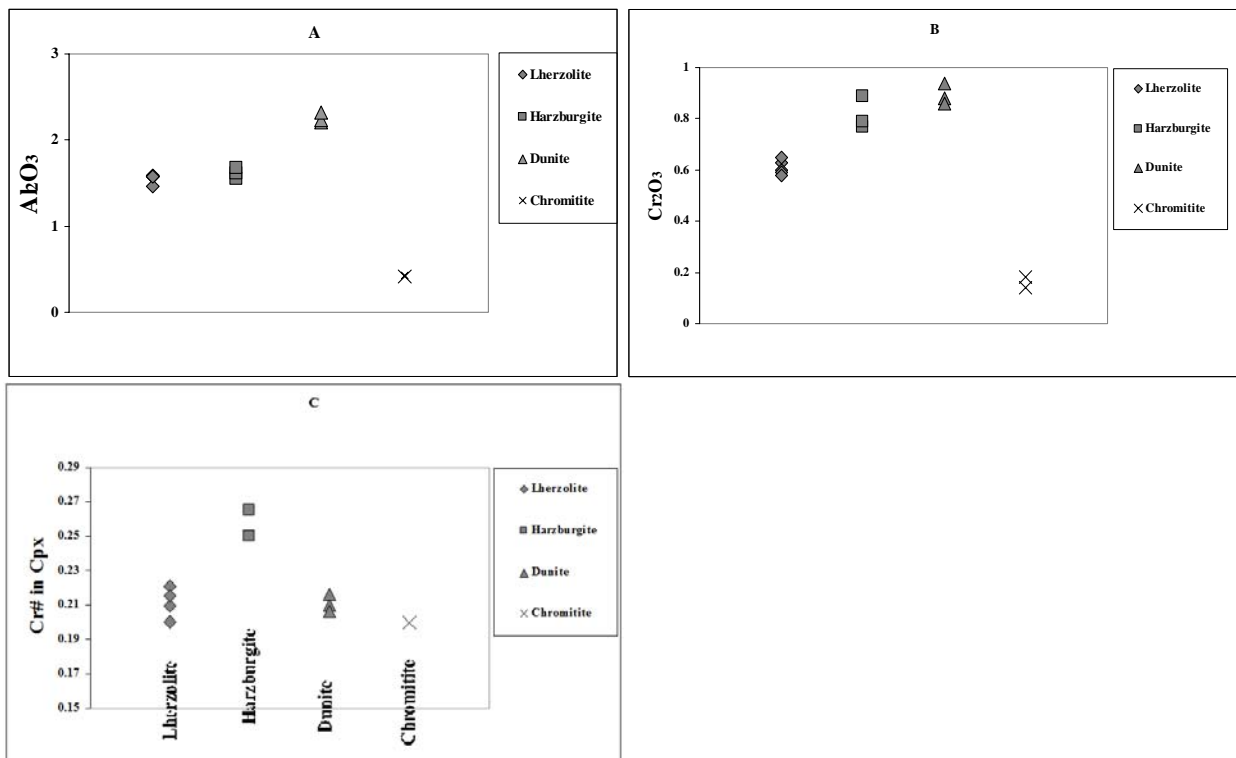
مقدار Al_2O_3 و Cr_2O_3 کلینوپیروکسن‌های واحدهای سنگی مختلف پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر روندی افزایشی از لرزولیت به سمت هارزبورژیت و دونیت نشان می‌دهد. میزان Al_2O_3 و Cr_2O_3 در کلینوپیروکسن‌های کرومیتیت‌ها نسبت به سایر واحدهای سنگی پریدوتیت‌های گوشته این منطقه بسیار کمتر بوده، به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۴۲ درصد وزنی هستند. $Cr\#$ کلینوپیروکسن‌های واحدهای سنگی مختلف پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر نیز همانند

مقدار Al_2O_3 کلینوپیروکسن‌های واحدهای مختلف سنگی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر از ۱/۴۶ درصد وزنی در لرزولیت‌ها تا ۲/۳۲ درصد وزنی در دونیت‌ها متغیر است. کمترین مقدار Al_2O_3 مربوط به کلینوپیروکسن‌های لرزولیت‌هاست (۱/۴۶-۱/۵۹ درصد وزنی)، میزان Al_2O_3 در کلینوپیروکسن‌های هارزبورژیت‌ها کمی افزایش می‌یابد (۱/۵۵-۱/۶۸ درصد وزنی) و در کلینوپیروکسن‌های موجود در دونیت‌ها بیشترین مقدار Al_2O_3 دیده می‌شود (۲/۲۱-۲/۳۲ درصد وزنی) (شکل ۶-A).

مقدار Cr_2O_3 این کلینوپیروکسن‌ها تغییری بین ۰/۵۸-۰/۹۴ درصد وزنی را نشان می‌دهد. روند تغییرات Cr_2O_3 کلینوپیروکسن‌ها نیز شبیه به تغییرات Al_2O_3 است؛ به طوری که کمترین مقدار Cr_2O_3 در کلینوپیروکسن‌های لرزولیت‌ها

در دونیت و کرومیتیت به ترتیب ۰/۲۱۱ و ۰/۲۰۰ است. در نمودارهای شکل ۶ روند تغییرات Cr_2O_3 ، Al_2O_3 و $Cr\#$ در واحدهای مختلف سنگی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر به نمایش در آمده است. نام و میانگین فرمول ساختاری کلینوپیروکسن در واحدهای سنگی مختلف پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر در جدول ۶ آورده شده است.

مقدار Al_2O_3 و Cr_2O_3 روندی افزایشی از لرزولیت به سمت هارزبورژیت نشان می‌دهد. $Cr\#$ کلینوپیروکسن‌های موجود در دونیت به علت مقدار بالای محتوی Al_2O_3 پیروکسن‌های موجود در دونیت یک کاهش نسبت به هارزبورژیت نشان می‌دهند (شکل ۶-C). به طور میانگین $Cr\#$ کلینوپیروکسن‌های موجود در لرزولیت و هارزبورژیت به ترتیب ۰/۲۰۹ و ۰/۲۵۵ و



شکل ۶- تغییرات Al_2O_3 (A؛ Cr_2O_3 (B و $Cr\#$ (C در کلینوپیروکسن‌های واحدهای مختلف سنگی افیولیت‌های گوشته لوگر از لرزولیت به سمت هارزبورژیت، دونیت و کرومیتیت نشان داده شده است.

جدول ۶- نام و فرمول شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها به طور میانگین (بر اساس ۶ اتم اکسیژن)

Rock Type	Cpx Name	Chemical formula
Lherzolite	Diopside	$(Mg_{0.060}Fe^{+2}_{0.014}Mn_{0.002}Ca_{0.921}Na_{0.006})(Mg_{0.933}Fe^{+3}_{0.042}Cr_{0.018}Al_{0.006}Ni_{0.001})(Si_{1.940}Al_{0.060})O_6$
Harzburgite	Diopside	$(Mg_{0.065}Fe^{+2}_{0.009}Mn_{0.002}Ca_{0.916}Na_{0.008})(Mg_{0.923}Fe^{+3}_{0.049}Cr_{0.024}Al_{0.003}Ni_{0.001}Ti_{0.001})(Si_{1.931}Al_{0.066}Fe^{+3}_{0.003})O_6$
Dunite	Diopside	$(Mg_{0.075}Fe^{+2}_{0.017}Mn_{0.002}Ca_{0.900}Na_{0.008})(Mg_{0.915}Fe^{+3}_{0.038}Cr_{0.026}Al_{0.016}Ni_{0.002}Ti_{0.004})(Si_{1.920}Al_{0.080})O_6$
Chromitite	Diopside	$(Mg_{0.012}Fe^{+2}_{0.022}Ca_{0.971}Na_{0.002})(Mg_{0.992}Cr_{0.004}Ni_{0.002})(Si_{1.972}Al_{0.018})O_6$

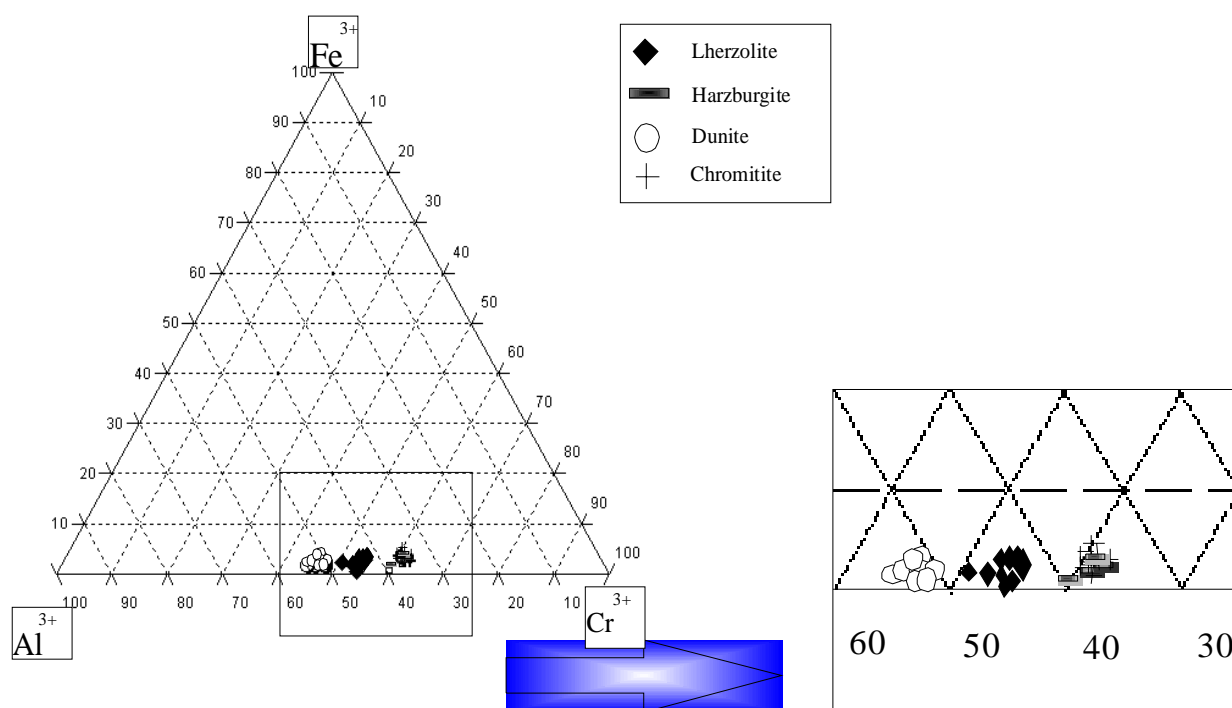
به طوری که $Cr\#$ اسپینل‌ها می‌تواند به عنوان یک نشانگر در تعیین منشأ پریدوتیت‌ها استفاده شود (Dick and Bullen, 1984). ترکیب اسپینل‌های کروم دار متبلور

اسپینل‌ها: اسپینل مهم‌ترین کانی از لحاظ تغییرات ترکیبی در سنگ‌هاست و می‌تواند به عنوان یک نشانگر برای فهم فرایندهای موثر بر سنگ، استفاده شود؛

پریدوتیت‌های سرپانتینی شده ترکیب شیمیایی منشأ آذرین را به نمایش می‌گذارد (Dick and Bullen, 1984).

تبلور اسپینل کروم‌دار در محیط‌های ماگمایی همزمان با الیون صورت می‌گیرد و ویژگی مهم ترکیبی آن ضریب توزیع پذیری بالای عناصری چون Fe، Mg و Al بین ماگما و اسپینل است (Maurel and Maurel, 1982) که می‌تواند نشانگر مفیدی برای ترکیب مایع اولیه باشد. ترکیب انواع اسپینل‌های کروم‌دار موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر در نمودار Fe^{3+} -Cr-Al در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به نحوه قرارگیری اسپینل‌های واحدهای مختلف سنگی گوشته افیولیت لوگر، اسپینل‌های کرومیتیت‌ها شباهت ترکیبی بیشتر با اسپینل‌های هارزبورژیت‌ها نشان می‌دهند.

شده در محیط‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است و در حقیقت، محیط تبلور مهم‌ترین عامل موثر بر ترکیب اسپینل‌های کروم‌دار است، البته، ترکیب این کانی تحت تاثیر دگرسانی و دگرگونی دچار تغییر می‌شود، ولی این تغییرات جزئی است (Dick and Bullen, 1984). این دگرسانی‌ها و دگرگونی با گسترش حاشیه مگنتیتی در اطراف اسپینل‌های کروم‌دار و افزایش میزان جایگزینی عناصر اصلی مانند Al، Fe، Mg و Cr بین کانی‌های سیلیکاته در برگیرنده، چون: الیون، پیروکسن، کلریت و اسپینل باعث تغییر ترکیب اسپینل‌های کروم‌دار می‌شوند. با توجه به اینکه بخش‌های میانی اسپینل‌ها تنها در دمای بالاتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت تاثیر و تغییر شیمیایی قرار می‌گیرد، ترکیب بخش‌های میانی این کانی‌ها در



شکل ۷- ترکیب اسپینل‌های کروم‌دار موجود در لرزولیت، هارزبورژیت، دونیت و کرومیتیت‌های افیولیت لوگر در مثلث کاتیون‌های ۳ ظرفیتی Fe^{3+} ، Cr^{3+} و Al^{3+} .

در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر چندین نوع اسپینل کروم‌دار با ترکیب متفاوت وجود دارد (جدول‌های ۷ و ۸). این انواع مختلف در واحدهای سنگی متفاوت دیده می‌شوند (شکل ۸) که عبارتند از: (الف) اسپینل‌های پراکنده در سنگ‌های لرزولیتی: اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌ها به‌طور میانگین دارای ۴۳/۷۵ درصد وزنی Cr_2O_3 ، ۲۴/۳۳ درصد وزنی Al_2O_3 ، $Cr\#$ برابر با ۰/۵۴۷ و $Mg\#$ برابر با ۰/۶۰۳ هستند؛ (ب) اسپینل‌های پراکنده در هارزبورژیت: اسپینل‌های موجود در هارزبورژیت‌ها به‌طور متوسط مقدار اکسید Cr_2O_3 آنها ۴۸/۰۶ است. $Cr\#$ و $Mg\#$ این کانی‌ها به ترتیب ۰/۶۲۵ و ۰/۵۵۹ هستند. مقدار Al_2O_3 آنها نیز ۱۹/۳۴ درصد وزنی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در

مقایسه با اسپینل‌های کروم‌دار موجود در لرزولیت، میزان درصد اکسید کروم افزایش و اکسید آلومینیوم کاهش پیدا کرده است که در نتیجه $Cr\#$ آنها افزایش یافته است؛ (پ) اسپینل‌های سنگ‌های دونیتی: اسپینل‌های کروم‌دار موجود در دونیت‌ها دارای محتوای Cr_2O_3 برابر با ۳۹/۱۷ درصد وزنی و $Cr\#$ برابر با ۰/۴۷۷ هستند. میزان Al_2O_3 این کانی‌ها ۲۸/۸۷ درصد وزنی و $Mg\#$ آنها ۰/۶۴۳ است؛ (ت) کرومیتیت‌ها: اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌ها به‌عنوان ذخیره معدنی کروم در افیولیت لوگر ردیابی و استخراج می‌شوند. مقدار اکسید Cr_2O_3 آنها در حدود ۴۸/۶۰ درصد است. $Cr\#$ ، Al_2O_3 و $Mg\#$ این کانی‌ها به ترتیب ۰/۶۳۳، ۱۸/۹۴ درصد وزنی و ۰/۶۵۲ هستند.

جدول ۷- ترکیب اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر بر اساس درصد وزنی و فرمول ساختمانی آنها با احتساب ۳۲ اتم اکسیژن.

Rock type*	Lz	Lz	Lz	Lz	Lz	Lz	Lz	Lz	Lz	Hz	Hz
Sample No.	09-Chr1-1	09-Chr1-2	09-Chr1-3	09-Chr2-1	09-Chr2-2	09-Chr3-1	09-Chr3-2	09-Chr3-3	05-Chr1-1	05-Chr1-2	
SiO ₂	0.07	0.06	0.06	0.47	0.06	0.04	0.02	0.04	0.22	0.04	
TiO ₂	0.00	0.00	0.05	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.04	0.05	
Al ₂ O ₃	26.11	24.85	24.28	24.77	23.34	24.38	23.54	23.34	20.68	19.13	
Cr ₂ O ₃	41.90	43.40	43.83	44.07	44.08	43.54	44.41	44.77	46.98	48.24	
FeO*	17.17	17.26	17.12	17.19	16.87	17.27	17.28	17.17	18.32	18.61	
MnO	0.24	0.23	0.20	0.26	0.25	0.24	0.22	0.23	0.26	0.27	
MgO	13.25	12.76	13.04	12.80	13.36	13.12	13.36	13.23	11.11	11.77	
CaO	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	
NiO	0.06	0.05	0.05	0.06	0.08	0.07	0.09	0.08	0.10	0.04	
Total	98.58	98.62	98.65	99.68	98.06	98.70	98.98	98.88	97.73	98.16	
Si	0.017	0.015	0.015	0.115	0.015	0.010	0.005	0.010	0.056	0.010	
Ti	0.000	0.000	0.009	0.006	0.002	0.004	0.007	0.004	0.008	0.010	
Al	7.513	7.222	7.058	7.113	6.829	7.078	6.831	6.789	6.230	5.750	
Cr	8.087	8.462	8.547	8.513	8.652	8.480	8.645	8.737	9.494	9.727	
Fe ⁺³	0.366	0.286	0.347	0.114	0.488	0.415	0.499	0.477	0.148	0.483	
Fe ²⁺	3.140	3.273	3.184	3.399	3.017	3.142	3.059	3.097	3.768	3.486	
Mn	0.050	0.048	0.042	0.054	0.053	0.050	0.046	0.048	0.056	0.058	
Mg	4.823	4.691	4.795	4.663	4.945	4.818	4.904	4.868	4.234	4.475	
Ca	0.005	0.003	0.003	0.005	0.003	0.003	0.003	0.000	0.005	0.000	
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.002	0.006	0.005	0.005	0.007	0.007	0.007	0.007	0.015	0.005	
Total	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	
Cr#	0.518	0.540	0.548	0.544	0.559	0.545	0.559	0.563	0.604	0.628	
Mg#	0.606	0.589	0.601	0.578	0.621	0.605	0.616	0.611	0.529	0.562	

*Lz = Lherzolite; Hz = Harzburgite; Du = Dunite; Chr = Chromitite

Rock type*	Hz	Hz	Hz	Hz	Du	Du	Du	Du	Du	Du
Sample No.	05-Chr1-3	05-Chr2-1	05-Chr2-2	05-Chr2-3	11-Chr1-1	11-Chr1	11-Chr1-3	11-Chr2-1	11-Chr2-2	11-Chr3-1
SiO ₂	0.04	0.02	0.20	0.05	0.02	0.01	0.01	0.13	0.09	0.04
TiO ₂	0.04	0.07	0.06	0.07	0.09	0.13	0.12	0.17	0.13	0.15
Al ₂ O ₃	19.09	19.34	19.24	18.56	30.67	28.60	29.56	28.44	28.36	28.46
Cr ₂ O ₃	48.49	48.11	47.92	48.61	37.72	39.40	38.64	40.00	40.09	38.61
FeO*	18.40	18.94	19.23	18.87	15.79	16.02	15.73	15.17	16.06	16.29
MnO	0.25	0.27	0.25	0.26	0.20	0.22	0.21	0.18	0.22	0.23
MgO	11.44	11.55	11.46	11.57	14.44	14.37	14.20	14.60	14.58	14.46
CaO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.04	0.08	0.04	0.07	0.11	0.12	0.09	0.09	0.07	0.11
Total	97.79	98.38	98.42	98.08	99.07	98.91	98.56	98.82	99.63	98.34
Si	0.010	0.005	0.051	0.013	0.005	0.002	0.002	0.031	0.021	0.010
Ti	0.008	0.013	0.011	0.013	0.016	0.023	0.022	0.031	0.023	0.027
Al	5.771	5.808	5.778	5.605	8.592	8.090	8.362	8.043	7.967	8.082
Cr	9.833	9.692	9.654	9.847	7.089	7.477	7.333	7.589	7.555	7.355
Fe ⁺³	0.360	0.463	0.443	0.496	0.278	0.381	0.257	0.245	0.388	0.489
Fe ⁺²	3.586	3.573	3.655	3.547	2.861	2.834	2.900	2.800	2.814	2.793
Mn	0.054	0.058	0.054	0.056	0.040	0.045	0.043	0.037	0.044	0.047
Mg	4.375	4.388	4.354	4.420	5.117	5.142	5.081	5.223	5.182	5.194
Ca	0.003	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.000	0.003	0.005	0.003
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.005	0.009	0.005	0.009	0.015	0.009	0.009	0.009	0.009	0.018
Total	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Cr#	0.630	0.625	0.628	0.637	0.452	0.480	0.467	0.485	0.487	0.476
Mg#	0.550	0.551	0.544	0.555	0.641	0.645	0.637	0.651	0.648	0.650

*Lz = Lherzolite; Hz = Harzburgite; Du = Dunite; Chr = Chromitite

Rock type*	Du	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr
Sample No.	11-Chr3-2	02-Chr1-1	02-Chr1-2	02-Chr2-1	02-Chr2-2	02-Chr2-3	02-Chr3-1	02-Chr3-2	02-Chr3-3
SiO ₂	0.05	0.06	0.00	0.02	0.21	0.04	0.04	0.03	0.00
TiO ₂	0.12	0.12	0.13	0.12	0.15	0.16	0.11	0.12	0.14
Al ₂ O ₃	28.03	18.08	17.73	19.35	19.00	19.24	19.21	19.54	19.38
Cr ₂ O ₃	39.76	48.76	47.90	48.82	48.60	48.79	48.66	48.55	48.74
FeO*	15.88	15.87	15.60	15.64	15.60	15.72	15.19	15.48	15.80
MnO	0.21	0.19	0.22	0.22	0.20	0.22	0.20	0.23	0.22
MgO	13.89	12.82	13.01	14.46	13.71	13.99	14.26	14.22	13.81
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.11	0.07	0.08	0.11	0.11	0.08	0.10	0.11	0.10
Total	98.08	95.91	94.72	98.75	97.57	98.27	97.78	98.29	98.20
Si	0.012	0.016	0.000	0.005	0.053	0.010	0.010	0.008	0.000
Ti	0.022	0.023	0.026	0.022	0.029	0.030	0.021	0.023	0.026
Al	8.026	5.525	5.481	5.681	5.669	5.692	5.698	5.764	5.741
Cr	7.637	9.995	9.933	9.615	9.728	9.683	9.682	9.608	9.685
Fe ⁺³	0.269	0.402	0.535	0.650	0.439	0.545	0.559	0.568	0.521
Fe ⁺²	2.957	3.039	2.887	2.608	2.864	2.755	2.638	2.672	2.799
Mn	0.043	0.042	0.049	0.046	0.043	0.047	0.043	0.049	0.047
Mg	5.031	4.956	5.087	5.370	5.175	5.236	5.350	5.307	5.175
Ca	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.003	0.000	0.003	0.005
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.018	0.009	0.009	0.018	0.018	0.009	0.010	0.018	0.012
Total	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Cr#	0.488	0.644	0.644	0.629	0.632	0.63	0.630	0.625	0.628
Mg#	0.630	0.620	0.638	0.673	0.644	0.655	0.670	0.665	0.649

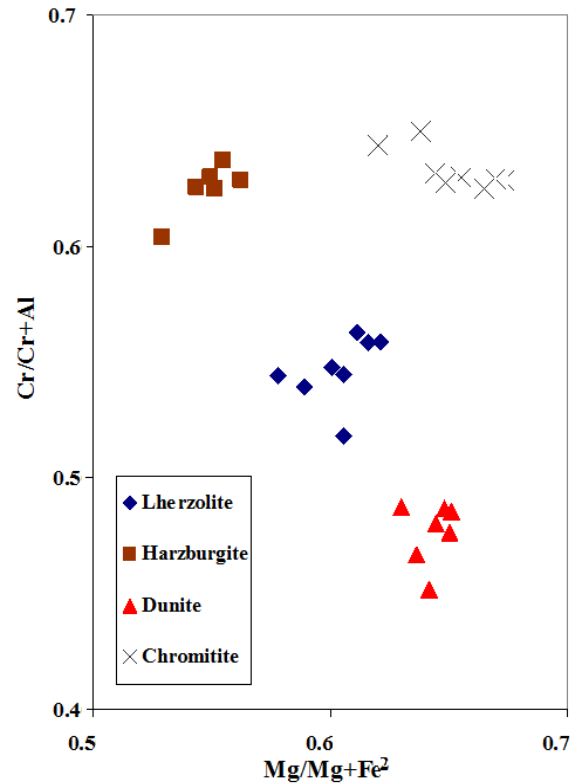
جدول ۸- فرمول ساختمانی میانگین اسپینل‌های لوگر

Rock type	Mineral name	Chemical formula
Lherzolite	Aluminian Magnesiochromite	$(\text{Fe}^{+2}_{3.2}\text{Mg}_{4.8}\text{Mn}_{0.05})(\text{Cr}_{8.5}\text{Fe}^{+3}_{0.41}\text{Al}_{7.1})\text{O}_{32}$
Harzburgite	Aluminian Magnesiochromite	$(\text{Fe}^{+2}_{3.6}\text{Mg}_{4.4}\text{Mn}_{0.06})(\text{Cr}_{9.7}\text{Fe}^{+3}_{0.45}\text{Al}_{5.8})\text{O}_{32}$
Dunite	Chromian Spinel	$(\text{Fe}^{+2}_{2.8}\text{Mg}_{5.1}\text{Mn}_{0.04})(\text{Cr}_{7.4}\text{Fe}^{+3}_{0.33}\text{Al}_{8.2})\text{O}_{32}$
Chromitite	Aluminian Magnesiochromite	$(\text{Fe}^{+2}_{2.8}\text{Mg}_{5.2}\text{Mn}_{0.05})(\text{Cr}_{9.7}\text{Fe}^{+3}_{0.53}\text{Al}_{5.7})\text{O}_{32}$

گوشته لوگر در جدول ۸ آورده شده است. نکته قابل توجه، میزان بالای کاتیون Cr^{+3} اسپینل‌ها در واحدهای مختلف سنگی است، که در همه واحدهای سنگی گوشته افیولیت لوگر، بجز دونیت‌ها از میزان Al^{+3} آنها بیشتر شده است.

پتروژنز

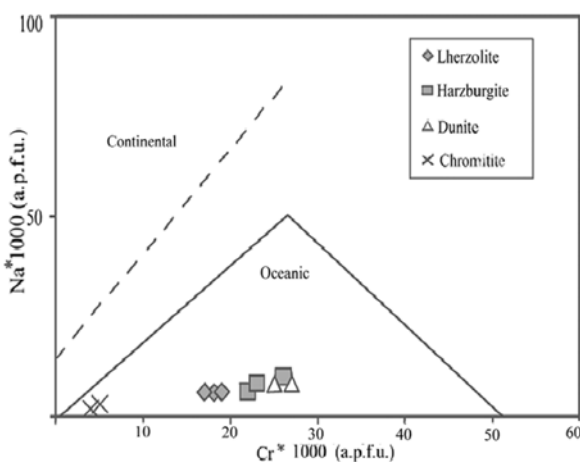
(الف) تعیین منشأ و شرایط تشکیل پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر: ترکیب شیمیایی کانی‌های آنالیز شده موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر، برای تشخیص منشأ و شرایط تشکیل، در نمودارهای پتروژنتیک بررسی شده است. این نمودارها در تشخیص منشأ و شرایط تشکیل این سنگ‌ها مفیدند. ترکیب اسپینل‌ها و الیون‌ها برای پی بردن به گوشته‌ای بودن پریدوتیت‌های مورد بررسی، بسیار مؤثر است؛ به طوری که با استفاده از ترکیب اسپینل‌ها می‌توان پریدوتیت‌های گوشته را از پریدوتیت‌های کومولا تفکیک نمود. همچنین، با استفاده از ترکیب کلینوپیروکسن‌ها می‌توان پریدوتیت‌های گوشته زیر پوسته اقیانوسی و زیر پوسته قاره‌ای را از یکدیگر تشخیص داد. اگر محتوای Al_2O_3 کانی‌های اسپینل موجود در پریدوتیت‌های لوگر در برابر Cr_2O_3 آنها ترسیم شود، پریدوتیت‌های افیولیت لوگر در محدوده پریدوتیت‌های گوشته‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۹). محدوده‌های گوناگون مشخص شده در دی‌اگرام توسط Kay و Conrad (۱۹۸۴)، Haggerty (۱۹۸۸) و Kepezhinskis و همکاران (۱۹۹۵) پیشنهاد شده‌اند.



شکل ۸- تغییرات $\text{Cr}\#$ در مقابل $\text{Mg}\#$ اسپینل‌های واحدهای مختلف سنگی و موقعیت آنها

همان‌گونه که مشخص است، مقدار $\text{Cr}\#$ اسپینل‌ها از لرزولیت به سمت هارزبورژیت افزایش، و از هارزبورژیت به سمت دونیت کاهش می‌یابد. $\text{Cr}\#$ اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌ها از نظر ترکیب به اسپینل‌های درون هارزبورژیت‌ها شباهت بیشتری دارند. ترکیب و فرمول ساختمانی اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر که بر پایه ۳۲ اتم اکسیژن در هر واحد فرمولی محاسبه شده، در جدول ۷ آورده شده است. فرمول ساختاری میانگین اسپینل‌های موجود در واحدهای مختلف سنگی پریدوتیت‌های

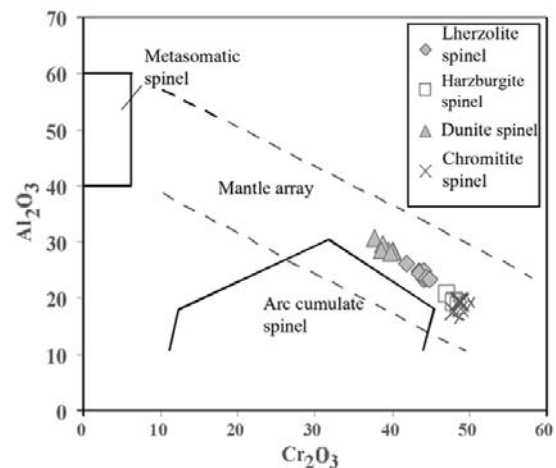
با استفاده از مقدار Na و Cr واحد ساختاری کلینوپیرکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر مشاهده می‌شود که تمامی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر در محدوده محیط اقیانوسی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱). محدوده‌های مشخص شده در دیاگرام پیشنهاد شده توسط Kornprobst و همکاران (۱۹۸۱) است.



شکل ۱۱- مقدار اتمی کاتیون Na کلینوپیرکسن در برابر Cr آن در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر (Kornprobst *et al.*, 1981) پریدوتیت‌های افیولیت لوگر در محدوده محیط اقیانوسی قرار می‌گیرند.

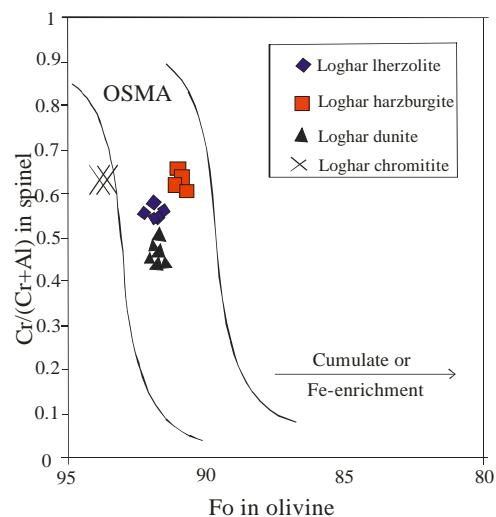
در شکل ۱۲ درجه ذوب‌بخشی به‌دست آمده از اسپینل بر اساس محاسبات Hirose و Kawamoto (۱۹۹۵) به‌صورت پیکانی که درجات ذوب بر روی آن مشخص شده ترسیم شده است. بر این اساس درجه ذوب‌بخشی در این سنگ‌ها بیش از ۲۰ درصد بوده است.

با توجه به نتایج حاصل از نمودارها می‌توان بیان کرد که پریدوتیت‌های مورد بررسی در این مطالعه گوشته‌ای و به گوشته زیر پوسته اقیانوسی متعلق هستند.



شکل ۹- مقدار Al_2O_3 در برابر Cr_2O_3 اسپینل‌های کروم‌دار پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر. همه نمونه‌ها در محدوده گوشته‌ای ترسیم می‌شوند (Conrad and Kay, 1984; Haggerty, 1988; Kepezhinskas *et al.*, 1995).

در دیاگرام شکل ۱۰ مقدار میانگین فورستريت موجود در الیوین‌ها در برابر $Cr\#$ اسپینل‌های کروم‌دار همزیست با آنها نمایش داده شده است. این دیاگرام نیز مانند دیاگرام ۹ گوشته‌ای بودن پریدوتیت‌های افیولیت لوگر را تایید می‌کند.

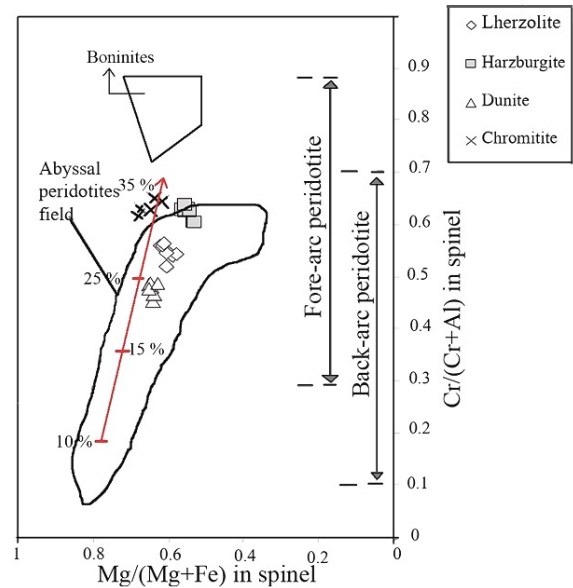


شکل ۱۰- مقدار فورستريت الیوین در برابر $Cr\#$ اسپینل کروم‌دار همزیست با آن نمایش داده شده است (OSMA=olivine - spinel است (mantle array) به تغییرات ترکیبی کانی‌های مذکور در لروزلیت، هارزبورژیت و دونیت و قرارگیری آنها در محدوده پریدوتیت‌های گوشته توجه شود (Arai, 1994).

ذوب بخشی وارد مذاب می‌شوند پس محتوای Na و Al پریدوتیت‌های لرزولیتی بیشتر از پریدوتیت‌های هارزبورژیته است. بر اساس مطالعه رفتار اکسیدهای مختلف در پریدوتیت‌های آنالیز شده دیاگرام‌های تغییر عناصر اصلی در برابر Mg# ارتوپیروکسن‌ها (شکل ۱۳) و کلینوپیروکسن‌ها (شکل ۱۴) ترسیم شده‌اند.

پریدوتیت‌های مرجع از اقیانوس اطلس و هند برای مقایسه آورده شده است (Bonatti *et al.*, 1992; Cannat *et al.*, 1992; Cannat and Seyler, 1995; Johnson and Dick, 1992; Johnson *et al.*, 1990; Ross and Elthon, 1997). مقدار محتوی Cr_2O_3 ارتوپیروکسن‌ها و کلینوپیروکسن‌ها در برابر Mg# آنها در پریدوتیت‌های لوگر تقریباً برابر با مقدار این عناصر در پریدوتیت‌های لرزولیتی مرجع است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). $Mg\# - Al_2O_3$ ارتوپیروکسن‌ها و کلینوپیروکسن‌ها و $Mg\# - Na_2O$ کلینوپیروکسن‌های پریدوتیت‌های لوگر در مقایسه با پریدوتیت‌های لرزولیتی مرجع کمتر است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

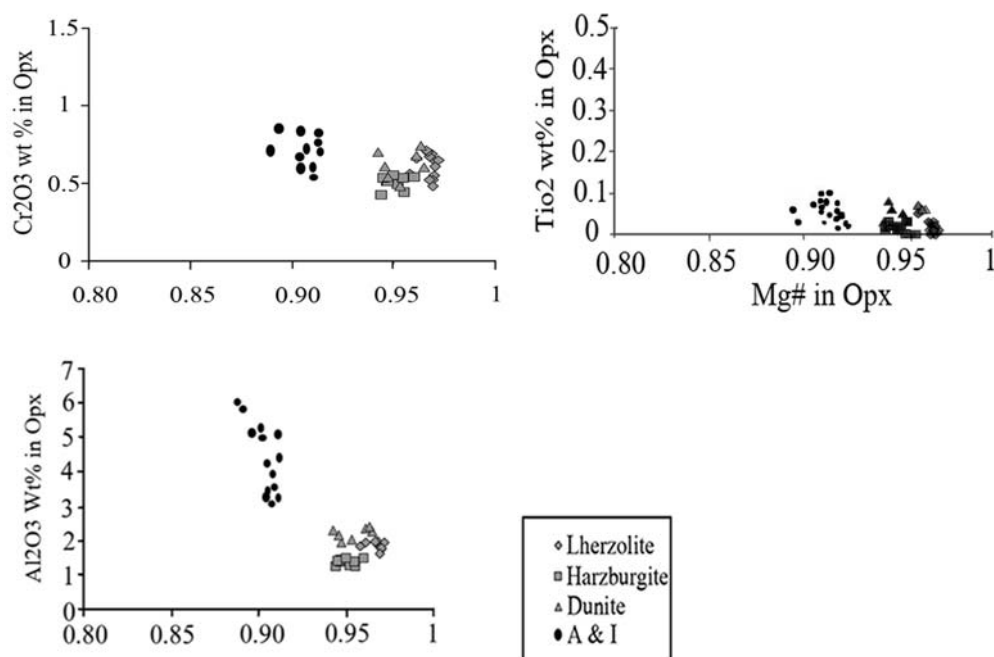
این مشاهدات نشان می‌دهد که Cr و Ti در پیروکسن‌های واحدهای سنگی گوشته لوگر به‌عنوان عناصر ناسازگار عمل نموده‌اند، بنابراین، همه Cr و Ti‌های مواد منشأ وارد مذاب می‌شوند. محتوای کم Al_2O_3 ارتوپیروکسن‌ها و کلینوپیروکسن‌ها و Na_2O کلینوپیروکسن‌ها نشان‌دهنده درجه بالای ذوب بخشی واحدهای سنگی گوشته لوگر است.



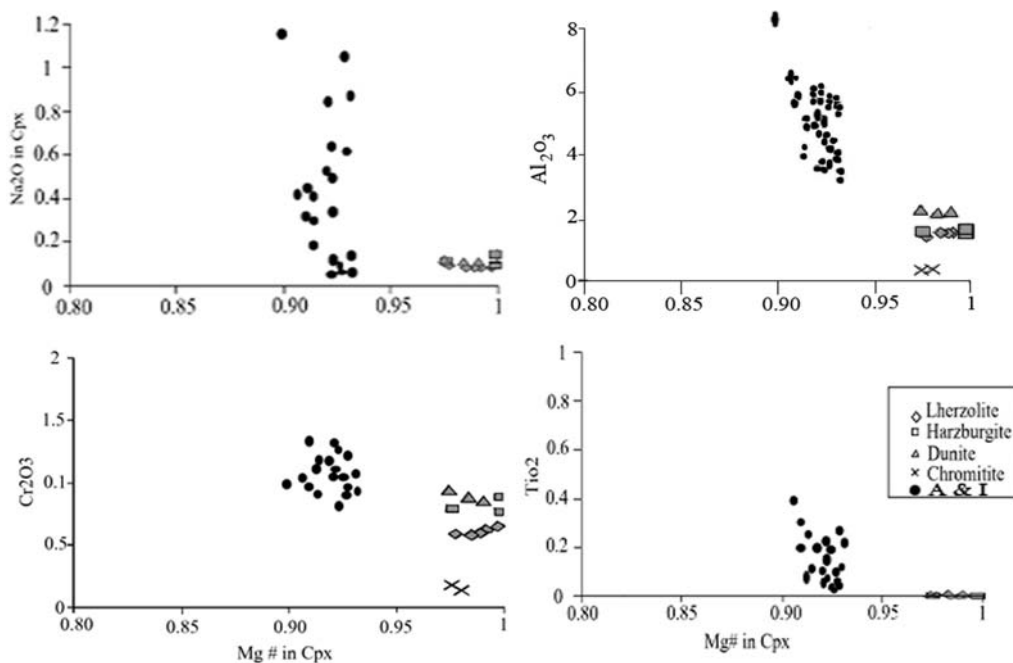
شکل ۱۲- ترسیم نمونه‌ها سنگی گوشته لوگر در دیاگرام Cr# در برابر Mg# اسپینل‌های آنها. محدوده آبیسال، جلوی قوس و پشت قوس به ترتیب توسط Barnes و Roeder (۲۰۰۱)، Ishii و همکاران (۱۹۹۲) و Monnier و همکاران (۱۹۹۵) مشخص شده‌اند و محدوده بونینیت از Dick و Bullen (۱۹۸۴) آورده شده است. نماد علامت‌دار شده نشان‌دهنده درصد ذوب سنگ پریدوتیت میزبان بر اساس محاسبات Hirose و Kawamoto (۱۹۹۵) است.

(ب) مطالعه رفتار عناصر سازگار و ناسازگار: مطالعه

رفتار عناصر سازگار و ناسازگار در طول ذوب پریدوتیت‌های حاصل از ذوب بخشی مقدار ذوب بخشی را نشان می‌دهد. Cr و Ti عناصر ناسازگار بوده، حتی در درجات پایین ذوب بخشی وارد مذاب می‌شوند؛ بنابراین، انتظار می‌رود که لرزولیت و هارزبورژیت باقیمانده مقدار کمی از این دو عنصر را دارا باشند. Na و Al به‌عنوان عناصر سازگار عمل می‌کنند و تنها در درجات بالای



شکل ۱۳- ترسیم Cr_2O_3 ، TiO_2 و Al_2O_3 ارتوپایروکسن‌های لوگر در برابر $Mg\#$ این کانی‌ها. پریدوتیت‌های مرجع اطلس و هند (A, I) برای مقایسه آورده شده‌اند. ارتوپایروکسن‌های موجود در سنگ‌های گوشته لوگر از لحاظ میزان TiO_2 و Cr_2O_3 برابر با پریدوتیت‌های مرجع واز لحاظ Al_2O_3 فقیرتر از آنها هستند (برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود).



شکل ۱۴- ترسیم Na_2O و TiO_2 ، Cr_2O_3 ، Al_2O_3 کلینوپایروکسن‌های لوگر در برابر $Mg\#$ این کانی‌ها. پریدوتیت‌های مرجع اطلس و هند (A, I) برای مقایسه آورده شده‌اند. کلینوپایروکسن‌های سنگ‌های گوشته لوگر Al_2O_3 و Na_2O کمتری نسبت به پریدوتیت‌های مرجع دارند. میزان TiO_2 پیروکسن‌های واحدهای سنگی گوشته لوگر نیز کمتر از میزان این اکسید در پریدوتیت‌های مرجع است (برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود).

مکان هندسی جریان مذاب تجمع یافته در گوشته در نظر گرفته می‌شوند و کانی‌های موجود در این سنگ، همواره با مذاب صعود کننده واکنش داده، از نظر ترکیب تغییر می‌یابند. برای مقایسه بهتر ویژگی‌های واحدهای مختلف سنگی گوشته افیولیت لوگر، میانگین برخی از پارامترهای اسپینل‌های آنها در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹- میانگین برخی از پارامترهای واحدهای مختلف سنگی گوشته لوگر

Rock type	Cr ₂ O ₃ (wt%)	Al ₂ O ₃ (wt%)	MnO (wt%)	MgO (wt%)	TiO ₂ (wt%)	Cr#	Mg#	Fe#	Fe ⁺³ #
Lherzolite	43.75	24.33	0.23	13.12	0.02	54.7	0.603	0.423	0.105
Harzburgite	48.06	19.34	0.26	11.48	0.06	62.5	0.559	0.478	0.099
Dunite	39.17	28.87	0.21	14.36	0.13	47.7	0.643	0.382	0.103
Chromitite	48.60	18.94	0.21	13.79	0.13	63.3	0.652	0.389	0.160

$$(\text{Fe}\# = \text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{+3} / (\text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{+3} + \text{Mg}); \text{Fe}^{+3}\# = \text{Fe}^{+3} / \text{Fe}^{+3} + \text{Fe}^{+2})$$

بین سایر واحدهای سنگی به خود اختصاص داده‌اند. TiO₂ اسپینل‌های موجود در واحدهای مختلف سنگی روندی افزایشی از لرزولیت‌ها (متغیر بین ۰/۰۵ - ۰/۰۰ درصد وزنی) به سمت هارزبورژیت‌ها (متغیر بین ۰/۰۲ - ۰/۰۷ درصد وزنی)، دونیت‌ها و کرومیتیت‌ها (۰/۱۰ - ۰/۱۷ درصد وزنی) نشان می‌دهند؛ به طوری که بیشترین مقدار TiO₂ در دونیت‌ها و کرومیتیت‌ها وجود دارد. مقدار MnO اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌ها بین ۰/۲۰ درصد وزنی تا ۰/۲۶ درصد وزنی در تغییر است. این مقدار در هارزبورژیت‌ها کمی افزایش می‌یابد (متغیر بین ۰/۲۵ - ۰/۲۷ درصد وزنی)، ولی در دونیت‌ها (۰/۱۸ - ۰/۲۳ درصد وزنی) و کرومیتیت‌ها (۰/۱۹ - ۰/۲۳ درصد وزنی) کاهش می‌یابد. همان گونه که در جدول ۹ هم دیده می‌شود، بعضی از پارامترها مثل Mg#، مقدار MnO، TiO₂ و Fe#، در اسپینل‌های موجود در دونیت‌ها و کرومیتیت‌ها تقریباً یکسان هستند.

اسپینل‌های موجود در دونیت‌های لوگر رفتار نسبتاً متفاوتی با سایر اسپینل‌های موجود در واحدهای سنگی

(پ) بررسی پارامترهای مختلف در اسپینل‌های واحدهای مختلف سنگی افیولیت لوگر و مقایسه با اسپینل‌های موجود در دونیت، کرومیتیت و گدازه‌های بالشی افیولیت نابین: همان طور که در بخش شیمی کانی‌ها مشخص بود، کانی‌های موجود در دونیت‌ها در بسیاری از رفتارهای شیمیایی از لرزولیت‌ها و هارزبورژیت‌ها تبعیت نمی‌کنند، زیرا دونیت‌ها به‌عنوان

درصد وزنی Cr₂O₃ کروم اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌ها بین ۴۱/۹۰ تا ۴۴/۷۷ متغیر است؛ در هارزبورژیت‌ها این مقدار افزایش می‌یابد و بین ۴۶/۹۸ تا ۴۸/۶۱ درصد وزنی تغییر می‌کند، در دونیت‌ها و کرومیتیت‌ها نیز به ترتیب بین (۳۷/۷۲ - ۴۰/۰۹) و (۴۷/۹۰ - ۴۸/۸۲) در تغییر است. همان طوری که دیده می‌شود، مقدار Cr₂O₃ در دونیت‌ها به‌صورت ناگهانی نسبت به هارزبورژیت‌ها کاهش پیدا می‌کند، و حتی از مقدار Cr₂O₃ موجود در لرزولیت‌ها نیز کمتر می‌شود؛ ولی در کرومیتیت‌ها دوباره افزوده می‌شود و این مقدار کمی بیشتر از هارزبورژیت‌ها می‌شود.

مقدار Al₂O₃ اسپینل‌های موجود در دونیت‌ها (متغیر بین ۲۸/۰۳ - ۳۰/۶۷ درصد وزنی) نیز از روند کاهش‌ی مقدار Al₂O₃ در لرزولیت‌ها (متغیر بین ۲۳/۳۴ - ۲۶/۱۱ درصد وزنی) به سمت هارزبورژیت‌ها (متغیر بین ۱۸/۵۶ - ۲۰/۶۸ درصد وزنی) و به سمت کرومیتیت‌ها (۱۷/۷۳ - ۱۹/۵۴ درصد وزنی) تبعیت نمی‌کند و یک افزایش ناگهانی در میزان Al₂O₃ موجود در دونیت‌ها مشاهده می‌شود، که بیشترین مقدار را در

بیشترین مقدار Al_2O_3 مربوط به اسپینل‌های موجود در پیلولاواها (۳۰/۶۲ و ۳۳/۰۲ درصد وزنی) است. مقدار میانگین Al_2O_3 اسپینل‌های موجود در دونیت‌های لوگر (۲۸/۸۷ درصد وزنی) کمی بیشتر از مقدار Al_2O_3 اسپینل‌های موجود در دونیت‌های نایین (۲۶/۹۲ درصد وزنی) و تقریباً در حد اسپینل‌های موجود در گدازه‌های بالشی نایین - ایران است. کمترین مقدار Al_2O_3 در کرومیت‌ها دیده می‌شود؛ به طوری که مقدار میانگین Al_2O_3 در اسپینل‌های کرومیت‌های لوگر و نایین - ایران به ترتیب ۱۸/۹۴ و ۱۳/۷۹ درصد وزنی است.

اسپینل‌های موجود در کرومیت‌ها بیشترین مقدار Cr_2O_3 را دارا هستند؛ به گونه‌ای که به ترتیب ۵۴/۶۹ و ۴۸/۶۰ درصد وزنی در اسپینل‌های موجود در کرومیت‌های نایین و لوگر به دست آمده است.

اسپینل‌های موجود در دونیت لوگر و نایین به ترتیب دارای ۳۹/۱۷ و ۳۶/۱۱ درصد وزنی Cr_2O_3 هستند. Cr_2O_3 اسپینل‌های موجود در پیلولاواها (۳۲/۰۴ و ۳۵/۳۸ درصد وزنی)، تقریباً در حد اسپینل‌های دونیت‌هاست.

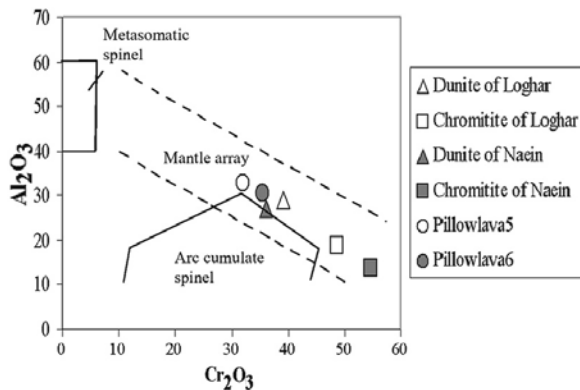
در مقایسه با دیگر واحدهای سنگی، اسپینل‌های موجود در دونیت‌ها و کرومیت‌های لوگر دارای کمترین مقدار TiO_2 (۰/۱۳ درصد وزنی) هستند. این مقدار در کرومیت نایین برابر با ۰/۱۶ درصد وزنی و در گدازه‌های بالشی کمی بیشتر (۰/۱۹ و ۰/۲۵ درصد وزنی) است. اسپینل‌های موجود در دونیت‌های نایین دارای بیشترین مقدار TiO_2 (۰/۴۶ درصد وزنی) هستند.

کمترین مقدار $Mg\#$ مربوط به اسپینل‌های قرار گرفته در دونیت‌های نایین (۰/۵۲) است. $Mg\#$ اسپینل‌های موجود در دونیت و کرومیت لوگر به

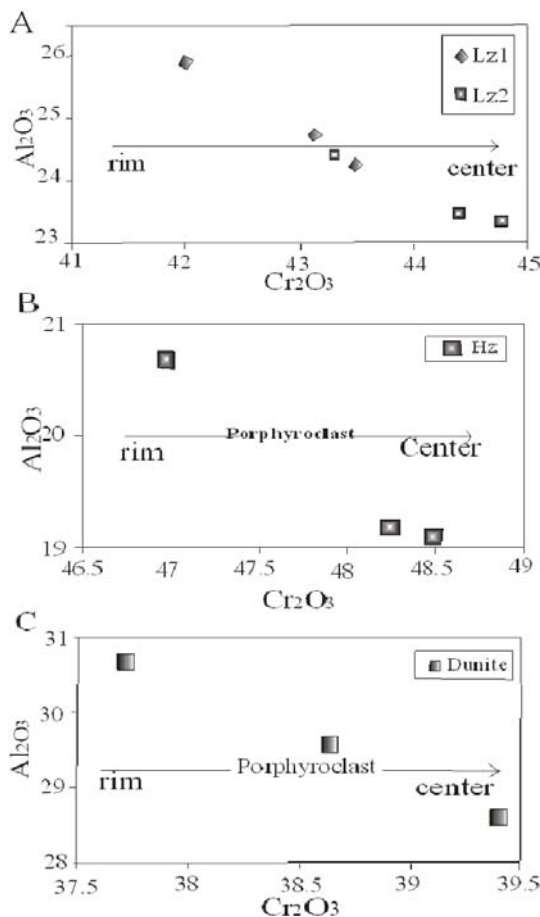
گوشته نشان می‌دهند. دونیت‌ها به عنوان مکان هندسی جریان مذاب تجمع یافته در نظر گرفته می‌شوند و کانی‌های موجود در این سنگ، همواره با مذاب صعود کننده واکنش داده، از نظر ترکیب تغییر می‌یابند و ترکیبی شبیه به مذاب صعود کننده پیدا می‌کنند. مذاب‌های صعود کننده، پریدوتیت‌های لایه ای، گابروها، دایک‌های دلریت - دیابازی و گدازه‌های بالشی را تشکیل می‌دهند. برای درک بهتر، میانگین داده‌های مربوط به کروم اسپینل‌های موجود در دونیت‌های لوگر با کروم اسپینل‌های موجود در دونیت‌ها و کرومیت‌های افیولیت نایین (پیرنیا، ۱۳۸۶) و اسپینل‌های موجود در گدازه‌های بالشی افیولیت نایین (ترابی و همکاران، ۱۳۸۷) در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۱۰- میانگین نتایج آنالیزهای دونیت و کرومیت لوگر (نمونه‌های ۱ و ۲)، دونیت و کرومیت نایین (نمونه‌های ۳ و ۴ از پیرنیا، ۱۳۸۶) و اسپینل‌های موجود در پیلولاواها (نمونه‌های ۵ و ۶ از ترابی و همکاران، ۱۳۸۷).

Sample	Dunit	Chromitit	Dunit	Chromitit	Pillow	Pillow
	e	e	e	e	lava	lava
Numbe	1	2	3	4	5	6
r						
SiO₂	0.05	0.05	0.01	0.01	0.17	0.07
TiO₂	0.13	0.13	0.46	0.16	0.19	0.25
Al₂O₃	28.87	18.94	26.92	13.79	33.02	30.62
Cr₂O₃	39.17	48.60	36.11	54.69	32.04	35.38
FeO*	16.09	15.89	24.07	15.24	15.72	14.78
MnO	0.21	0.21	0.30	0.23	0.20	0.13
MgO	14.36	13.79	12.02	14.98	16.48	16.46
CaO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.14	0.04
Total	98.84	97.62	99.88	99.11	97.97	97.73
Si	0.012	0.013	0.002	0.002	0.040	0.016
Ti	0.023	0.025	0.085	0.032	0.034	0.044
Al	8.166	5.656	7.736	4.125	9.136	8.568
Cr	7.433	9.741	6.962	10.977	5.947	6.644
Fe⁺³	0.336	0.527	1.128	0.83	0.771	0.667
Fe⁺²	2.851	2.783	3.656	2.312	2.231	2.194
Mn	0.043	0.046	0.062	0.050	0.040	0.026
Mg	5.139	5.207	4.369	5.670	5.768	5.829
Ca	0.003	0.002	0.001	0.002	0.035	0.011
Total	24.000	24.000	24.000	24.000	24.00	24.00
					0	0
Cr#	0.477	0.633	0.47	0.73	0.394	0.436
Mg#	0.643	0.652	0.52	0.708	0.721	0.726
Fe#	0.382	0.389	0.544	0.36	0.342	0.329



شکل ۱۵- ترسیم Al_2O_3 در برابر Cr_2O_3 اسپینل‌های موجود در دونیت و کرومیتیت افیولیت‌های لوگر و ناین و اسپینل‌های گدازه‌های بالشی، برای تشخیص منشأ اسپینل. همه نمونه‌ها در محدوده گوشته‌ای ترسیم می‌شوند (Conrad and Kay, 1984; Haggerty, 1988; Kepezhinskas *et al.*, 1995).



شکل ۱۶- نمایش تغییرات مقدار Al_2O_3 و Cr_2O_3 بر اساس درصد وزنی، از سمت حاشیه به سمت مرکز در اسپینل‌های کروم‌دار موجود در (A) لرزولیت، (B) هارزبورژیت و (C) دونیت لوگر (Lz = Lherzolite, Hz = Harzburgite)

ترتیب 0.643 و 0.652 محاسبه شده است که بیشتر از $Mg\#$ اسپینل‌های دونیت ناین (0.52) و کمتر از اسپینل‌های کرومیتیت ناین (0.708) هستند. اسپینل‌های تشکیل شده در پیلولواها 0.721 و 0.726 محاسبه شده است که در حد $Mg\#$ اسپینل کرومیتیت ناین هستند. اگر این واحدهای مختلف سنگی در دیگرام Al_2O_3 در مقابل Cr_2O_3 ترسیم شوند، این نمونه‌ها در محدوده گوشته قرار می‌گیرند. محدوده‌های رسم شده در این دیگرام توسط Kay و Conrad (۱۹۸۴)، Haggerty (۱۹۸۸) و Kepezhinskas (۱۹۹۵) تعیین شده‌اند. اسپینل‌های دونیت‌ها از نظر مقدار Al_2O_3 و Cr_2O_3 بسیار به اسپینل‌های آنالیز شده در گدازه‌های بالشی ناین شبیه هستند (شکل ۱۵). اگرچه اسپینل‌های موجود در دونیت‌های لوگر نسبت به اسپینل‌های دونیت ناین مقدار TiO_2 کمتر و $Mg\#$ بیشتر دارند، ولی در قیاس با اسپینل‌های پیلولواها، بیشتر با اسپینل‌های موجود در دونیت ناین شباهت دارند (شکل ۱۵). با توجه به مطالعات و نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که منشأ اسپینل‌های موجود در دونیت‌های لوگر گوشته بوده و این اسپینل‌ها از لحاظ رفتار و ویژگی‌های شیمیایی به اسپینل‌های دونیت و گدازه‌های بالشی ناین شبیه هستند و با اسپینل‌های موجود در پیلولواها نسبت به اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌ها و هارزبورژیت‌ها هم‌خوانی بیشتری دارند.

(ت) تغییرات Al_2O_3 و Cr_2O_3 در اسپینل‌های

واحدهای مختلف سنگی گوشته لوگر: در شکل ۱۶ تغییرات میزان Al_2O_3 و Cr_2O_3 از حاشیه به سمت مرکز اسپینل‌ها در واحدهای سنگی گوشته لوگر نشان داده شده است.

متغیرهای معادله‌های (۱) و (۲) و اکتیویته کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$a_{Mg_2Si_2O_6}^{cpx} = \left(X_{Mg}^{M_2} \cdot X_{Mg}^{M_1} \right)_{cpx}$$

$$a_{Mg_2Si_2O_6}^{opx} = \left(X_{Mg}^{M_2} \cdot X_{Mg}^{M_1} \right)_{opx}$$

$$X_{Fe}^{opx} = \frac{Fe^{+2}}{Fe^{+2} + Mg^{+2}}$$

دماهای به دست آمده با استفاده از فرمول ارائه شده توسط Wood و Banno (۱۹۷۳) برای نمونه‌های لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت به ترتیب ۱۰۳۰، ۱۰۳۴ و ۱۰۷۹ درجه سانتی‌گراد و با روش Wells (۱۹۷۷) به ترتیب دماهای ۹۱۴، ۹۲۳ و ۹۶۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- فشار و دماهای محاسبه شده برای لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر با استفاده از فشارسنجی و دماسنجی‌های ذکر شده در متن.

Methods*	Cpx-Opx Geothermometers (°C)		Cpx Barometer (kbar)
	WB	W	NT
Lherzolite	1030	914	27.3 ± 2.4
Lherzolite	1051	935	29 ± 2.4
Harzburgite	1034	923	28.9 ± 2.4
Dunite	1079	968	26 ± 2.4

* WB = Wood and Banno (1973), W = Wells (1977), NT = Nimis and Taylor (2000)

از محتوای Cr، Na و K موجود در پیروکسن‌ها برای تعیین فشار حاکم بر پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر برطبق روش Nimis و Taylor (۲۰۰۰) استفاده شده است. یکی از دلایل استفاده از معادله فشار شماره ۳ این است که، این روش دارای وابستگی دمایی (°C) ۵۰ kbar/۲۴ - ۱/۲) پایین تری، نسبت به فشار سنجی‌های رایج بر پایه محتوای Al در ارتوپیروکسن (۵۰ kbar/۳-۲) است.

در بررسی آنالیز نقطه‌ای اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته لوگر از حاشیه اسپینل‌های کروم‌دار به سمت مرکز روندی افزایشی برای Cr_2O_3 و روندی کاهشی برای Al_2O_3 مشاهده می‌شود. وجود این زونینگ در اسپینل‌ها می‌تواند به علت تغییر ترکیب مداوم مذاب صعود کننده بر اثر واکنش‌های سنگ دیواره و مذاب صعود کننده بازالتی باشد (شکل ۱۶).

دماسنجی، فشارسنجی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر

برای به دست آوردن شرایط حرارت و فشار واحدهای سنگی پریدوتیت گوشته لوگر ترکیب شیمیایی کانی‌های مافیک استفاده شدند. با استفاده از دماسنجی زوج کانی کلینوپیروکسن - ارتوپیروکسن (Wood and Wells, 1977; Banno, 1973) که شرایط همزیستی مساعدی را در پریدوتیت‌های گوشته از خود نشان می‌دهند، شرایط دما و فشار حاکم بر پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر محاسبه شد. از دماسنجی‌های دو پیروکسن بر اساس معادله‌های ۱ و ۲ برای تعیین دمای تبلور لرزولیت‌ها، هارزبورژیت‌ها و دونیت‌های گوشته افیولیت لوگر استفاده شده است (جدول ۱۱). فرمول ارائه شده توسط Wood و Banno (۱۹۷۳) چنین است:

معادله ۱:

$$T_c = \frac{-10202}{\ln \left(\frac{a_{Mg_2Si_2O_6}^{cpx}}{a_{Mg_2Si_2O_6}^{opx}} \right) - 7.65 X_{Fe}^{opx} + 3.88 (X_{Fe}^{opx})^2 - 4.6} - 273.15$$

Wells (۱۹۷۷) فرمول (۲) را پیشنهاد کرده است:

معادله ۲:

$$T_c = \frac{7341}{3.355 + 2.44 \cdot X_{Fe}^{OPX} - \ln K} - 273.15$$

معادله ۳:

$$P(\text{kbar}) = -\frac{T(K)}{126.9} \cdot \ln[a_{\text{CaCrTs}}^{\text{Cpx}}] + 15.483 \cdot \ln\left(\frac{\text{Cr}\#\text{Cpx}}{T(K)}\right) + \frac{T(K)}{71.38} + 107.8$$

$$a_{\text{CaCrTs}}^{\text{Cpx}} = \text{Cr} - 0.81 \cdot \text{Cr}\# \cdot (\text{Na} + \text{K})$$

$$\text{Cr}\# = \left(\frac{\text{Cr}}{\text{Cr} + \text{Al}}\right)$$

فشار به دست آمده برای لرزولیت بدین ترتیب $27 \pm 2/4$ کیلو بار، برای هارزبورژیت $29 \pm 2/4$ کیلو بار و برای دونیت‌ها $26 \pm 2/4$ است (جدول ۱۱).

نتیجه گیری

مشاهدات پتروگرافی نشان می‌دهد که در لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت‌های گوشته افیولیت لوگر، ارتوپروکسن و کلینوپروکسن‌ها زودتر از کانی‌های الیوین و اسپینل تشکیل شده‌اند، و در کرومیتیت‌ها تبلور همزمان الیوین و اسپینل‌های کروم‌دار دیده می‌شود.

کروم اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌ها، ورمیکولار، بی‌شکل با اندازه‌های کوچک هستند، در هارزبورژیت نیمه شکل دار، بزرگ‌تر و کمی تیره‌تر می‌شوند و در دونیت‌ها خودشکل‌تر و تیره‌تر از هارزبورژیت‌ها می‌شوند.

منابع

- پیرنیا، ت. (۱۳۸۶) پترولوژی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
- ترابی، ق.، عبداللهی، ا.، شیردشت‌زاده، ن. (۱۳۷۸) استفاده از آنالیز کانی‌ها و سنگ کل در تشخیص پتروژنز گذازه‌های بالشی افیولیت نایین. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۶(۲): ۲۹۵ - ۳۱۲.
- موسی‌زی، ا. م. (۱۳۷۳) تحقیق پیرامون اولترابازیت‌های افغانستان و منیرالیزاسیون صنعتی آنها. پایان‌نامه علمی - تحقیقاتی دکتری، وزارت تحصیلات عالی افغانستان، کابل، افغانستان.
- Arai, S. (1994) Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships, Review and Interpretation. *Chemical Geology* 113: 191-204.
- Barnes, S. J. and Roeder, P. L. (2001) The range of spinel composition in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *Journal of Petrology* 42: 2279-2302.

الیوین‌های موجود در لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت‌های پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر، آذرینی و اولیه نبوده بلکه الیوین‌های ریز دانه جایگزینی حاصل از ذوب نامتجانس ارتوپروکسن‌ها هستند. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت لوگر می‌توان گفت که پریدوتیت‌های مورد بررسی گوشته‌ای و به گوشته زیر پوسته اقیانوسی مربوط هستند. محتوای کم Al_2O_3 ارتوپروکسن‌ها و کلینوپروکسن‌ها و Na_2O کلینوپروکسن‌ها نشان‌دهنده درجه بالای ذوب‌بخشی واحدهای سنگی گوشته لوگر است. دماسنجی زوج کانی کلینوپروکسن - ارتوپروکسن برای لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت با استفاده از فرمول ارائه شده توسط Wood و Banno (۱۹۷۳) به ترتیب 1030 ، 1034 و 1079 درجه سانتی‌گراد و با روش Wells (۱۹۷۷) به ترتیب دماهای 914 ، 923 و 968 درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. فشار به دست آمده از روش ارائه شده توسط Nimis و Taylor (۲۰۰۰) برای لرزولیت $27 \pm 2/4$ کیلو بار، برای هارزبورژیت $29 \pm 2/4$ کیلو بار و برای دونیت‌ها $26 \pm 2/4$ محاسبه شده است.

- Bonatti, E., Peyve, A., Kepzhinshinkas, P., Kurentsova, N., Seyler, M., Skolotnev, S. and Udintnev, G. (1992) Upper mantle heterogeneity below the Mid-Atlantic Ridges, 0-15°N. *Journal of Geophysical Research* 97: 4461-4476.
- Cannat, M. and Seyler, M. (1995) Transform tectonics metamorphic plagioclase and amphibolitization in ultramafic rocks of the Vema transform fault (Atlantic Ocean). *Earth and Planetary Science Letters* 133: 283-298.
- Cannat, M., Bideau, D. and Bougault, H. (1992) Serpentinized peridotites and gabbros in the Mid-Atlantic Ridge axial valley at 15°37'2" N and 16°52'2" N. *Earth and Planetary Science Letters* 109: 87-106.
- Conrad, W. K. and Kay, R. W. (1984) 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: 88-125.
- Constantin, M., Hekinian, R., Ackermann, D. and Stoffers, P. (1995) Mafic and ultramafic intrusions into upper mantle peridotites from fast spreading centers of the Easter Microplate (South east Pacific). In: R. L. M., Vissers and A., Nicolas (Eds.): *Mantle and Lower Crust Exposed in Oceanic Ridges and Ophiolites*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer 71-120.
- Dick, H. J. B. and 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.
- Droop, G. T. R. (1987) A general equation for estimating Fe⁺³ concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* 51: 431-435.
- Ezbroshnikov, E. M., Dronikov, V. C. and Billan, E. K. (1974) Ore mineral and geological structure of south and south west of Afghanistan (Parts of 500 III, IV, 700 – I, 600 – II, IV Sheet maps), Kabul. D. G. R. P. E. Institute.
- Haggerty, S. E. (1988) Upper mantle opaque mineral stratigraphy and the genesis of metasomatites and alkali-rich melts. *Journal of Geological Society of Australia* 14: 687-699.
- Hirose, K. and Kawamoto, T. (1995) Hydrous partial melting of lherzolite at 1 Gpa: effect of H₂O on the genesis of basaltic magmas. *Earth and Planetary Science Letters* 133: 463-473.
- Ishii, T., Robinson, P. T., Maekawa, H. and Fiske, M. (1992) Petrological studies of peridotites from diapiric serpentinite seamounts in Izu-Ogazawara-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 445-485.
- Johnson, K. T. M. and Dick, H. J. B. (1992) Open system melting and temporal spatial variation of peridotite and basalt at the Atlantis II Fracture Zone. *Journal of Geophysical Research* 97: 9219-9241.
- Johnson, K. T. M., Dick, H. J. B. and Shimizu, N. (1990) Melting in the oceanic upper mantle: an ion microprobe study of diopside in abyssal peridotites. *Journal of Geophysical Research* 95: 2661-2678.
- Kepezhinskas, P. K., Defant, M. J. and Drummond, M. S. (1995) Na metasomatism in the island-arc mantle by slab melt-peridotite interaction: evidence from mantle xenoliths in the North Kamchatka arc. *Journal of Petrology* 36: 1505-1527.
- Klootwijk, C. T. (1979) A review of Paleomagnetic data from the Indo-Pakistani fragment of Gondwanaland. In: A., Farah and K. A., DeJong (Eds.): *Geodynamic of Pakistan*. Geological Survey of Pakistan 41-80.
- Kornprobst, J., Ohnenstetter, D. and Ohnenstetter, M. (1981) Na and Cr contents in Cpx from peridotites: a possible discriminant between sub-continental and sub-oceanic mantle. *Earth and Planetary Science Letters* 53: 241-254.
- Kretz, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 227-279.

- Maurel, C. and Maurel, P. (1982) Étude expérimentale de la distribution de l'aluminium entre bain silicaté basique et spinelle chromifère. Implications pétrogénétiques: teneur en chrome des spinelles. *Bulletin de Minéralogie* 105: 197-202.
- Miyashiro, A. (1975) Classification, characteristics and origin of ophiolites. *Geology* 83: 249-281.
- Monnier, C., Girardeau, J., Maury R. and Cotton, J. (1995) Back-arc basin origin for the East Sulawesi ophiolite (eastern Indonesia). *Geology* 23: 851-854.
- Morimoto, N. (1989) Nomenclature of pyroxenes. *Canadian Mineralogist* 27: 143-156.
- Nimis, P. and Taylor, W. R. (2000) Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer. *Contributions of Mineralogy and Petrology* 139: 541-554.
- Pearce, J. A., Lippard, S. J. and Roberts, S. (1984) Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. In: B. P., Kokelaar and M. F., Howells (Eds): *Marginal Basin Geology*. Geological Society of London Special Publication 16: 77-96.
- Ross, K. and Elthon, D. (1997) Extreme incompatible trace-element depletion of diopside in residual mantle from south of the Kane fracture Zone. In: J. A., Karson, M., Cannat, D. J., Miller and D., Elthon (Eds.): *Proceedings of the Ocean Drilling Project Scientific Results 153*. ODP, College Station, TX 277-284.
- Schindler, S. J. (2002) Afghanistan, Geology in a troubled land. *Geo times* 14 -18.
- Shareq, A., Voinov, V. N., Nevretdinov, E. B., Kubatkin, L. V. and Gusav, I. A. (1980) The Logar ultrabasite massif and its reflection in the magnetic field (east Afghanistan). *Tectonophysics* 62: 1-5.
- Tapponnier, P. and Molnar, P. (1976) Slip-line field theory and large-scale continental tectonics. *Nature* 264: 319-324.
- Tapponnier, P., Mattauer, M., Proust, F. and Cassaigneau, C. (1981) Mesozoic ophiolites, sutures, and large scale tectonic movement in Afghanistan. *Earth and Planetary Science Letters* 52: 355-371.
- Wells, P. R. A. (1977) Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 62: 129-139.
- Wood, B. J. and Banno, S. (1973) Garnet-Orthopyroxene and Orthopyroxene-Clinopyroxene Relationships in Simple and Complex Systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 42: 109-124.

Mineral chemistry of mantle peridotites from Loghar ophiolite (Southwest of Kabul - Afghanistan)

Gholamhossein Nazari, Ghodrat Torabi * and Mahmoud Khalili

Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

The Loghar ophiolite is located in ophiolitic belt of Kabul block (southeast of Afghanistan) and it is a part of Neotethyan ophiolites in Alpine - Himalayan orogenic system with Eocene age. Olivine, orthopyroxene, clinopyroxene and spinel are rock forming minerals of Loghar ophiolite mantle peridotite. Most of the olivines from different rock types are serpentinized but some fresh are present with forsterite composition. Orthopyroxene and clinopyroxene are enstatite (Mg# 0.961-0.972) and diopside (Mg# 0.976-0.999) in composition. The Cr# of vermicular and unihedral spinels of lherzolite and subhedral reddish brown spinels of harzburgite are 0.547 and 0.625 respectively. The Cr# of subhedral to euhedral spinels of dunite is 0.477, induced by high content of Al_2O_3 and low level of Cr_2O_3 . The Cr# of dark red and euhedral spinel of chromitite is 0.633. The peridotites of the studied area belong to sub-oceanic crust mantle. The low content of Al_2O_3 in pyroxenes (opx and cpx) and the low amount of Na_2O in clinopyroxene indicate high degree of partial melting of mantle peridotites. The chemical composition of minerals in dunites are different from that of lherzolite and harzburgite but present considerable similarity with that of the pillow lavas. The dunites of Loghar mantle peridotite (LMP) do not share features with those derived by partial melting, but represent sub lithospheric melt channels.

Key words: Loghar ophiolite, Mantle peridotite, Eocene, Afghanistan

* torabighodrat@yahoo.com