

Mineralogical studies in Razdar ultramafic – mafic complex (South of Kerman province)

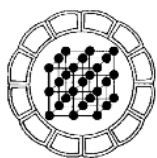
H. Ahmadipour

*Dept. of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar Univ. of Kerman.
E-Mail: Hahmadi@mail.uk.ac.ir*

(received: 27/7/2002, received in revised form: 29/6/2003)

Abstract: Razdar ultramafic–mafic complex is located in south of Kerman province and contains ultramafic (dunite with chromitite, lherzolite, wehrlite, websterite and olivine websterite) and mafic (gabbro) rocks. The most important minerals in this complex are olivine, chromospinel, orthopyroxene, clinopyroxene, plagioclase and amphibole. Mineralogical studies indicate that chemical composition of these minerals from lower to upper parts of Razdar complex has distinctive variation. That is, with variation of rocks from ultramafic to mafic, Mg-contents in ferromagnesian minerals decrease and the minerals become more mafic. Comparison of chemical composition of major minerals in Razdar with other ultramafic association in the world reveals that ultramafic part of Razdar complex likely belongs to upper mantle that has been emplaced in present position by major faults.

Keywords: *Ultramafic rocks, Chromitite.*



بررسی کانی شناسی مجموعه اولترامافیک - مافیک رزدر (جنوب استان کرمان)

حمید احمدی پور

دانشگاه شهید باهنر کرمان - دانشکده علوم - گروه زمین شناسی.

پست الکترونیکی: Hahmadi@mail.uk.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۱/۵/۵ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۲/۴/۸)

چکیده: مجموعه اولترامافیک - مافیک رزدر واقع در جنوب استان کرمان از نظر سنگ شناسی شامل سنگهای اولترامافیک (دونیت، کرومیتیت، لرزولیت، ورلیت، وبستریت و الیوین وبستریت) و سنگهای مافیکی همچون گابرو است. مهمترین کانیهای این مجموعه را الیوین، اسپینل، ارتوپیروکسن، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول تشکیل داده‌اند. بررسی‌های کانی‌شناسی نشان داد که ترکیب شیمیایی این کانیها در مجموعه رزدر از بخشهای پائین تا بالا تغییرات محسوسی را نشان می‌دهد، به طوری که با تغییر ترکیب سنگها از اولترامافیک به مافیک، ترکیب کانیها از منیزیم فقیرتر شده و به سمت مافیک تغییر می‌کند. مقایسه ترکیب شیمیایی کانیهای اصلی مجموعه رزدر با مجموعه‌های اولترامافیک شناخته شده در جهان، نشان می‌دهد که بخش اولترامافیک مجموعه رزدر می‌تواند احتمالاً بخشی از گوشته فوقانی باشد که به وسیله گسلهای عمیق، به صورت یک تراشه در موقعیت فعلی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: سنگهای اولترامافیک، کرومیتیت.

مقدمه

توده اولترامافیک- مافیک رزدر در فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان بافت (از استان کرمان) و در منطقه اسفندقه (۲۵ کیلومتری جنوب شرقی روستای دولت آباد از توابع بافت)، قرار گرفته است. این توده از شمال با یک مرز مشخص زیر مجموعه‌های سرگز- آبشور [۱] متعلق به دگرگونی‌های زون سنندج- سیرجان و از جنوب با یک مرز گسلی در کنار آمیزه رنگین شیخ عالی قرار دارد. هدف از این مقاله بررسی کانی‌شناسی و تغییرات ترکیب کانیها در این مجموعه است و نیز با استفاده از این داده‌ها سعی شده است تا خاستگاه توده رزدر مورد بررسی قرار گیرد.

روش بررسی

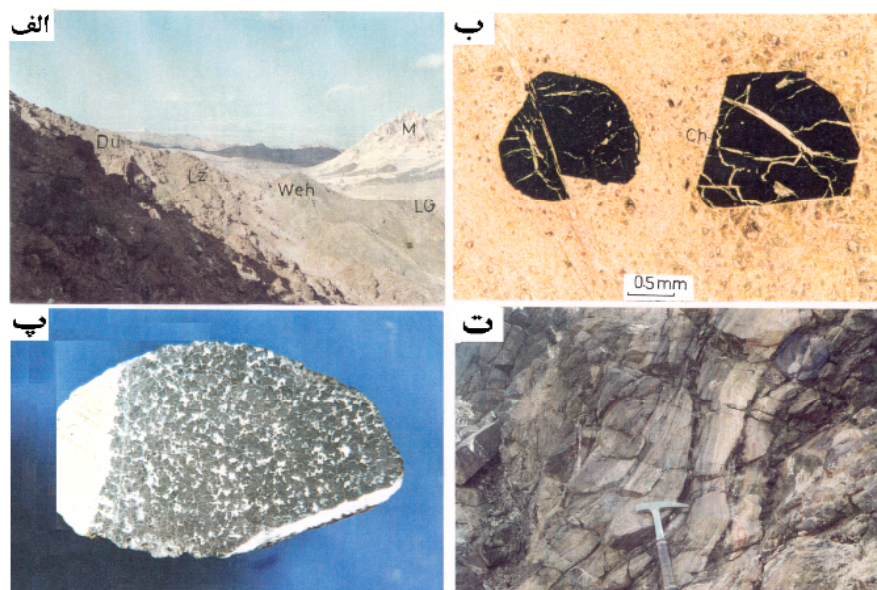
در این بررسی پس از کارهای صحرایی و تهیه نقشه‌ای با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰، نمونه‌برداری صورت گرفت و سپس از نمونه‌ها مقاطع نازک صیقلی تهیه و کانیهای مختلف مورد بررسی میکروپروب قرار گرفتند. این بررسی‌ها با استفاده از یک دستگاه میکروسوند الکترونی CAMEBAX SX50 در دانشگاه ژوسیوی پاریس صورت گرفت، و طی آن درصد وزنی اکسیدهای عناصر اصلی و نیز Cr_2O_3 ، NiO در کانیها اندازه‌گیری شدند. زمان اندازه‌گیری برای اکسیدهای عناصر اصلی ۱۰ ثانیه و برای عناصر فرعی ۲۰ ثانیه بوده است.

زمین شناسی

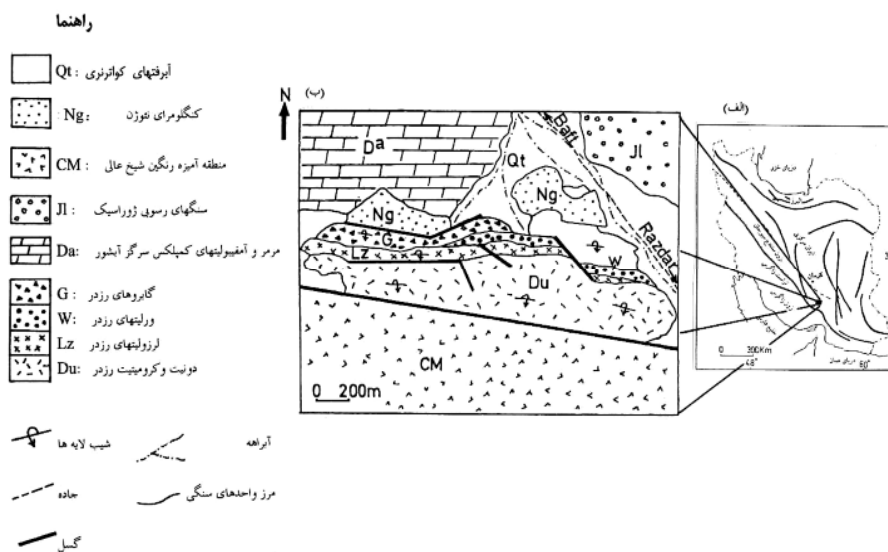
تابلو ۱ توالی سنگ شناسی موجود در مجموعه رزدر را نشان می‌دهد. در این منطقه واحدهای سنگی زیر را می‌توان مشاهده کرد:

الف) آمیزه رنگین که شامل سنگهای رسوبی، آذرین و دگرگونی شامل سرپانتینیت، گلوکوفان شیست، شیل، ماسه سنگ و آهکهای پلاژیک است. این آمیزه رنگین با یک گسل وارون در کنار توده اولترامافیک- مافیک رزدر قرار گرفته است. راستای این گسل تقریباً شرقی- غربی است و شیب آن به سمت جنوب است (شکل ۱).

ب) دگرگونی‌های زون سنندج- سیرجان که در شمال توده رزدر قرار گرفته‌اند و مرز آنها با آبرفت پوشیده شده است. واحد مورد نظر در این منطقه حاوی آهکهای دگرگون شده و لایه لایه‌ای است که حاوی میان لایه‌هایی از آمفیبولیت می‌باشند. این سنگها در منطقه اسفندقه به نام مجموعه‌های سرگز- آبشور نامگذاری شده‌اند [۱]. لایه‌های مجموعه مورد نظر با راستای شرقی- غربی و شیبی در حدود 40° به سمت جنوب، روی مجموعه رزدر قرار گرفته‌اند و در شکل ۱ با علامت Da مشخص شده‌اند. در تصویر ۱-الف این بخش با رنگ سفید و علامت M نشان داده شده است.



تصویر ۱ الف) توالی سنگ شناسی موجود در مجموعه زردر Du: واحد دونیت- کرومیتیت، LZ: واحد لوزولیتی، Weh: واحد ورلیتی، LG: واحد گابرویی، M: مرمرها و آمفیبولیت‌های مجموعه‌های دگرگونی زون سنندج - سیرجان. ب) دونیت‌های زردر و بلورهای شکل‌دار کروم اسپینل (ch). پ) کرومیتیت‌های زردر که به رنگ سیاه دیده می‌شوند و در بین آنها الیوینهای سرپانتینی شده به رنگ سفید قرار گرفته‌اند. ت) گابروهای زردر.



شکل ۱ الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران. ب) نقشه زمین شناسی تودر زردر.

ج) توده اولترامافیک- مافیک رزدر. این توده از سمت جنوب به شمال حاوی بخشهای مختلفی به شرح زیر است :

(۱) بخش دونیت-کرومیتیت. این بخش در پایینترین لایه‌های این توده قرار گرفته است و ضخامت آن به ۶۰۰ متر می‌رسد (تصویر ۱-الف). لایه‌بندی ضعیفی در آن به چشم می‌خورد که به صورت تناوبی از دونیت و کرومیتیت است. بیش از ۹۰ درصد آنرا دونیت تشکیل داده است که به صورت لایه‌هایی با ضخامت حداکثر ۵ متر و به رنگ زرد دیده می‌شوند. این سنگها، دگرسانی نسبتاً کمی را پشت سر گذاشته‌اند. بافت آنها دانه‌ای است و حاوی بلورهای درشت و بی‌شکل الیوین (با قطر حداکثر ۱ سانتی‌متر) هستند. الیوین‌ها تغییر شکل‌های شدیدی نشان می‌دهند و اغلب ماکل مکانیکی دارند. حاشیه بلورهای الیوین بیشتر به شکل منحنی بوده و نشانه‌هایی از تبلور دوباره دارند (به شکل مرزهای دانه‌ای). در این سنگها حداکثر، ۱ درصد کروم اسپینل وجود دارد. کروم اسپینل‌ها به صورت دانه‌های پراکنده سیاه‌رنگ شکلدار و نیمه شکلدار در مرز بلورهای الیوین یا در میان آنها دیده می‌شوند. قطر آنها حداکثر به ۱ میلی‌متر می‌رسد و حاوی شکستگی‌های فراوان هستند (تصویر ۱-ب).

کرومیتیت‌ها به صورت لایه‌های نازک به ضخامت حداکثر ۲۰ سانتی‌متر دیده می‌شوند. در این بخش حدود ۸ افق کرومیتیتی به ضخامت‌های مختلف وجود دارند که از بعضی از آنها کرومیت استخراج می‌شود. کرومیتیت‌ها فقط در بخش دونیتی قرار گرفته‌اند و بافت‌های مختلف ماگمایی (لایه لایه، دانه‌ای، متراکم و پوست‌پلنگی) در آنها دیده می‌شود. در بعضی موارد تقریباً تمامی سنگ از بلورهای کرومیت تشکیل شده و بین کرومیت‌ها را الیوین‌های سرپانتینی شده تشکیل داده‌اند (تصویر ۱-پ).

(۲) بخش لرزولیتی که در حدود ۵۰ متر ضخامت دارد، از سنگهای لرزولیتی درشت دانه تشکیل شده است. بلورهای این سنگها قطرشان به ۱ سانتی‌متر می‌رسد و بافتشان دانه‌ای است. لرزولیتها حاوی بیش از ۶۵ درصد الیوین، ۲۵ درصد ارتوپیروکسن و ۱۴ درصد کلینوپیروکسن هستند و حدود ۱ درصد اسپینل دارند. همه کانیها به شدت تغییر شکل یافته‌اند و یک سمت‌گیری ضعیف در آنها به چشم می‌خورد. بلورهای الیوین در این سنگها نیز دیده می‌شود، و ماکلهای مکانیکی شدیدی نشان می‌دهند. این کانیها به دو شکل دیده شدند: الیوین‌های درشت و الیوین‌های ریز که فضای بلورهای دیگر را پر کرده‌اند. بلورهای ریز می‌توانند محصول تبلور دوباره انواع درشت‌تر باشند.

ارتوپیروکسن‌ها نیز غالباً تغییر شکل یافته‌اند و حاوی تیغه‌های جدایشی از جنس کلینوپیروکسن و نوار شکنجی هستند. در مواردی بلورهای ریز الیوین در آنها دیده می‌شود. ارتوپیروکسن‌ها، هم به صورت بلورهای درشت دیده شده‌اند و هم به‌صورتی که بین الیوین‌ها را پر کرده‌اند. کلینوپیروکسن‌ها از لحاظ بافتی تقریباً همانند ارتوپیروکسنها هستند ولی مقدارشان

در سنگها کمتر است. اسپینل‌های این سنگها به صورت بلورهایی دیده می‌شوند که بین کانیهای سیلیکاتی را پر کرده و زیر میکروسکوپ به رنگ قهوه‌ای مایل به سبزند. قطر آنها به نیم میلی‌متر می‌رسد و شکستگی‌های فراوانی دارند.

(۳) بخش ورلیتی با ضخامت حداکثر ۱۰ متر که به رنگ خاکستری دیده می‌شود. این بخش حاوی بلورهای درشت کلینوپیروکسن (به قطر حداکثر ۱ سانتی‌متر) است. این بلورها بافت پوی کیلیتیک نشان می‌دهند و حاوی بلورهای گرد و دگرسان شده الیوین هستند. ترکیب مودال این سنگها شامل ۵۲٪ الیوین، ۴۵٪ کلینوپیروکسن، ۲٪ ارتوپیروکسن و ۱ درصد اسپینل می‌باشد. اسپینلها را به صورت بلورهای شکل‌دار فقط درون الیوین می‌بینیم. بافت این سنگها هترادکومولاست و بلورهای کومولوس الیوین به وسیله بلورهای درشت کلینوپیروکسن احاطه شده‌اند.

(۴) وبستریت‌ها و الیوین وبستریت‌ها از دیگر سنگهای موجود در این مجموعه هستند که در بخشهای بالاتر قرار گرفته‌اند. این سنگها حدود ۶۰٪ ارتوپیروکسن و ۴۰٪ کلینوپیروکسن دارند و مقدار کمی اسپینل به رنگ قهوه‌ای روشن در مرز بلورها دیده می‌شود (حداکثر ۱٪). بافت این سنگها دانه‌ای است و مرز بین بلورها تقریباً مستقیم و دانه‌ها با یکدیگر اتصال سه گانه دارند. گاهی تا ۱۰٪ الیوین در این سنگها دیده می‌شود که بین بلورهای پیروکسن را پر کرده و تغییر شکل نداده‌اند.

(۵) بخش گابرویی. در بالاترین بخش این مجموعه لایه‌هایی از گابرو دیده می‌شود که ضخامت و حجم کم (حداکثر ۲۰ متر) و لایه بندی فازی دارند. در این سنگها، کانیهای کلینوپیروکسن و آمفیبول از پلاژیوکلازها جدا شده و به صورت لایه‌های متناوب تیره و روشن در آمده‌اند (تصویر ۱-ت). سنگهای مورد نظر بافت‌های کومولایی نشان می‌دهند و حاوی تقریباً ۴۰ درصد کلینوپیروکسن، ۵۰ درصد پلاژیوکلاز، ۷-۵ درصد آمفیبول و تا ۳ درصد کانیهای تیره هستند. بافت این سنگها ادکومولاست، کانیهای کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز با یکدیگر در تعادل بوده و مرزهای مستقیم دارند. در لایه‌های تیره رنگ کلینوپیروکسن فاز کومولوس و پلاژیوکلاز فاز اینتر کومولوس است، اما در لایه‌های روشن که پلاژیوکلاز مقدارش به ۹۰٪ میرسد پلاژیوکلاز نیز فاز کومولوس را می‌سازد. بعلت عملکرد فازهای زمین ساختی در این منطقه، سنگهای مورد نظر دگرگون شده و مناطق برشی زیادی در آنها به چشم می‌خورد. در این مناطق مقدار زیادی آمفیبول جهت‌دار تشکیل شده است.

شیمی کانیها

در این مقاله کانیهای الیوین، اسپینل، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول از واحدهای مختلف مجموعه رزدر مورد تجزیه میکروپروب قرار گرفتند. نتایج این تجزیه‌ها در جدول ۱ آمده‌اند. در زیر به بررسی ترکیب شیمیایی هر یک از این کانیها می‌پردازیم.

(۱) الیوین. این کانی را در مجموعه رزدر از دونیت‌های زیرین تا ورلیت‌ها می‌توان مشاهده کرد ولی ترکیب آن در بخشهای مختلف متفاوت است. در دونیت‌ها الیوین دارای بیشترین مقدار فورستريت است (به‌طور متوسط ۳۱/۹۴ درصد)، اما این مقدار در الیوین‌های لرزولیتی کاهش می‌یابد (به‌طور متوسط ۲۵/۸۹ درصد). در حالی که در بخش دونیت-کرومیتیت، از پائین تا بالا تغییرات چندانی در مقدار فورستريت الیوین‌ها مشاهده نمی‌شود. در ورلیت‌ها باز هم مقدار فورستريت کاهش یافته و به‌طور متوسط به ۸۶/۸۶ درصد می‌رسد (جدول ۱-الف). در جدول ۱-الف مقدار کاتیونها بر اساس ۴ اکسیژن محاسبه شده است [۲]. مقدار نیکل در الیوین‌های بخشهای مختلف تغییرات زیادی نشان نمی‌دهد ولی در مجموع به‌طور متوسط مقدار آن در الیوین‌های دونیتی بیشتر از الیوین‌های ورلیتی است (شکل ۲). در هیچیک از بلورهای الیوین، منطقه‌بندی ترکیبی مشاهده نشد.

(۲) کروم اسپینل. در مجموعه رزدر، این کانی را در چهار واحد لیتولوژیکی می‌توان مشاهده کرد که ترکیب آن در هر واحد متفاوت است. در جدول ۱-ب ترکیب متوسط این کانی را در مجموعه رزدر به همراه فرمول ساختاری آن بر اساس ۳۲ اکسیژن [۲] می‌توان دید. انواع مختلف کروم اسپینل در مجموعه رزدر عبارتند از:

۲-الف) کروم اسپینل‌های موجود در لایه‌های کرومیتیت که حاوی بیشترین مقدار Cr_2O_3 (ب‌طور متوسط ۶۳/۱ درصد) و بیشترین مقدار $(Cr / Cr + Al)$ یا $(Cr\#)$ بین کروم اسپینل‌ها هستند (شکل ۳). در عوض مقدار Al_2O_3 در این کانیها کمتر از سایر اسپینل‌هاست ((ب‌طور متوسط ۸/۵۸ درصد وزنی) (جدول ۱-ب)). در کانیهای مورد نظر مقدار TiO_2 نسبت به سایر اسپینل‌ها نسبتاً بالاتر است و به‌طور متوسط به ۰/۱۸ درصد می‌رسد (شکل ۴). این کانیها منطقه‌بندی ترکیبی نشان نمی‌دهند.

۲-ب) کروم اسپینل‌های پراکنده موجود در دونیت‌ها که از لحاظ مقدار $Cr/Cr+Al$ با انواع قبلی یکسانند، ولی مقدار Cr_2O_3 آنها کمتر است (به‌طور متوسط ۵۸ درصد). مقدار Al_2O_3 در این کانیها کمی افزایش نشان می‌دهد (۱۱/۷ درصد) و نیز مقدار MgO در آنها کمتر است (۱۱/۹۸ درصد). به همین دلیل در شکل ۳ گستره جداگانه‌ای را ساخته‌اند. مقدار TiO_2 در این کانیها کاهش یافته و میانگین آن به ۰/۱۱ درصد می‌رسد.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی و فرمول ساختاری کانیهای مختلف مجموعه رزدر.

- الف) البوین (میانگین ۴۲ تجزیه)، محاسبه کاتیونها بر اساس ۴ اکسیژن.
 ب) اسپینل (میانگین ۵۴ تجزیه)، محاسبه کاتیونها بر اساس ۳۲ اکسیژن.
 پ) ارتوپیروکسن (میانگین ۱۶ تجزیه)، محاسبه کاتیونها بر اساس ۶ اکسیژن.
 ت) کلینوپیروکسن (میانگین ۴۴ تجزیه)، محاسبه کاتیونها بر اساس ۶ اکسیژن.
 ث) پلاژیوکلاز (میانگین ۱۲ تجزیه)، محاسبه کاتیونها بر اساس ۸ اکسیژن.
 ج) آمفیبول (میانگین ۱۳ تجزیه)، محاسبه کاتیونها بر اساس ۲۴ اکسیژن.

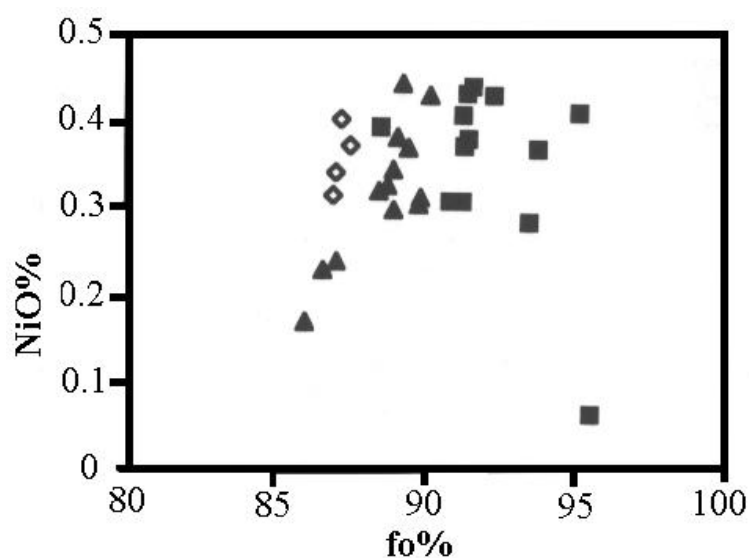
الف				ب					پ	
Litholog	Du	Lz	Weh	Litholog	Du	Chromi	Lz	Weh	Litholog	Lz
SiO ₂	۳۹,۲۴	۴۰,۹۱	۴,۳۷	SiO ₂	-	-	۰,۰۲	۰,۰	SiO ₂	۵۷,۱۵
TiO ₂	۰,۰۳	۰,۰۲	-	TiO ₂	۰,۱۱	۰,۱۸	۰,۱۳	۰,۰۲	TiO ₂	۰,۰
Al ₂ O ₃	-	۰,۰۱	۰,۰۲	Al ₂ O ₃	۷۰,۱۱	۸,۵۸	۳۴,۴۸	۴۶,۱۰	Al ₂ O ₃	۱,۴۱
FeO	۸,۷۴	۱۰,۷۸	۱۲,۴۳	FeO	۱۷	۱۴,۸	۲۲,۴۴	۱۵,۲۳	FeO	۷,۰۳
MnO	۰,۱۷	۰,۱۵	۰,۰۲	MnO	۰,۳	-	۰,۲۲	۰,۰۸	MnO	۰,۰۸
MgO	۵۱,۲۲	۴۸,۳۵	۴۶,۱۰	MgO	۱,۹۸	۱۳,۲۰	۱۱,۵	۱۸,۲	MgO	۳۳,۹۸
CaO	-	۰,۰۱	۰,۰۵	CaO	-	-	۰,۰۳	۰,۱۲	CaO	۰,۴
Na ₂ O	-	۰,۰۳	۰,۰۳	Cr ₂ O ₃	۵۸	۳,۱۲	۲,۸۷	۱۹,۳	Na ₂ O	-
K ₂ O	-	-	۰,۰۲	NiO	۰,۰۵	۰,۰۹	۰,۱۴	۰,۲	K ₂ O	۰,۳۷
Cr ₂ O ₃	۰,۰۹	۰,۰۱	-	SW%	۹۹,۴۳	۹۸,۸۵	۹,۱۸	۹۹,۵۸	Cr ₂ O ₃	-
NiO	۰,۴۳	۰,۳	۰,۳۲	Si(T)	-	-	۰,۰۲	۰,۰۸	NiO	۱۰۰,۵۱
S.W%	۹۹,۹۱	۱۰۰,۲۴	۹۹,۵۴	Ti(T)	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۲	SW%	۱,۹۶
Si(T)	۱,۱۴	۱	۱,۰۱	Al IV(T)	۲,۳۹	۲,۶۵	۹,۱	۷,۴۱	Si(T)	۰,۰۴
Al IV(T)	-	-	-	Fe ⁺² (O)	۲,۴۸	۲,۹۷	۳,۹۸	۴,۱۶	Al IV(T)	۰,۲۵
Fe ²⁺	۰,۰۹	۰,۲۲	۰,۲۶	Mn(O)	۰,۰۷	-	۰,۰۵	۰,۰۳	Fe ⁺²	۱,۷۶
Mn(O)	-	-	-	Mg(O)	۴,۴۵	۱۷	۳,۹۴	۴,۰۲	Mg(M ¹⁺)	۰,۰۱
Mg(O)	۱,۷۵	۱,۷۷	۱,۷۲	Ca(O)	-	-	۰,۰۶	۰,۰۱	Ca(M ²)	۰,۰۱
Ca(O)	-	-	-	Cr(O)	۱,۹۴	۱۳,۰۵	۸,۰۲	۷,۰۱	Cr(M ¹)	۸۸,۹۴
Na(O)	-	-	-	Ni(O)	-	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۱	En%	۱۰,۳۴
K(O)	-	-	-	Cr#*100	۷۸	۸۳	۴۰	۴۹	Fs%	۰,۷۲
Cr(O)	-	-	-	Mg#*100	۵۲	۶۱	۴۵	۴۲	Wo%	
Ni(O)	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱							
fo%	۹۴,۳۱	۸۹,۲۵	۸۶,۸۶							
fa%	۵,۶	۱۱	۱۳							

ت				ث		ج	
lithology	Lz	Weh	Gab	Lithology	Gabbro	Lithology	Gabbro
SiO ₂	۵۲٫۳۸	۵۱٫۶۷	۵۲٫۶۵	SiO ₂	۴۵٫۳۸	SiO ₂	۴۳٫۲
TiO ₂	۰٫۳۱	۰٫۲۴	۰٫۳۸	TiO ₂	-	TiO ₂	۲٫۸۵
Al ₂ O ₃	۳٫۶۹	۴٫۸۲	۱٫۶۹	Al ₂ O ₃	۳۴٫۸۹	Al ₂ O ₃	۱۱٫۵۶
FeO	۲٫۵۱	۳٫۳۲	۶٫۹۱	FeO	۰٫۰۴	FeO	۱۱٫۹۱
MnO	۰٫۱۲	۰٫۱۶	۰٫۳۶	MnO	-	MnO	۰٫۱
MgO	۱۶٫۱۶	۱۵٫۸۸	۱۴٫۴	CaO	-۱۷٫۸۹	MgO	۱۲٫۹۹
CaO	۲۳٫۷۸	۲۳٫۱۷	۲۲٫۵۸	Na ₂ O	۱٫۷	CaO	۱۱٫۱۸
Na ₂ O	۰٫۱۹	۰٫۲	۰٫۲۳	K ₂ O	-	Na ₂ O	۲٫۱۴
K ₂ O	-	۰٫۰۱	-	SW%	۹۹٫۹	K ₂ O	۰٫۵۸
Cr ₂ O ₃	۰٫۵۴	۰٫۷۸	۰٫۰۵	Si(T)	۲٫۰۷	Cr ₂ O ₃	۰٫۱
NiO	۰٫۰۵	-	۰٫۱۲	Ti(Octa)	-	NiO	۰٫۱
SW%	۹٫۷۳	۱۰۰٫۲۵	۹۹٫۳۷	Al 4(T)	۱٫۹۲	Total	۹۷٫۳۳
Si(T)	۱٫۹۲	۱٫۸۸	۱٫۹۶	Al 6(O)	-	Cat.st pos	
Ti(M1)	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	Fe ⁺³ (O)	-	Si IV	۶٫۲۱
Fe ⁺²	-	۰٫۰۹	-	Mg(O)	-	Al IV	۰٫۱۳
Mn(M2)	۰٫۰۸	-	۰٫۲۲	Ca(O)	۰٫۸۹	Ti IV	۰٫۳۱
Mg (M1+M2)	-	۰٫۸۷	۰٫۰۲	Na(O)	۰٫۱۴	Cr	۰٫۰۱
Ca(M2)	۰٫۹	۰٫۹۱	۰٫۷۸	K(O)	-	Fe ⁺²	۱٫۴۱
Na(M2)	۰٫۹۱	۰٫۰۲	۰٫۹۱			Mg	۲٫۷۸
Cr(M1)	-	۰٫۰۲	-	Kf	-	Ni	۰٫۰۱
Ni(M2)	۰٫۰۱	-	-	Ab	۱۴٫۱	Mn	۰٫۰۱
En%	۴۶٫۰۳	۴۶٫۱	۴۱٫۵۳	An	۸۵٫۹۹	Ca	۱٫۷
Fs%	۴٫۳۵	۵٫۴۵	۱۱٫۲			Na	۰٫۵۹
Wo%	۴۹٫۶۲	۴۸٫۳۷	۴۷٫۳۸			K	۰٫۱۱

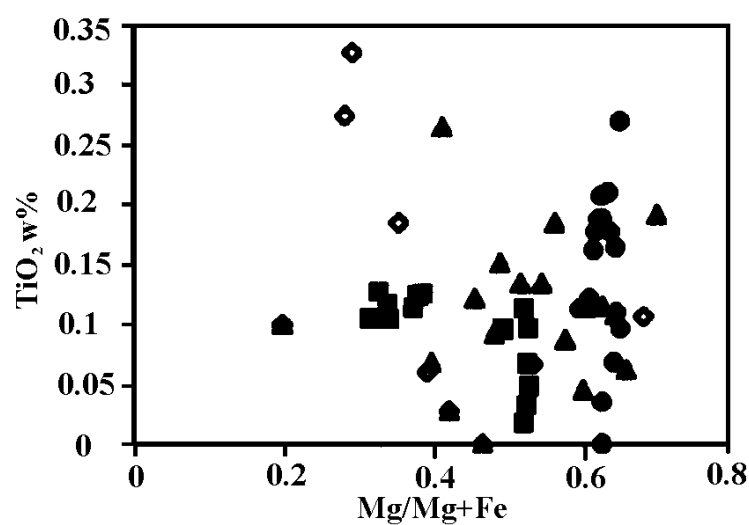
۲-ت) اسپینل‌های موجود در ورلیت‌ها از نظر شکل همانند انواع لِرزولیتی هستند، ولی مقدار Cr₂O₃ در آنها کاهش (به‌طور متوسط ۱۹٫۳ درصد) و مقدار Al₂O₃ افزایش چشمگیری (۴۶٫۱ درصد) دارد. در شکل ۳ این کانیه‌ها همراه اسپینل‌های لِرزولیتی قرار می‌گیرند و مقدار کمتری Cr/(Cr+Al) دارند.

۳) ارتوپروکسن. این کانی را به صورت بلورهای نسبتاً درشت (با قطر ۳ میلیمتر) درون لِرزولیت‌ها می‌توان مشاهده کرد که غالباً تغییر شکل یافته است و حاوی تیغه‌های جدایشی از

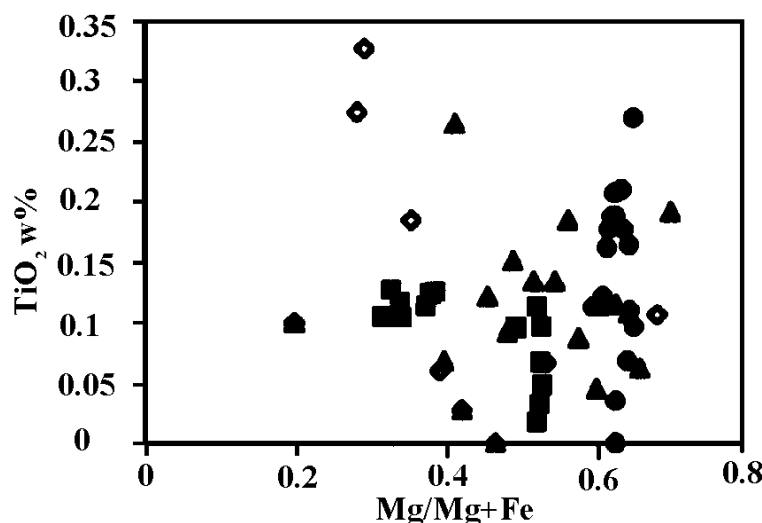
کلینوپیروکسن است. از لحاظ شیمیایی، مقدار انستاتیت در این کانی برابر با ۸۸/۹۴ درصد و مقدار فروسیلیت در آن ۱۰/۳۴ درصد است و بلورهای آن در شکل ۵ در گستره انستاتیت قرار می‌گیرند. مقدار Al_2O_3 در این کانیها به‌طور متوسط ۱/۴۱ درصد است (جدول ۱-ب)، ولی پراکندگی زیادی نشان می‌دهد.



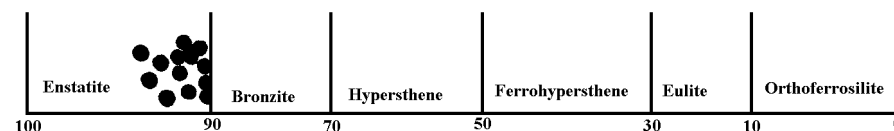
شکل ۲ تغییرات NiO در مقابل درصد فورستريت در الیون‌های مجموعه زردر الیون‌های دونیتها (●)، الیون‌های لرزولیتها (▲)، الیون‌های ورلیتها (◊).



شکل ۳ تغییرات نسبت $Cr/Cr+Al$ در مقابل $Mg/Mg+Fe$ در اسپینل‌های مجموعه زردر اسپینل‌های دونیتها (■)، اسپینل‌های لرزولیتها (▲)، اسپینل‌های ورلیتها (◇)، اسپینل‌های کرومیتیتها (●).



شکل ۴ تغییرات درصد وزنی TiO_2 در مقابل $Mg/Mg+Fe$ در اسپینل‌های مجموعه زردر اسپینل‌های دونیتها (■)، اسپینل‌های لرزولیتها (▲)، اسپینل‌های ورلیتها (◇)، اسپینل‌های کرومیتیتها (●).

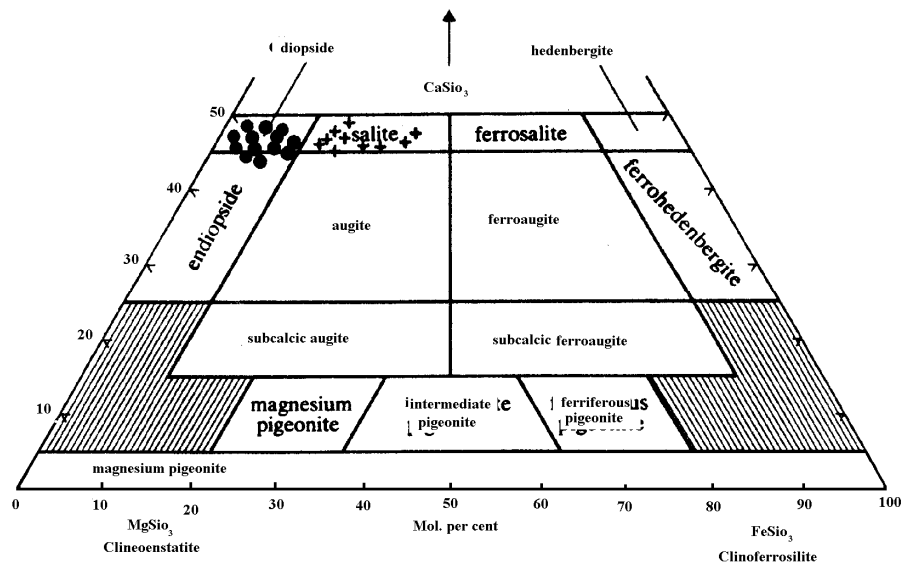


شکل ۵ موقعیت ارتوپیرکسنهای مجموعه زردر را در نمودار انستاتیت-ارتوفروسیلیت [۱۶] نشان می‌دهد. همه نمونه‌ها در محدوده انستاتیت قرار می‌گیرد.

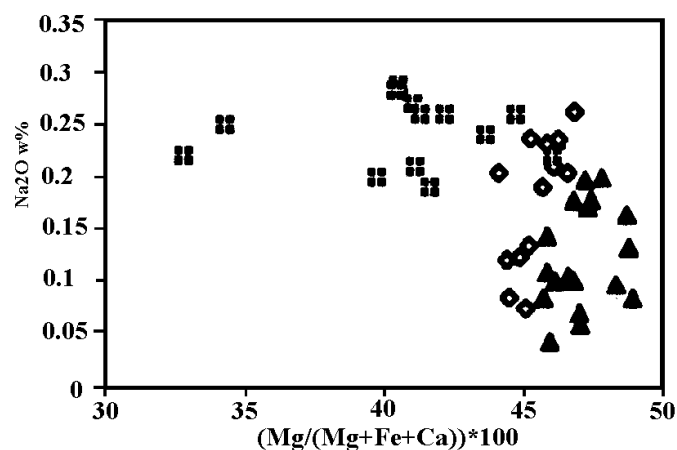
(۴) کلینوپیروکسن. این کانی را می‌توان در لرزولیت‌ها، ورلیت‌ها و گابروها مشاهده کرد. ترکیب آن در هر واحد با واحدهای دیگر تفاوت دارد. (جدول ۱-ت). از بخش‌های زیرتر، یعنی از ورلیت‌ها به سمت بالا، مقدار MgO در کلینوپیروکسن کاهش نشان می‌دهد، به‌طوری که از ۱۶/۱۶ درصد در لرزولیت‌ها به ۱۴/۴ درصد در گابروها می‌رسد. فرمول ساختاری پیروکسینها بر اساس اکسیژن محاسبه شده است.

مقدار نسبت $Mg/(Mg+Fe+Ca)$ در کلینوپیروکسن‌های موجود در لرزولیت‌ها به طور متوسط ۴۶ درصد است. در ورلیت‌ها این مقدار به ۴۶/۱ و در گابروها به ۴۱/۵۳ درصد می‌رسد (جدول ۱-ت). در شکل ۶، کلینوپیروکسن‌های موجود در لرزولیت‌ها و ورلیت‌ها در میدان دیوپسید و کلینوپیروکسن‌های گابرویی در گستره سالیست قرار می‌گیرند. چنانکه در شکل ۷ دیده می‌شود، در کلینوپیروکسن‌های مجموعه زردر مقدار درصد Na_2O تغییرات محسوسی

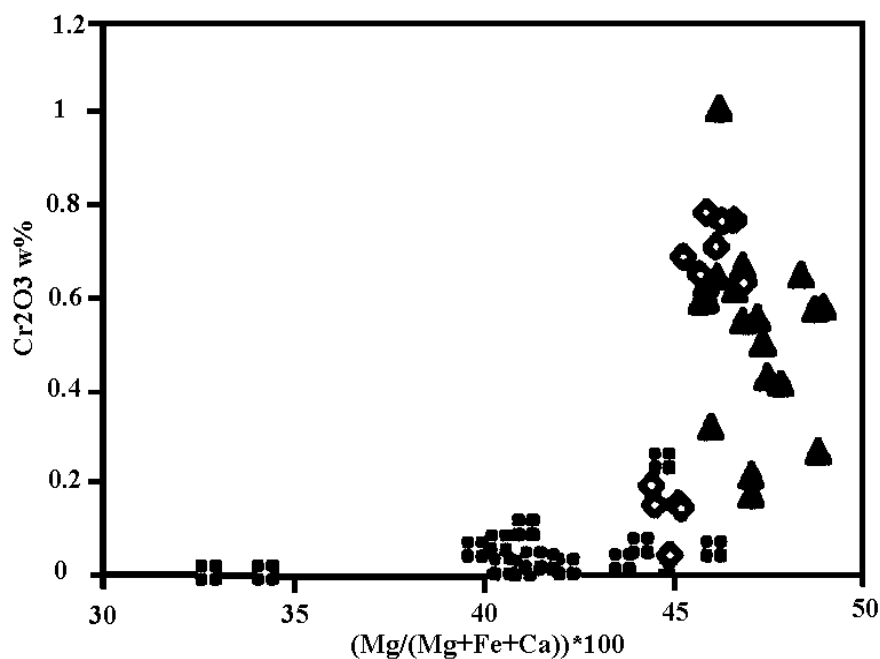
نشان می‌دهند. کمترین مقدار Na_2O مربوط به کلینوپیروکسن‌های لرزولیتی (به‌طور متوسط ۰/۱۹ درصد) و بیشترین مقدار مربوط به کلینوپیروکسن‌های گابرویی است (۰/۲۳ درصد). بین کانیهای موجود در سنگهای اولترامافیک، بهترین حامل کروم، کانی کلینوپیروکسن است [۳ تا ۶]. مقدار این اکسید در کلینوپیروکسن‌های مجموعه رزدر از لرزولیت‌ها (۰/۵۴ درصد) تا گابروها (۰/۰۵ درصد) کاهش نشان می‌دهد. این رفتار را در شکل ۸ توضیح می‌توان مشاهده کرد. مقدار Cr_2O_3 در بعضی از بلورهای کلینوپیروکسن موجود در ورلیت‌ها حتی بیش از انواع موجود در لرزولیت‌هاست. این بلورهای غنی از Cr_2O_3 می‌توانند در اثر واکنش با آبگونیهای آغشته کننده غنی از کروم با پریدوتیت‌های گوشته‌ای به وجود آیند [۷ و ۸].



شکل ۶ موقعیت کلینوپیرکسنهای مجموعه رزدر در نمودار کلینوپیرکسنها [۲]. کلینوپیرکسنهای لرزولیتها و ورلیتها (●)، کلینوپیرکسنهای گابروها (+).



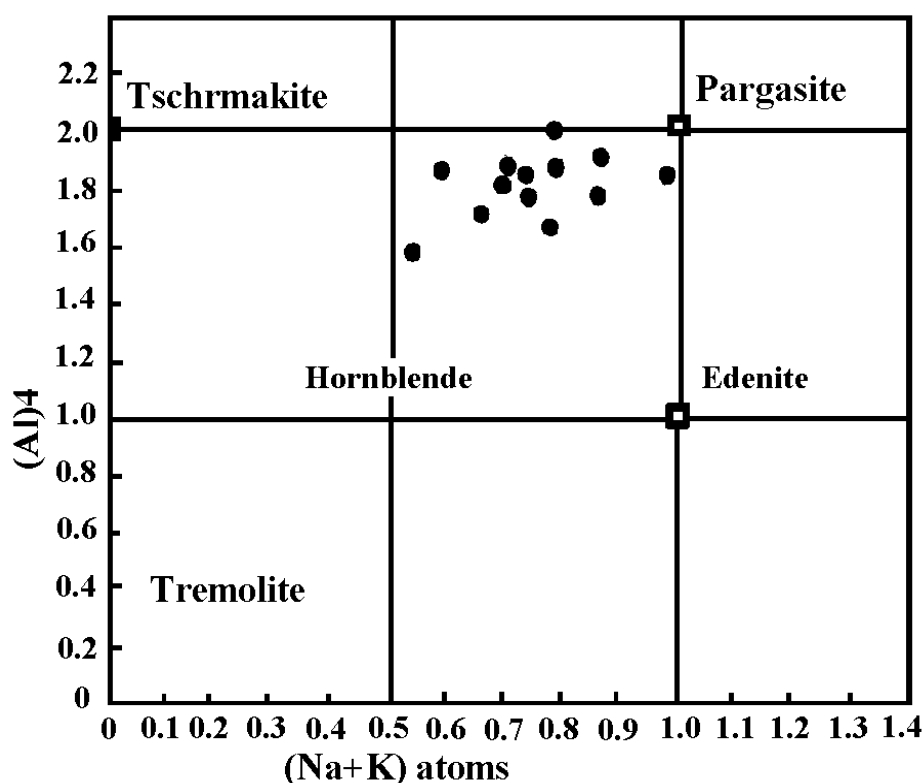
شکل ۷ تغییرات درصد وزنی Na_2O در مقابل نسبت $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Ca})$ در کلینوپیرکسنهای مجموعه زردر. کلینوپیرکسنهای لرزولیتها ($\blacktriangle$)، کلینوپیرکسنهای ورلیتها ($\diamond$)، کلینوپیرکسنهای گابروها ($\blacksquare$).



شکل ۸ تغییرات درصد وزنی Cr_2O_3 در مقابل نسبت $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Ca})$ در کلینوپیرکسنهای مجموعه زردر. کلینوپیرکسنهای لرزولیتها ($\blacktriangle$)، کلینوپیرکسنهای ورلیتها ($\diamond$)، کلینوپیرکسنهای گابروها ($\blacksquare$).

(۵) پلاژیوکلاز. این کانی را به صورت بلورهایی با قطر حداکثر ۲ میلیمتر در گابروها می‌توان مشاهده کرد. بررسیهای کانی‌شناسی روی این بلورها نشان داد که منطقه بندی ترکیبی

مشخصی در آنها دیده نمی‌شود و اغلب از نوع کلسیک هستند (جدول ۱-ث) که در آن کاتیونها بر اساس ۸ اکسیژن محاسبه شده‌اند). میانگین مقدار Na_2O در این بلورها ۱٫۷ درصد است، در حالیکه مقدار K_2O کمتر از حد اندازه گیری دستگاه است. مقدار درصد آنورتیت در این کانیها به‌طور متوسط ۸۵٫۹۹ و مقدار سازند آل بیت ۱۴٫۱ درصد است و این کانی‌ها در نمودار مثلثی آل بیت- آنورتیت- ارتوز روی ضلع آل بیت- آنورتیت و در گستره بیتونیت قرار می‌گیرند. (۶) آمفیبول. این کانی را فقط در گابروها می‌توان دید و حاصل دگرسانی کلینوپیروکسن‌هاست. زیرا در حاشیه آنها تشکیل شده است. گاهی بلورهای کلینوپیروکسن به‌طور کامل به وسیله این کانی جانشین شده‌اند. در نمودار $[\text{Al}]^{4+}$ در مقابل مجموع (Na+K) در شکل ۹، این کانیها بین پارگازیت و ادنیت قرار می‌گیرند [۹].



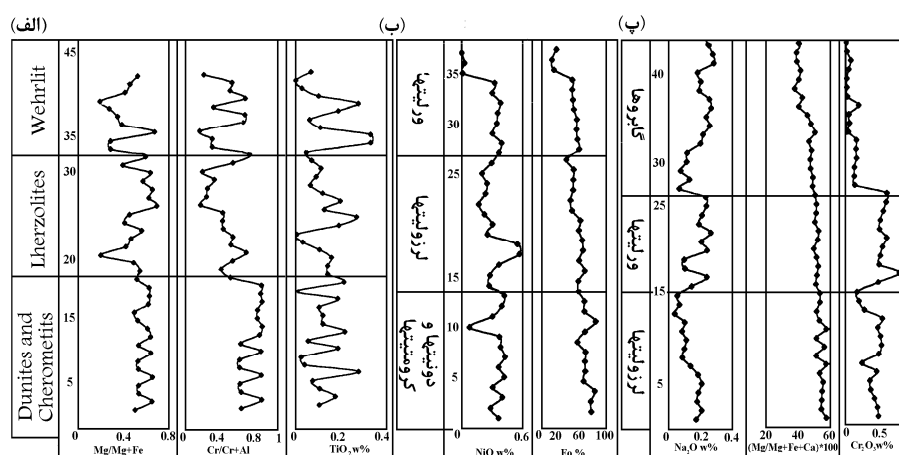
شکل ۹ نمودار تغییرات ترکیبی امفیبولها [۹] و موقعیت امفیبولهای مجموعه رزدر در آن.

تغییرات ترکیبی کانیها در مجموعه رزدر

نمونه‌گیری منظم از تمام بخشهای مجموعه رزدر از دونیت‌های زیرین تا گابروها نشان داد که ترکیب شیمیایی کانیها در بخشهای مختلف تفاوت محسوسی را نشان می‌دهد. در شکل

۱۰-الف تغییرات ترکیبی کروم اسپینل در بخشهای مختلف مجموعه زردر از پائین به بالا نشان داده شده‌اند. در زیرترین بخش این مجموعه، مقدار $Mg\#$ ($Mg/(Mg+Fe)$) در کروم اسپینل‌ها حالت زیگزاگ دارد. مقادیر بالاتر $Mg\#$ مربوط به کرومیت‌های بخش زیرین و مقدار $Mg\#$ کمتر به کروم اسپینل‌های پراکنده موجود در دونیت‌ها مربوط است. در منطقه لرزولیتی مقدار $Mg\#$ تغییرات زیاد و در ورلیت‌ها کاهش محسوسی دارد. نسبت $Cr/Cr+Al$ ($Cr\#$) از پائین به بالا در کروم اسپینل‌ها کاهش نشان می‌دهد.

در شکل ۱۰-ب تغییرات ترکیبی الیون در مجموعه زردر نمایش داده شده‌اند. چنانکه دیده می‌شود مقدار درصد وزنی NiO در الیون‌ها از پائین به بالا در مجموع کاهش یافته است. این حالت در مورد درصد فورستريت الیون‌ها نیز وجود دارد.



شکل ۱۰ تغییرات ترکیبی کانیهای مختلف مجموعه زردر از پایین‌ترین بخشها تا بالا. الف) تغییرات ترکیبی کروم اسپینل، ب) تغییرات ترکیبی الیون، پ) تغییرات ترکیبی کلینوپیرکسن.

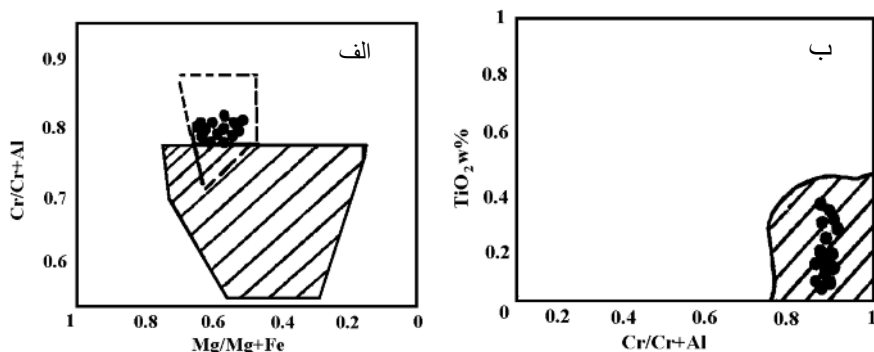
در شکل ۱۰-پ تغییرات ترکیبی کلینوپیروکسن در مجموعه زردر نشان داده شده‌اند. هر سه پارامتر یعنی درصد وزنی Na_2O ، Cr_2O_3 و نسبت $Mg/(Mg+Fe+Ca)$ در کلینوپیروکسن‌های مجموعه از پائین به بالا کاهش یافته‌اند.

بنابراین در مجموعه زردر ترکیب کروم اسپینل از بخشهای پائین تا بالا از کروم و منیزیم فقیر و از آلومینیوم غنی می‌شود. الیون‌ها نیز از پائین به بالا از نیکل فقیرتر شده و درصد فورستريت در آنها کاهش می‌یابد. در کلینوپیروکسن‌ها مقدار منیزیم و کروم از پائین به بالا کاهش و مقدار Na_2O افزایش نشان می‌دهد. این تغییرات به معنای آنست که کانیهای موجود در مجموعه زردر اغلب از ترکیب سنگهای میزبان پیروی کرده و ترکیب شیمیایی آنها بازتابی

است از ترکیب سنگ میزبان، به طوریکه تغییر ترکیب سنگها از اولترامافیک (دونیت) به مافیک (گابرو) را در ترکیب کانیهای آنها می توان دید.

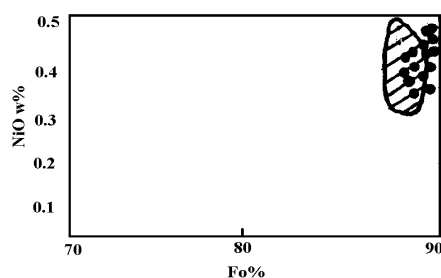
بررسی خاستگاه مجموعه رزدر با استفاده از ترکیب شیمیایی کانیهای آن

کرومیتیت های موجود در مجموعه رزدر که از نوع کرومیتیت های غنی از کروم و فقیر از آلومینیوم هستند در نمودار $Cr\#$ در مقابل $Mg\#$ (شکل ۱۱-الف) و نیز نمودار درصد وزنی TiO_2 در مقابل $Cr\#$ (شکل ۱۱-ب) در گستره کرومیتیت هایی قرار می گیرند که از ماگماهایی با ترکیب بونینیتی متبلور شده اند. عقیده بر این است که ماگماهای غنی از منیزیم و کروم می توانند در حین صعود از گوشته بالایی، این کرومیتیت ها را بر جای گذارند. به همین دلیل است که لایه های کرومیتیت، بافت های ماگمایی را به خوبی نشان می دهند [۱۰ تا ۱۲]. کرومیتیت های مجموعه رزدر از لحاظ شیمیایی شباهتی به انواع موجود در مجموعه های اولترامافیک لایه لایه [۱۳] ندارند. همچنین در این کرومیتیت ها بندرت می توان مانند کرومیتیت های بعضی از افیولیت ها [۱۴] کانیهای سولفیدی مشاهده کرد. بنابراین چنانکه در شکل ۱۱ دیده می شود، کرومیتیت های مجموعه رزدر می توانند احتمالا حاصل تبلور از ماگمایی باشند که ترکیب بونینیتی داشته و در یک توالی گوشته فوقانی تشکیل شده اند. اما در حال حاضر این ذخایر به صورت موازی با فولیاسیون سنگهای میزبان قرار گرفته اند. برای روشن شدن علت بروز چنین ساختاری، نیاز به بررسیهای ساختاری و ژئوشیمیایی بوده و از این بحث خارج است. مقدار درصد NiO و درصد فورستريت در الیوین های موجود در مجموعه رزدر نیز شباهت بسیار زیادی با الیوین های پریدوتیت های گوشته فوقانی دارد (شکل ۱۲) [۱۵]. در شکل ۱۳ ترکیب شیمیایی ارتوپروکسن های موجود در مجموعه رزدر در مقایسه با انواع موجود در پریدوتیت های گوشته بالایی [۶] دارای آلومینیوم کمتری بوده ولی مقدار TiO_2 ، Cr_2O_3 در آنها شبیه به پریدوتیت های گوشته ای است.

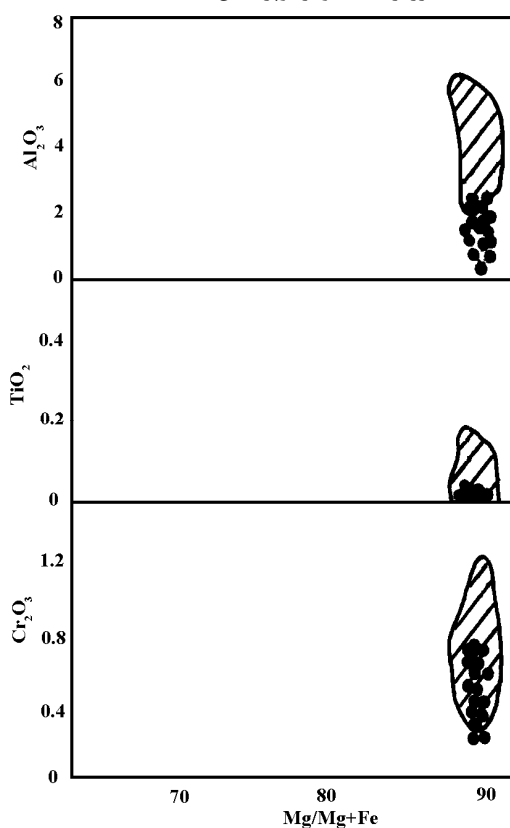


شکل ۱۱ الف) نمودار تغییرات $Cr/Cr+Al$ ($Cr\#$) در مقابل $Mg/Mg+Fe$ ($Mg\#$) [۶، ۱۵]. محدوده هاشورزده، به کرومیتیت های موجود در توده های نفوذی لایه لایه در نقاط مختلف دنیا تعلق دارد [۶].

محدوده خط‌چین به کرومیت‌های حاصل از تبلور ماگمای بونینیتی تعلق دارد [۱۵]. کرومیت‌های زردر با دوایر توپر نشان داده شده‌اند. ب) نمودار تغییرات درصد وزنی TiO_2 در مقابل (C#) [۱۵]. محدوده کرومیت‌های بونینیتی در این شکل با هاشور [۱۵] و کرومیت‌های مجموعه زردر با دوایر توپر نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۲ تغییرات درصد وزنی NiO در الیون‌های پریدوتیت‌های گوشه‌ای (محدوده هاشورزده [۶])، و پریدوتیت‌های زردر که با دوایر توپر نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۳ تغییرات اکسیدهای آلومینیوم، تیتانیوم و کروم در مقابل Mg# در ارتوپیرکسنهای موجود در پریدوتیت‌های گوشه‌ای (محدوده هاشورزده [۶]) و پریدوتیت‌های مجموعه زردر (دوایر توپر).

برداشت

الیون، کروم اسپینل، کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن مهمترین کانیه‌های تشکیل دهنده بخش زیرین مجموعه اولترامافیک- مافیک رزدر هستند. ترکیب شیمیایی این کانیه‌ها در مجموعه مورد نظر از پائین به بالا تغییرات محسوسی نشان می‌دهد، اما در مجموع مشابه مجموعه‌های گوشته‌ای شناخته شده در دنیاست. بنابراین با توجه به ترکیب کانی شناسی، می‌توان بخش اولترامافیک مجموعه رزدر را احتمالاً بخشی از گوشته فوقانی در نظر گرفت که به وسیله گسل‌های عمیق به صورت یک تراشه در موقعیت فعلی جایگزین شده است.

تشکر و قدردانی

در تهیه این مقاله از راهنمایی‌های ارزنده استاد محترم جناب آقای دکتر سبزه‌بی بهره گرفته شد، که بدین وسیله از ایشان قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1] Sabzehei M., *Les melange ophiolitiques de la region d'Esfandagheh*, these d'etat, Universite scientifique et medicale de Grenoble, France (1974) p. 306.
- [2] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *An Introduction to the rock forming minerals*, Longman scientific and technical (1965).
- [3] Michael P.J., Bonatti E., *Peridotite composition from the north Atlantic: regional and tectonic variation and implications for partial melting*, Earth and planetary science letters **73** (1985) pp. 91-104.
- [4] McDonough W.F., Frey F.A., *Rare earth elements in upper mantle rocks*, In: B.R. Lipin and G.A. McKay (Eds), *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*, Rev. in mineralogy, Min. Soc. Am. **21** (1989) pp. 99-145.
- [5] Eggings S.M., Rudnick R.L., McDonough W.F., *The composition of peridotites and their minerals: a laser ablation ICP-MS study*, Earth and planetary science letters **154** (1998) pp. 53-71.
- [6] Elton D., *Chemical trends in abyssal peridotites: referralization of depleted suboceanic mantle*, J. of geophysical research, **97(B6)** (1992) pp. 9015-9025.
- [7] Ceuleneer G., Rabinowicz M., *Mantle flow and melt migration beneath oceanic ridges: Models derives from observations in ophiolites*, In: *Mantle flow and melt generation at mid-Ocean ridges*, Geophysical monograph, American Geophysical union **71** (1992) pp. 123-154.

- [8] Kelemen P.B., *Reaction between ultramafic rock and fractionating basaltic magma, 1: phase relations, the origin of calc-alkaline magma series and the formation of discordant dunites*, Journal of petrology **31(2)** (1990) pp. 51-98.
- [9] Leak B.E., *Nomenclature of amphiboles*, Mineralogical magazine **42** (1978) 533-563.
- [10] Ahmed A.H., Arai S., Attia A.K., *Petrological characteristics of podiform chromitites and associated peridotites of the PanAfrican Proterozoic ophiolite complexes of Egypt*, Mineralum deposita **36** (2001) pp. 72-84.
- [11] Ceuleneer G., Monnereau M., Amri I., *Thermal Structure of a fossil mantle diapir inferred from the distribution of mafic cumulates*, Nature **379** (1996) pp. 149-153.
- [12] Dick H.J.B., Bullen T., *Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas*, contrib. Mineral. Petrology **86** (1984) pp. 54-76.
- [13] Spier C.A., Filho C.F.F., *The chromite deposits of the Bacuri mafic-ultramafic layered complex, Guyana shield, Amapa state, Brazil* Economic geology **96** (2001) pp. 817-835.
- [14] Proenza J.A., Gervilla F., Melgarejo J.C., Vera O., Alfonso P., Fallick A., *Genesis of sulfide-rich chromite ores by the interaction between chromitite and pegmatitic olivine-norite dikes in the Potosi Mine (Moa-Baracoa ophiolitic massif eastern Cuba)*, Mineralum deposita **36** (2001) pp. 568-669.
- [15] Elton D., Stewart M., Ross D.K., *Compositional trends of minerals in oceanic cumulates*, J. of geophysical research. **97(B11)** (1992) pp. 15189-15199.
- [16] Klein C., Hurlbut C.S., *Manual of mineralogy*, John Wiley and Sons, (1985) p. 596.