

دلایل اختلاف ترکیب کرومیتیت در افیولیت‌های نایین و عشین و نبود آن در افیولیت‌های انارک و جندق (استان اصفهان)

قدرت ترابی *

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

افیولیت‌های غرب ایران مرکزی بر دو گونه هستند: افیولیت‌های مزوزوییک (نایین و عشین)، و افیولیت‌های پالئوزوییک یا پرکامبرین (انارک و جندق). بررسی‌های صحرایی افیولیت‌های مزوزوییک نشان می‌دهد که این مجموعه‌های سنگی دارای کانسارهای کرومیت درخور توجهی بوده، در صورتی که کرومیتیت در افیولیت‌های انارک و جندق دیده نشده است. مطالعه کرومیتیت‌های موجود در افیولیت‌های مزوزوییک نیز نشان داده است که از دو نوع متفاوت هستند، بدین صورت که کرومیتیت‌های افیولیت نایین از نوع کرومیتیت‌های با Cr بالا بوده، در صورتی که کرومیتیت‌های افیولیت عشین از نوع کرومیتیت‌های با Al بالا هستند. دلایل فقدان کرومیتیت در افیولیت‌های انارک و جندق به لرزولیتی بودن سیستم گشته، نبود گسترش ذوب‌بخشی در سنگ‌های گشته و پویا نبودن گشته در تولید مذاب‌های جدید بر می‌گردد. دلیل تشکیل کرومیتیت‌های با ترکیب متفاوت در افیولیت‌های مزوزوییک نیز به اختلاف ترکیب ارتوپروکسن‌ها، مقادیر متفاوت درجات ذوب‌بخشی و اختلاف در ترکیب شیمیایی ماگمای در حال صعود مربوط می‌شود.

واژه‌های کلیدی: افیولیت، ایران مرکزی، پریدوتیت گشته، کرومیتیت

مقدمه

کلینوپروکسن‌ها و سپس ارتوپروکسن‌ها را ذوب می‌کند. ذوب کلینوپروکسن‌ها باعث افزوده شدن بازالت به ماگمای در حال صعود، و ذوب نامتجانس ارتوپروکسن‌ها باعث افزوده شدن SiO_2 به ماگمای در حال صعود، و افزوده شدن الیوین به سنگ دیواره می‌شود. بنابراین، رخداد واکنش‌های سنگ دیواره با مذاب در حال صعود، باعث ذوب پروکسن‌ها و تغییر

مطالعات برخی پژوهشگران مانند Kuo و همکاران (۱۹۸۵)، Arai (۱۹۹۷) و Kelemen و همکاران (۱۹۹۲) نشان داده است که ماگمای بازالتی اولیه که حاصل ذوب‌بخشی پریدوتیت‌های گشته است در هنگام صعود با سنگ دیواره خود که همان پریدوتیت‌های گشته هستند وارد واکنش شده و ابتدا

زمین‌شناسی عمومی

افیولیت‌های مورد مطالعه در بخش غربی ایران مرکزی و حاشیه جنوبی کویر بزرگ با شرایط آب و هوایی کاملاً بیابانی واقع شده‌اند. دو گونه سنگ افیولیتی در این ناحیه وجود دارد (شکل ۱):



شکل ۱- نقشه افیولیت‌های ایران و موقعیت افیولیت‌های مورد بررسی، برگرفته از Pessagno و همکاران (۲۰۰۴)، با تغییرات درباره افیولیت‌های انارک و جندق

(KH = Khoys; KR = Kermanshah; NY = Neyriz; BZ = Band Ziarat; NA = Naein; BF = Baft; ES = Esphandagheh; FM = Fanuj-Maskutan; IR = Iranshahr; TK = Tchehel Kureh; MS = Mashhad; SB = Sabzevar; SM = Samail; ASH = Ashin; AN = Anarak; JA = Jandaq)

(۱) افیولیت‌های جندق و انارک که دارای سن پروتروزوییک بالایی (Almasian, 1997; Sharkovski et al., 1984; Reyer and Mohafez, 1972) پالئوزوییک (Davoudzadeh, 1997; Bagheri, 2007) بوده، در آن‌ها تا کنون هیچ کرومیتیتی گزارش نشده است. بیشتر پریدوتیت‌های گوشته این دو افیولیت را لرزولیت‌های زایا به خود اختصاص داده و جزء افیولیت‌های نوع LOT محسوب می‌شوند (ترابی، ۱۳۸۳).

افیولیت انارک در رخساره شیست سبز و افیولیت جندق در رخساره آمفیبولیت دچار دگرگونی ناحیه شده

ماهیت سنگ دیواره پریدوتیتی و ترکیب شیمیایی مذاب صعود کننده می‌شود. حاصل انجام این واکنش‌ها تشکیل هارزبورگیت‌ها و دونیت‌های واکنشی، و در برخی موارد کرومیتیت‌های انبانی است.

در سیستم سه تایی الیون - اسپینل - کوارتز، دلیل تشکیل کرومیتیت‌های انبانی، افزوده شدن سیلیس حاصل از ذوب نامتجانس ارتوپروکسن‌ها به ماگمای در حال حرکت بر روی منحنی کوتکتیک است چرا که افزایش مقدار سیلیس ماگما باعث تغییر موقعیت ترکیبی آن به درون محدوده پایداری کانی کرومیت شده و موجب تبلور کرومیت می‌شود (Zhou et al., 1994, 1997, 1998, 2001; Kelemen et al., 2000). به این سؤال که چرا بعضی از مجموعه‌های افیولیتی حاوی کانسارسازی کرومیت، و برخی دیگر فاقد کانسارسازی هستند، هنوز جوابی قانع کننده داده نشده است.

از آنجایی که تشکیل کرومیتیت در ارتباط با واکنش‌های سنگ دیواره پریدوتیتی با مذاب صعود کننده بوده، منشأ عنصر Cr موجود در کرومیتیت‌ها به Cr موجود در ساختار پیروکسن‌های ذوب شده بر می‌گردد (Nicolas, 1989; Nicolas and Al-Azri, 1990). بنابراین، حضور یا عدم حضور کانسارهای کرومیت در مجموعه‌های افیولیتی برگرفته از وسعت و مقدار گسترش واکنش‌های سنگ - مذاب، و ترکیب پیروکسن‌های ذوب شده خواهد بود. به همین دلیل، در این نوشتار چهار افیولیت از سرزمین ایران مرکزی که در نزدیکی یکدیگر واقع شده و کرومیتیت‌ها در دو افیولیت حضور داشته و در دوتای دیگر حضور ندارند، انتخاب و بررسی شده‌اند.

در این مقاله به بررسی دلایل تشکیل یا عدم تشکیل کرومیتیت در درون پریدوتیت‌های گوشته افیولیت‌های جندق، انارک، عشین و ناین، و همچنین، علت اختلاف ترکیب شیمیایی کرومیتیت‌های عشین و ناین پرداخته خواهد شد.

سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی تا پالئوسن زیرین، و سازند آخوره با سن ائوسن، این ملانژهای افیولیتی را به صورت دگرشیب پوشانده‌اند. چرت‌های رادیولر سطح گدازه‌های بالشی را پوشانده و خود نیز در زیر سنگ آهک‌های گلوبوترونکانادار قرار می‌گیرند. بر اثر حرکات تکتونیکی در زمان جایگیری، چرت‌های رادیولر در اغلب موارد کاملاً شکسته و خرد هستند.

فراوان بودن رادیولرها در بخش‌هایی از چرت‌های این دو مجموعه افیولیتی به خوبی مشخص است (با استفاده از لنز دستی). انواع رادیولرهایی که در درون چرت‌ها دیده می‌شوند عبارتند از (Sharkovski et al., 1984):

Amphipyndax stocki F o r., *Dictyomitra multicostata* Z I t t., D. cf. *Pseudomacrocephala S q u I n.*, *Lithocampe* sp., *Spongosaturnalis moorei* F o r., *Holocryptocanium barbiu* D u m.

همه این رادیولرها بیانگر سن کرتاسه بالایی برای چرت‌ها هستند.

گلوبوترونکاناهای سنگ آهک‌ها را نیز می‌توان به دو گروه تقسیم نمود (Sharkovski et al., 1984):

گروه اول که بیانگر سن Turonian – Santonian هستند:

G. helvetica, *G. ex gr. Imbricata*, *G. ex gr. Elevata*, *G. lapparenti*, *G. renzi*

گروه دوم که بیانگر سن Campanian – Maestrichtian هستند:

G. tricarinata, *G. stuarti*, *G. arca*, *G. conica*, *G. gansseri*, *G. falsostuarti*, *G. ventricosa*

با توجه به مطالب فوق، زمان جایگیری این افیولیت‌ها از پالئوسن زیرین تا ائوسن زیرین می‌تواند باشد. بررسی‌های (Davoudzadeh, 1972) نیز سن پالئوسن زیرین تا ائوسن زیرین را نشان می‌دهد. این دو مجموعه به صورت درهم دیده شده و دارای خصوصیات یک آمیزه افیولیتی هستند که زمینه آن سرپانتینیت (پریدوتیت‌های گوشته سرپانتینی شده) بوده، سایر سنگ‌ها در داخل آن رخنمون دارند.

است (Torabi, 2009). واحدهای سازنده این افیولیت‌ها عبارتند از: پریدوتیت‌ها و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته، گابرو، دایک‌های بازیگ و اولترابازیگ، پیروکسنیت‌ها، گدازه‌های بالشی و ماسیو، آمفیبولیت، رودینگیت و لیستونیت. همه واحدهای این دو مجموعه افیولیتی توسط دگرگونه‌هایی از جنس شیست و مرمر پوشیده شده‌اند. افیولیت انارک در بخش‌های شمالی شهر انارک، و افیولیت جندق در ۴۰ کیلومتری شرق شهر جندق رخنمون دارند.

(۲) افیولیت ملانژهای ناپین و عشین که دارای سن مزوزوییک بوده، دایک‌های دیابازی و گدازه‌های بالشی آن‌ها متعلق به کرتاسه هستند. سنگ‌های این دو مجموعه افیولیتی عبارتند از: پریدوتیت‌ها و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته، کرومیتیت، گابرو، پیروکسنیت، دایک‌های دیابازی، کمپلکس دایک‌های ورقه‌ای، بازالت، گدازه‌های بالشی، پلاژیوگرانیت، چرت‌های رادیولر، سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی، رودینگیت، لیستونیت و سنگ‌های دگرگونی شامل آمفیبولیت، دایک آمفیبولیتی، اسکارن، متاچرت‌های نواری، شیست و مرمر. بررسی صحرایی پریدوتیت‌های گوشته این دو افیولیت نشان می‌دهد که توالی لرزولیت – هارزبورگیت – دونیت به خوبی مشخص بوده، لرزولیت‌ها هیچ‌گاه در تماس با دونیت‌ها نیستند. دایک‌های دیابازی و گدازه‌های بالشی این دو افیولیت از نظر ترکیب شیمیایی دارای شباهت‌هایی با بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی و بازالت‌های جزایر قوسی هستند (ترابی، ۱۳۸۳؛ ترابی و همکاران، ۱۳۸۷؛ جباری، ۱۳۷۶؛ منوچهری، ۱۳۷۶). سنگ غالب پریدوتیت‌های گوشته این دو مجموعه افیولیتی هارزبورگیت بوده، جزء افیولیت‌های نوع HOT محسوب می‌شوند.

این دو افیولیت در بخش‌های غربی ایران مرکزی و در محل تغییر جهت و پیچش گسل کویر بزرگ (گسل درونه) از شمال شرق به جنوب شرق قرار دارند و باقی مانده نفوتتیس محسوب می‌شوند.

بوده، به صورت پورفیروکلاست دیده می‌شوند. این کانی‌ها دارای خاموشی موجی و کینک باند بوده، در مواردی کشیدگی نواری شکل از خود نشان می‌دهند. در حاشیه ارتوپروکسن‌ها خلیج‌های خوردگی و انحلال وجود دارد که توسط الیوین‌های ریز دانه پر شده است. کلینوپروکسن‌ها سالم باقی مانده و از نظر اندازه کوچک‌تر از ارتوپروکسن‌ها هستند. این کانی‌ها دارای ترکیب اوژیت و دیوپسید هستند. اسپینل‌ها به رنگ قهوه‌ای روشن بوده، ریز دانه و ورمیکولار هستند. بر اثر آلتراسیون به صورت جزئی به مگنتیت تبدیل شده و دارای ترکیب اسپینل کروم‌دار هستند. میزان Cr# این کانی‌ها به‌طور متوسط برابر با ۰/۲۰ است.

جدول ۱- تغییرات ترکیب الیوین‌ها و اسپینل‌ها در پریدوتیت‌ها و کرومیتیت‌های افیولیت نابین (پیرنیا، ۱۳۸۶)

Rock Type	Cr# of Spinel	%Fo in Olivine
Lherzolite	0.20	90.19
Harzburgite	0.41	91.11
Dunite	0.47 - 0.71	88.22
Chromitite	0.71 - 0.73	-----

جدول ۲- تغییرات ترکیب الیوین‌ها و اسپینل‌ها در پریدوتیت‌ها و کرومیتیت‌های افیولیت عشین (ترابی، ۱۳۸۳)

Rock Type	Cr# of Spinel	%Fo in Olivine
Lherzolite	0.10 - 0.40	90.50
Harzburgite	0.40 - 0.47	90
Dunite	0.45 - 0.59	87.60
Chromitite	0.47 - 0.57	-----

هارزبورگیت‌ها از الیوین، ارتوپروکسن و کانی‌های فرعی کلینوپروکسن و اسپینل کروم‌دار ساخته شده‌اند و دارای بافت پورفیروکلاستیک و گرانوبلاستیک هستند. بر اساس داده‌های میکروپروب الیوین‌های موجود در این سنگ‌ها از نوع فورستریت (Fo₉₁) هستند و نسبت به الیوین‌های موجود در لرزولیت‌ها بیشتر سرپانتینی شده‌اند. ارتوپروکسن‌ها دارای ترکیب انستاتیت (En₈₉)

این دو گونه مجموعه افیولیتی (افیولیت‌های مزوزوییک و پالئوزوییک یا پرکامبرین) که در بالا ذکر شد دارای واحدهای سنگی متفاوت، ترکیب شیمیایی مختلف و گذشته زمین‌شناسی بسیار متفاوتی هستند.

روش انجام پژوهش

به‌منظور دسترسی به اهداف این پژوهش از پریدوتیت‌های گوشته هر چهار مجموعه افیولیتی، و کرومیتیت‌های افیولیت‌های عشین و نابین نمونه‌برداری صورت گرفته و پس از بررسی‌های پتروگرافی، کانی‌های مناسب با استفاده از دستگاه آنالیز الکترون میکروپروب JEOL مدل (WDS) JXA-8800 و Cameca SX-100 در دانشگاه‌های کانازاواوی ژاپن و هانوور آلمان با ولتاژ شتاب‌دهنده 20 kV و جریان 12 nA بررسی شدند. در محاسبه مقدار Fe³⁺ برای دسترسی به فرمول ساختاری کانی‌ها نیز از استوکیومتری کانی‌ها استفاده شد (Droop, 1987).

پتروگرافی و شیمی کانی‌ها

پریدوتیت‌های گوشته افیولیت‌های نابین و عشین لرزولیت‌های گوشته این افیولیت‌ها دارای بافت‌های پورفیروکلاستیک و گرانوبلاستیک هستند و از نوع لرزولیت‌های ۴ فازی هستند. این سنگ‌ها از الیوین، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن و اسپینل‌های کروم‌دار تشکیل شده‌اند. الیوین‌ها ریز دانه بوده، با حاشیه‌های سرپانتینی زمینه سنگ را تشکیل می‌دهند. این کانی‌ها بر خلاف پروکسن‌ها شواهد تغییر شکل گوشته‌ای را از خود نشان نداده و بر اساس داده‌های میکروپروب دارای ترکیب فورستریت (Fo₉₀) هستند (جدول‌های ۱ و ۲). ارتوپروکسن‌ها دارای ترکیب انستاتیت (En₈₇₋₈₈Fs₉₋₁₀)

فورستریت الیوین موجود در دونیت‌ها کم‌تر از لرزولیت‌ها و هارزبورگیت‌ها بوده، در گذر از لرزولیت‌ها به سمت هارزبورگیت، دونیت و کرومیتیت‌ها، Cr# اسپینل‌ها افزایش، رنگ آن‌ها تیره‌تر و شکل آن‌ها یوهدرال‌تر می‌شود.

پریدوتیت‌های گوشته افیولیت‌های انارک و جندق

پریدوتیت‌های گوشته افیولیت‌های جندق و انارک فازهای متعددی از سرپانتینی شدن را پشت سر نهاده‌اند و سرپانتینیت یکی از مهمترین سنگ‌های تشکیل دهنده این مجموعه‌های افیولیتی است. بررسی‌های پتروگرافی نشان می‌دهد که پریدوتیت‌های گوشته افیولیت جندق و انارک بیشتر از نوع لرزولیت و هارزبورگیت بوده‌اند و دونیت‌ها توسعه چندانی نداشته‌اند. لرزولیت‌ها و هارزبورگیت‌های افیولیت جندق از کانی‌های آنتوفیلیت، تالک، الیوین و ارتوپیروکسن‌های دگرگونی و ترمولیت تشکیل شده‌اند. کلینوپیروکسن‌ها و اسپینل‌ها بازمانده کانی‌های آذرین اولیه بوده، بخش‌هایی از کلینوپیروکسن‌ها بر اثر دگرگونی تبدیل به ترمولیت شده‌اند. اسپینل‌های کرم‌دار اغلب مگنتیتی شده‌اند اما قسمت‌های درونی برخی از آن‌ها هنوز سالم هستند. با توجه به موارد فوق این سنگ‌ها در رخساره آمفیبولیت دگرگون شده و آن‌ها را می‌توان متاپریدوتیت نامید (Torabi, 2009). نام‌گذاری پریدوتیت‌های موجود در این افیولیت‌ها بر اساس استفاده از سودومورف‌های کانی‌های اولیه، ترکیب شیمیایی نمونه‌های سنگ کل و نوع کانی‌های حاصل دگرگونی انجام می‌پذیرد. در این مجموعه‌های افیولیتی، اسپینل‌های کرم‌دار در همه انواع پریدوتیت‌های گوشته (لرزولیت، هارزبورگیت و دونیت) به صورت خود شکل دیده می‌شوند و همان‌طور که قبلاً

(Fs_{8.9}) هستند و مانند ارتوپیروکسن‌های لرزولیت شواهد تغییر شکل گوشته‌ای را نشان می‌دهند. حاشیه‌های انحلال یافته در اطراف این کانی‌ها از توسعه و تکامل بیشتری نسبت به لرزولیت‌ها برخوردار هستند. کلینوپیروکسن‌ها از فراوانی کمی برخوردار هستند و دارای ترکیب اوژیت هستند.

اسپینل‌های موجود در این سنگ‌ها به رنگ قرمز تا قهوه‌ای تیره بوده، از نوع اسپینل‌های کروم‌دار هستند. این کانی‌ها نیمه‌شکل‌دار بوده، به‌طور متوسط دارای Cr# برابر با ۰/۴۱۳ هستند. همچنین، دارای اندازه بزرگ‌تری نسبت به اسپینل‌های لرزولیت هستند.

کانی اصلی سازنده دونیت‌ها الیوین بوده، سایر کانی‌هایی همچون اسپینل کروم‌دار، کلینوپیروکسن، ارتوپیروکسن و مگنتیت دارای مقادیر کمی هستند. شدت سرپانتینی شدن در این سنگ‌ها به حدی است که در بیشتر موارد تنها جزایر کوچکی از الیوین‌ها را می‌توان در سنگ مشاهده نمود. در واقع این سنگ‌ها بر اثر فرآیند سرپانتینی شدن پیشرفته به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند. حضور فراوان کانی‌های سرپانتین در این سنگ‌ها باعث بخشیدن بافت مشبک به این سنگ‌ها شده است. الیوین‌های موجود در این سنگ‌ها دارای ترکیب کریزولیت (Fo₈₈) هستند. کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید و اسپینل‌ها با Cr# برابر با ۰/۴۵ تا ۰/۷۱ از نوع اسپینل‌های کروم‌دار هستند. اسپینل‌های کروم‌دار به صورت نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار بوده، به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه هستند. لنزهای کرومیتیتی در درون برخی از بخش‌های دونیتی دیده می‌شوند. دلیل عدم بررسی الیوین‌های موجود در کرومیتیت‌ها، تغییر ترکیب آن‌ها بر اثر واکنش با اسپینل‌ها در دمای ساب‌سولیدوس است (Arai, 1997). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار

کلی می‌توان گفت که اسپینل‌های کرم‌دار در انواع پریدوتیت‌های گوشته این افیولیت‌ها دارای ترکیب محدودی هستند. محدوده Cr# اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت جندق ۰/۴۶ تا ۰/۶۱، و محدوده Cr# اسپینل‌ها در افیولیت انارک نیز ۰/۴۷ تا ۰/۵۱ است.

نتایج آنالیز ارتوپروکسن و کلینوپروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته، و اسپینل‌های موجود در کرومیت‌های افیولیت‌های عشین و ناین، به همراه کلینوپروکسن و اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت‌های انارک و جندق، و نتایج محاسبه فرمول ساختاری و فاکتورهای معرف آن‌ها در جدول‌های ۳ تا ۱۳ آورده شده است.

اشاره شد هیچ سنگی که غنی از اسپینل‌های کرم‌دار باشد (کرومیتیت) دیده نمی‌شود. با استفاده از بررسی‌های پتروگرافی و توجه به تغییرات کانی‌ها که بر اثر سرپانتینی شدن و دگرگونی رخ داده است می‌توان پریدوتیت‌های گوشته اولیه افیولیت‌های جندق و انارک را به ترتیب کاهش فراوانی، لرزولیت، هارزبورگیت و دونیت در نظر گرفت به عبارت دیگر لرزولیت‌ها بیشترین و دونیت‌ها کم‌ترین فراوانی را داشته‌اند. کلینوپروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته این دو افیولیت از نوع دیوپسید هستند.

مقدار Cr# در اسپینل‌های کرم‌داری که تحت‌تأثیر مگنتیتی شدن قرار نگرفته‌اند در همه انواع پریدوتیت‌های گوشته تنوع گسترده‌ای نداشته و به‌طور

جدول ۳- نتایج آنالیز نقطه‌ای کلینوپروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت انارک (لرزولیت) بر اساس درصد وزنی (wt%) و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample No.	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	355	355	355	355
Analysis No.	1	2	3	4	5	6	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	7	1	43	44	45
SiO ₂	53.20	52.19	52.91	52.27	52.45	52.03	52.55	52.76	53.18	51.86	54.04	53.51	52.97	53.04	52.18	52.34	52.90	52.27	53.72	53.01	53.25
TiO ₂	0.24	0.28	0.28	0.22	0.27	0.29	0.28	0.26	0.29	0.21	0.25	0.28	0.28	0.22	0.22	0.28	0.30	0.31	0.31	0.29	0.28
Al ₂ O ₃	4.07	5.18	4.27	4.86	4.68	4.86	4.82	5.08	3.95	6.51	4.62	4.21	4.56	4.46	6.33	6.18	3.97	4.69	5.01	5.08	4.67
Cr ₂ O ₃	0.84	1.08	0.97	1.08	0.85	0.88	1.04	0.95	0.97	1.17	1.04	1.18	1.06	1.02	1.17	1.15	0.74	0.76	0.68	0.75	0.75
FeO	2.20	2.28	2.23	2.27	2.41	2.19	2.13	2.09	2.13	2.40	2.62	2.14	2.19	2.27	2.30	2.32	2.08	2.57	2.52	2.22	2.31
MnO	0.10	0.06	0.06	0.06	0.10	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	0.07	0.08	0.08	0.12	0.09	0.06	0.04	0.06	0.06	0.08
MgO	15.84	14.85	15.32	15.22	15.73	15.20	16.19	15.99	16.58	15.18	17.97	16.48	16.00	16.43	15.31	15.55	15.59	16.44	17.17	16.13	16.18
CaO	22.37	22.78	22.80	22.76	22.27	22.87	21.32	21.61	21.32	21.61	19.66	21.63	21.49	21.81	21.72	21.27	23.00	21.89	19.89	20.80	21.35
Na ₂ O	0.67	0.60	0.61	0.67	0.57	0.60	0.62	0.65	0.56	0.72	0.56	0.59	0.64	0.58	0.78	0.70	0.59	1.03	1.01	1.06	1.00
K ₂ O	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01
NiO	0.05	0.04	0.01	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.02	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05	0.02	0.04
Total	99.60	99.36	99.46	99.47	99.41	99.07	99.11	99.52	99.11	99.81	100.91	100.15	99.34	99.95	100.18	99.94	99.29	100.08	100.43	99.50	99.90
Structural formula based on the 6 oxygens																					
Si	1.94	1.91	1.94	1.91	1.92	1.91	1.92	1.92	1.95	1.89	1.93	1.94	1.94	1.92	1.89	1.90	1.94	1.89	1.93	1.92	1.93
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al _{IV}	0.06	0.09	0.06	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.06	0.11	0.07	0.06	0.07	0.08	0.11	0.10	0.06	0.11	0.07	0.08	0.07
Al _{VI}	0.11	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.12	0.17	0.13	0.12	0.13	0.12	0.16	0.17	0.11	0.09	0.14	0.14	0.13
Cr	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Fe ²⁺	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.02	0.08	0.07	0.07
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.86	0.81	0.84	0.83	0.86	0.83	0.88	0.87	0.90	0.82	0.96	0.89	0.87	0.89	0.83	0.84	0.85	0.89	0.92	0.87	0.87
Ca	0.87	0.90	0.89	0.89	0.87	0.90	0.84	0.84	0.84	0.84	0.75	0.84	0.84	0.85	0.84	0.83	0.90	0.85	0.77	0.81	0.83
Na	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.05	0.04	0.07	0.07	0.08	0.07
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mg#	0.93	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.92	0.94	0.98	0.92	0.93	0.93
Cr#	0.12	0.12	0.13	0.13	0.11	0.11	0.13	0.11	0.14	0.11	0.13	0.16	0.14	0.13	0.11	0.11	0.11	0.10	0.08	0.09	0.10

جدول ۳- ادامه.

Sample No.	355	355	355	507	507	507	507	507	507	507	507	507	507	507-1	507-1	507-1
Analysis No.	46	47	48	1	2	3	4	5	55	70	71	72	56	57	58	
SiO ₂	53.45	53.05	53.04	51.86	51.42	51.18	51.48	51.35	53.34	53.83	52.99	52.88	53.01	53.13	53.38	
TiO ₂	0.28	0.31	0.34	0.25	0.32	0.31	0.33	0.35	0.30	0.32	0.35	0.36	0.30	0.27	0.29	
Al ₂ O ₃	4.77	5.12	4.75	4.20	5.00	4.85	4.37	4.91	5.02	5.08	6.01	5.90	5.25	5.39	5.29	
Cr ₂ O ₃	0.74	0.66	0.62	0.68	0.75	0.71	0.55	0.70	0.70	0.71	0.85	0.97	0.76	0.74	0.69	
FeO	2.32	2.25	2.64	2.07	2.13	2.17	2.14	2.23	2.23	2.38	2.43	2.44	2.28	2.20	2.30	
MnO	0.08	0.07	0.10	0.08	0.04	0.08	0.04	0.09	0.09	0.09	0.10	0.07	0.08	0.07	0.10	
MgO	16.17	16.08	16.20	15.14	14.88	15.20	15.19	15.02	15.99	16.17	15.49	15.70	15.73	15.83	15.99	
CaO	20.88	20.86	20.45	24.48	24.40	24.55	24.70	24.43	21.11	20.56	20.50	20.73	20.84	21.19	20.95	
Na ₂ O	1.01	1.07	1.02	1.09	1.11	1.06	1.03	1.01	1.03	1.09	1.15	1.04	1.02	1.06	1.08	
K ₂ O	0.01	0.03	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	
NiO	0.04	0.02	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.05	0.06	0.05	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	
Total	99.75	99.52	99.20	99.94	100.10	100.16	99.90	100.14	99.88	100.30	99.91	100.13	99.32	99.93	100.12	
Structural formula based on the 6 oxygens																
Si	1.94	1.93	1.93	1.88	1.86	1.85	1.87	1.86	1.93	1.94	1.92	1.91	1.93	1.92	1.93	
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Al _{IV}	0.06	0.08	0.07	0.12	0.14	0.15	0.13	0.14	0.07	0.06	0.08	0.09	0.07	0.08	0.07	
Al _{VI}	0.14	0.14	0.14	0.06	0.08	0.06	0.05	0.07	0.15	0.16	0.18	0.16	0.16	0.15	0.15	
Cr	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	
Fe ²⁺	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mg	0.87	0.87	0.88	0.82	0.80	0.82	0.82	0.81	0.86	0.87	0.84	0.85	0.86	0.85	0.86	
Ca	0.81	0.81	0.80	0.95	0.95	0.95	0.96	0.95	0.82	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.81	
Na	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Mg#	0.93	0.93	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.93	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	
Cr#	0.09	0.08	0.08	0.10	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.08	0.08	

جدول ۴- نتایج آنالیز نقطه‌ای اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت انارک و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample No.	330	330	346	346	352	352	352	358	358	358	358	433	433	433	433	433	485	485	485	485	
SiO ₂	0.02	0.06	0.01	0.02	0.01	0.00	0.03	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
TiO ₂	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.05	0.04	0.07	0.07	0.33	0.32	0.35	0.32	0.33	0.26	0.18	0.16	0.27	0.20
Al ₂ O ₃	29.18	28.77	28.34	27.84	27.66	27.29	26.76	24.03	26.32	25.78	27.43	26.85	26.73	27.43	27.37	28.19	27.29	27.41	27.26	27.54	26.93
Cr ₂ O ₃	39.79	39.59	39.71	40.23	40.91	41.32	41.75	41.86	39.59	40.28	38.12	38.99	39.39	37.88	38.50	37.82	38.57	39.96	39.98	39.61	39.96
FeO	15.83	15.73	13.96	13.88	14.21	14.11	14.18	19.11	18.64	18.56	19.58	18.73	18.53	19.61	19.72	19.07	18.89	15.95	15.85	15.96	16.10
MnO	0.30	0.27	0.26	0.25	0.27	0.28	0.25	0.31	0.33	0.31	0.34	0.32	0.33	0.55	0.30	0.29	0.30	0.28	0.30	0.33	0.28
MgO	15.07	15.48	16.86	16.74	15.96	15.96	16.09	13.69	14.11	14.02	13.54	13.72	13.80	13.41	13.57	13.41	13.94	15.41	15.51	15.23	15.42
CaO	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	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	0.00	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.11	0.10	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.12	0.12	0.08	0.14	0.09	0.12	0.12	0.11	0.11	0.13	0.13	0.13	0.12
Total	100.36	100.04	99.30	99.09	99.17	99.09	99.18	99.18	99.17	99.19	99.16	99.10	99.22	99.37	99.90	99.22	99.38	99.32	99.22	99.11	99.02
Formula units based on 32 oxygens and Fe ²⁺ /Fe ³⁺ assuming full site occupancy																					
Si	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
Ti	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.03	0.03	0.05	
Al	8.11	8.01	7.88	7.77	7.76	7.67	7.53	6.93	7.51	7.37	7.82	7.67	7.63	7.81	7.75	8.02	7.75	7.71	7.68	7.77	
Cr	7.42	7.39	7.40	7.53	7.70	7.79	7.88	8.10	7.57	7.73	7.28	7.47	7.54	7.23	7.31	7.21	7.34	7.54	7.55	7.49	
Fe ₂₊	2.67	2.53	2.05	2.07	2.30	2.30	2.25	2.99	2.89	2.91	3.11	3.06	3.05	3.15	3.17	3.20	3.01	2.52	2.47	2.57	
Fe ₃₊	0.46	0.59	0.71	0.69	0.53	0.52	0.58	0.94	0.90	0.86	0.86	0.74	0.71	0.82	0.81	0.65	0.80	0.68	0.71	0.63	
Mn	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.08	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	
Mg	5.30	5.45	5.92	5.91	5.66	5.67	5.72	4.99	5.09	5.07	4.88	4.95	4.98	4.83	4.86	4.82	5.00	5.48	5.52	5.43	
Ca	0.01	0.00	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ni	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	
Total	24.01	24.02	24.02	24.02	24.01	24.00	24.02	24.02	24.02	24.02	24.01	24.01	24.02	24.02	24.01	24.01	24.02	24.01	24.02	24.02	
Mg#	0.67	0.68	0.74	0.74	0.71	0.71	0.72	0.63	0.64	0.64	0.61	0.62	0.62	0.61	0.61	0.60	0.62	0.69	0.69	0.68	
Cr#	0.48	0.48	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.54	0.50	0.51	0.48	0.49	0.50	0.48	0.49	0.47	0.49	0.49	0.50	0.49	
Fe ³⁺ #	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	

جدول ۵- نتایج آنالیز نقطه‌ای کلینوپیکروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته (لرزولیت) افیولیت‌های عشین و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample No.	222	222	222	249	249	249	421	421	421	421	421	424	424	424	424	424	425	425	425	468	468	468	505	505	505		
Analysis No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
SiO ₂	52.15	51.93	52.04	52.65	52.14	52.53	51.72	52.33	52.86	51.99	51.82	52.08	52.48	51.84	52.83	52.46	52.38	51.40	52.70	52.31	52.72	52.53	53.17	52.16	52.17	52.51	
TiO ₂	0.38	0.31	0.36	0.08	0.03	0.05	0.52	0.44	0.50	0.43	0.42	0.05	0.05	0.05	0.08	0.08	0.04	0.55	0.53	0.55	0.06	0.08	0.03	0.29	0.26	0.22	
Al ₂ O ₃	6.64	6.97	7.13	3.57	3.93	4.12	3.09	3.20	2.96	2.97	3.10	3.32	3.74	3.65	3.13	3.26	3.12	5.89	3.99	3.99	3.44	3.63	3.33	2.87	2.90	2.57	
Cr ₂ O ₃	0.80	0.79	0.89	1.26	1.31	1.29	0.74	0.91	0.84	0.80	0.88	0.86	1.03	0.94	0.94	0.93	0.78	0.89	0.76	0.82	1.11	1.25	1.07	0.89	0.89	0.84	
FeO	2.59	2.40	2.45	2.15	2.43	2.50	4.03	3.74	4.24	3.71	3.49	2.34	2.45	2.47	2.27	2.31	2.34	2.44	2.35	2.47	2.10	1.98	1.97	2.97	3.10	2.60	
MnO	0.09	0.09	0.08	0.10	0.09	0.09	0.12	0.11	0.17	0.11	0.08	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.06	0.09	0.10	0.07	0.11	0.12	0.07	0.08	
MgO	15.66	14.86	15.17	16.89	16.84	17.29	17.06	16.63	17.03	16.25	16.02	17.24	17.40	17.57	17.04	17.38	17.24	16.03	16.79	16.21	16.72	16.71	16.84	17.42	17.25	17.29	
CaO	20.78	21.61	21.28	23.12	22.66	22.15	22.03	22.41	21.36	22.78	23.02	23.51	23.01	22.60	23.62	22.76	23.00	22.66	23.01	22.99	23.64	23.68	23.38	23.03	23.00	23.53	
Na ₂ O	1.14	1.18	1.12	0.12	0.11	0.08	0.29	0.36	0.27	0.36	0.34	0.10	0.07	0.08	0.08	0.10	0.06	0.60	0.63	0.56	0.06	0.06	0.06	0.29	0.33	0.29	
K ₂ O	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	
NiO	0.02	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.06	0.04	0.06	0.04	0.01	0.03	
Total	100.3	100.2	100.6	100.0	99.6	100.2	99.6	100.2	100.3	99.4	99.2	99.6	100.4	99.3	100.1	99.4	99.1	100.6	100.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Structural formula based on the 6 oxygens																											
Si	1.88	1.88	1.87	1.91	1.90	1.90	1.89	1.90	1.92	1.91	1.91	1.90	1.90	1.89	1.92	1.91	1.92	1.85	1.89	1.90	1.92	1.91	1.93	1.89	1.90	1.91	
Ti	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	
Al ^{IV}	0.12	0.12	0.13	0.09	0.10	0.10	0.11	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.08	0.09	0.08	0.15	0.11	0.10	0.08	0.09	0.07	0.11	0.11	0.09	
Al ^{VI}	0.16	0.17	0.18	0.07	0.07	0.08	0.02	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.01	0.02	0.02	
Cr	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	
Fe ²⁺	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.13	0.08	0.08	0.03	0.06	0.04	0.06	0.06	0.06	0.04	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.00	0.03	0.03	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.06		
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mg	0.84	0.80	0.81	0.92	0.92	0.94	0.93	0.90	0.92	0.89	0.88	0.94	0.94	0.96	0.92	0.95	0.94	0.86	0.90	0.88	0.91	0.91	0.91	0.94	0.93	0.94	
Ca	0.80	0.84	0.82	0.90	0.89	0.86	0.86	0.87	0.83	0.90	0.91	0.92	0.89	0.88	0.92	0.89	0.90	0.88	0.89	0.90	0.92	0.92	0.91	0.90	0.90	0.92	
Na	0.08	0.08	0.08	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Mg#	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92	0.88	0.92	0.92	0.97	0.95	0.96	0.94	0.94	0.94	0.95	0.97	0.94	0.93	0.94	0.94	0.98	0.98	0.98	0.98	
Cr#	0.08	0.07	0.08	0.19	0.18	0.17	0.14	0.16	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.17	0.16	0.15	0.09	0.12	0.12	0.18	0.19	0.18	0.17	0.17	0.18	

جدول ۷- نتایج آنالیز نقطه‌ای اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت‌های عشین و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample No.	222	249	424	425	473	399	400	504	505	505-5	506	
Rock Type*	L	L	L	L	L	H	H	H	D	D	D	
SiO ₂	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
TiO ₂	0.02	0.04	0.04	0.12	0.06	0.15	0.13	0.07	0.42	0.53	0.37	
Al ₂ O ₃	58.27	39.22	40.08	55.14	55.45	29.44	29.11	32.87	27.07	26.11	29.17	
Cr ₂ O ₃	9.06	27.82	26.9	10.87	10.68	36.62	37.21	35.02	36.51	36.93	36.16	
FeO*	11.31	15.73	15.8	12.43	13.71	17.08	15.71	15.46	22.85	23.69	19.12	
MnO	0.15	0.24	0.24	0.19	0.1	0.26	0.26	0.24	0.38	0.34	0.31	
MgO	20.61	16.48	17.02	20.8	19.78	16.45	16.96	16.35	12.15	12.2	14.26	
CaO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	
K ₂ O	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	
NiO	0.36	0.17	0.18	0.30	0.35	0.15	0.17	0.13	0.08	0.09	0.11	
Total	99.84	99.75	100.3	99.88	100.17	100.19	99.57	100.18	99.52	99.92	99.52	
Structural formula based on the 32 oxygens												
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ti	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.08	0.10	0.07	
Al	14.16	10.45	10.56	13.51	13.63	8.10	8.04	8.95	7.77	7.49	8.19	
Cr	1.48	4.97	4.75	1.79	1.76	6.76	6.89	6.39	7.03	7.11	6.81	
Fe ²⁺	1.60	2.41	2.29	1.51	1.81	2.29	2.08	2.36	3.64	3.66	2.97	
Fe ³⁺	0.36	0.57	0.67	0.66	0.59	1.07	1.01	0.63	1.03	1.19	0.85	
Mn	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.04	0.03	
Mg	6.33	5.55	5.67	6.44	6.15	5.72	5.92	5.62	4.41	4.43	5.06	
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ni	0.06	0.03	0.03	0.05	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	
Total	24.00	24.01	24.01	24.01	24.01	24.02	24.02	24.01	24.02	24.02	24.01	
Mg#	0.40	0.43	0.44	0.43	0.40	0.55	0.59	0.50	0.39	0.40	0.45	
Cr#	0.09	0.32	0.31	0.12	0.11	0.46	0.46	0.42	0.48	0.49	0.45	
Fe ³⁺ #	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.06	0.04	0.07	0.08	0.05	

*L = Lherzolite; H = Harzburgit; D = Dunite

جدول ۶- نتایج آنالیز نقطه‌ای ارتوپیکروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته (لرزولیت) افیولیت عشین و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample No.	425	425	473	473	473	473	473
Analysis No.	1	2	1	2	3	4	5
SiO ₂	54.31	54.35	54.45	53.98	52.86	53.82	55.08
TiO ₂	0.10	0.13	0.07	0.13	0.13	0.10	0.08
Al ₂ O ₃	5.22	4.87	3.14	4.52	4.52	5.02	3.80
Cr ₂ O ₃	0.57	0.45	0.21	0.46	0.43	0.54	0.34
FeO	5.93	6.33	6.25	6.21	7.43	6.13	6.11
MnO	0.16	0.12	0.14	0.15	0.21	0.15	0.15

جدول ۸- نتایج آنالیز نقطه‌ای اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌های افیولیت عشین و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample No.	320	320	320	320	320	320	320	320	320	426	426	426	426	426	426	426	426	426
SiO ₂	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
TiO ₂	0.19	0.18	0.20	0.17	0.20	0.18	0.17	0.15	0.17	0.15	0.18	0.14	0.16	0.14	0.12	0.16	0.12	0.18
Al ₂ O ₃	27.39	27.83	28.18	28.16	27.72	27.72	28.06	28.12	28.71	28.48	28.73	28.72	28.74	28.17	28.64	28.58	28.69	28.66
Cr ₂ O ₃	39.64	39.54	39.15	39.24	39.48	40.16	39.34	39.49	38.23	38.54	38.52	38.69	38.80	38.23	38.58	38.43	38.85	38.36
FeO	13.25	13.00	13.73	13.09	14.10	14.34	13.44	12.81	14.45	14.43	13.26	13.32	14.10	14.07	13.82	13.45	13.88	13.46
MnO	0.23	0.26	0.23	0.23	0.20	0.23	0.22	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.19	0.21	0.22	0.24	0.21	0.22
MgO	18.17	18.13	17.56	18.05	17.49	17.36	17.68	18.08	17.12	17.21	18.06	18.62	17.77	17.31	17.74	17.62	17.44	18.05
CaO	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00
NiO	0.21	0.23	0.23	0.21	0.17	0.18	0.22	0.20	0.15	0.18	0.19	0.20	0.18	0.18	0.21	0.20	0.17	0.20
Total	99.15	99.20	99.32	99.20	99.38	100.21	99.19	99.15	99.08	99.24	99.25	99.90	99.99	98.37	99.34	98.70	99.36	99.15
Formula units based on 32 oxygens and Fe ²⁺ /Fe ³⁺ assuming full site occupancy																		
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
Al	7.59	7.69	7.80	7.78	7.68	7.64	7.77	7.77	7.97	7.89	7.92	7.84	7.89	7.87	7.90	7.93	7.93	7.90
Cr	7.36	7.33	7.27	7.27	7.34	7.42	7.31	7.32	7.11	7.16	7.12	7.08	7.14	7.16	7.14	7.15	7.20	7.09
Fe ²⁺	1.65	1.66	1.86	1.70	1.89	1.96	1.81	1.68	2.01	1.97	1.72	1.58	1.85	1.89	1.81	1.81	1.91	1.72
Fe ³⁺	0.97	0.90	0.85	0.88	0.89	0.86	0.85	0.85	0.85	0.88	0.89	1.01	0.91	0.91	0.91	0.85	0.82	0.93
Mn	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Mg	6.36	6.34	6.14	6.30	6.13	6.05	6.19	6.32	6.00	6.03	6.29	6.43	6.16	6.11	6.19	6.18	6.09	6.29
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
Total	24.02	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.02	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01
Mg#	0.79	0.79	0.77	0.79	0.76	0.76	0.77	0.79	0.75	0.75	0.79	0.80	0.77	0.76	0.77	0.77	0.76	0.79
Cr#	0.49	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.47	0.48	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.48	0.47
Fe ³⁺ #	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06

جدول ۸- ادامه.

Sample No.	453	453	453	453	453	453	453	453	478	478	478	478	478	478	478	478	478
SiO ₂	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
TiO ₂	0.32	0.32	0.32	0.31	0.32	0.33	0.34	0.29	0.16	0.19	0.16	0.19	0.17	0.16	0.16	0.14	0.16
Al ₂ O ₃	21.83	22.11	22.03	21.81	21.90	21.98	21.85	21.77	28.14	28.27	28.36	28.13	28.49	28.26	28.08	28.05	28.40
Cr ₂ O ₃	43.30	43.19	43.16	43.39	43.51	43.40	43.37	43.59	38.84	38.83	38.95	39.03	39.41	39.34	38.94	39.08	38.59
FeO	17.33	17.47	17.26	17.45	17.32	17.44	17.36	17.56	13.62	13.31	13.36	13.28	13.75	13.90	13.47	13.13	13.50
MnO	0.27	0.31	0.31	0.30	0.33	0.28	0.30	0.30	0.24	0.22	0.26	0.19	0.21	0.24	0.23	0.22	0.24
MgO	15.84	15.69	15.94	15.66	15.52	15.61	15.73	15.42	18.02	18.12	17.90	18.22	17.56	17.68	18.08	18.37	18.04
CaO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	0.04	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
NiO	0.17	0.17	0.14	0.13	0.18	0.13	0.18	0.13	0.16	0.18	0.20	0.20	0.17	0.16	0.18	0.20	0.16
Total	99.13	99.29	99.18	99.08	99.11	99.20	99.16	99.09	99.20	99.16	99.19	99.26	99.78	99.76	99.17	99.24	99.11
Formula units based on 32 oxygens and Fe ²⁺ /Fe ³⁺ assuming full site occupancy																	
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Al	6.27	6.34	6.31	6.27	6.30	6.31	6.28	6.27	7.77	7.80	7.83	7.76	7.85	7.79	7.76	7.73	7.84
Cr	8.34	8.30	8.29	8.37	8.39	8.36	8.35	8.42	7.19	7.19	7.21	7.22	7.28	7.27	7.21	7.22	7.14
Fe ²⁺	2.31	2.36	2.28	2.36	2.39	2.39	2.34	2.43	1.72	1.69	1.75	1.67	1.89	1.85	1.70	1.60	1.71
Fe ³⁺	1.25	1.22	1.25	1.22	1.17	1.19	1.22	1.18	0.96	0.93	0.89	0.95	0.80	0.88	0.96	0.98	0.95
Mn	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
Mg	5.75	5.69	5.77	5.69	5.64	5.67	5.71	5.62	6.29	6.32	6.25	6.35	6.11	6.16	6.31	6.40	6.30
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
Total	24.03	24.02	24.03	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.02	24.02	24.01
Mg#	0.71	0.71	0.72	0.71	0.70	0.70	0.71	0.70	0.79	0.79	0.78	0.79	0.76	0.77	0.79	0.80	0.79
Cr#	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Fe ³⁺ #	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06

جدول ۹- نتایج آنالیز نقطه‌ای کلینوپیکروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته (لرزولیت) افیولیت جندق و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample No.	716	716	716	716	716	716	716	716	716	716	716	716	717	717	717
Analysis No.	58	60	61	66	68	69	73	74	76	77	78	79	1	2	3
SiO ₂	52.14	50.96	51.90	51.95	51.61	51.15	52.17	52.42	51.24	51.34	51.24	52.10	51.92	53.87	52.92
TiO ₂	0.40	0.47	0.29	0.39	0.43	0.52	0.32	0.35	0.38	0.44	0.46	0.61	0.20	0.23	0.27
Al ₂ O ₃	3.36	4.98	4.09	2.98	3.26	3.34	2.84	2.34	4.43	4.62	4.53	3.45	6.49	4.62	5.06
Cr ₂ O ₃	1.19	1.31	1.07	1.12	1.13	0.92	0.82	0.71	1.24	1.18	1.26	0.98	1.16	1.01	0.84
FeO*	3.48	3.60	3.74	3.36	3.52	3.80	3.42	3.46	3.49	3.55	3.45	3.70	2.41	2.27	2.16
MnO	0.08	0.13	0.14	0.12	0.12	0.19	0.15	0.17	0.07	0.10	0.11	0.12	0.09	0.11	0.08
MgO	16.42	15.41	16.48	16.71	16.36	16.22	16.73	17.07	16.15	15.94	15.79	16.69	15.24	17.46	15.83
CaO	22.75	23.02	22.86	23.01	23.14	23.17	23.27	23.22	23.08	23.28	23.41	22.22	21.60	19.68	21.68
Na ₂ O	0.43	0.42	0.42	0.40	0.36	0.35	0.39	0.33	0.35	0.34	0.31	0.37	0.71	0.57	0.82
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.05
Total	100.25	100.30	100.94	100.04	99.93	99.66	100.12	100.08	100.43	100.79	100.56	100.24	99.87	99.88	99.75
Structural formula based on 6 oxygens															
Si	1.90	1.86	1.87	1.89	1.88	1.87	1.90	1.91	1.86	1.86	1.86	1.90	1.89	1.95	1.92
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Al ^{IV}	0.10	0.14	0.13	0.11	0.12	0.13	0.10	0.09	0.14	0.14	0.14	0.11	0.11	0.05	0.08
Al ^{VI}	0.04	0.07	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.05	0.06	0.06	0.04	0.17	0.15	0.14
Cr	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
Fe ²⁺	0.07	0.07	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.06	0.06	0.09	0.07	0.07	0.07
Fe ³⁺	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.89	0.84	0.89	0.91	0.89	0.89	0.91	0.93	0.87	0.86	0.86	0.91	0.83	0.94	0.86
Ca	0.89	0.90	0.88	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.91	0.87	0.84	0.76	0.84
Na	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.04	0.06
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mg#	0.93	0.92	0.95	0.96	0.95	0.96	0.97	0.97	0.95	0.94	0.93	0.91	0.92	0.93	0.93
Cr#	0.19	0.15	0.15	0.20	0.19	0.16	0.17	0.17	0.16	0.15	0.16	0.16	0.11	0.13	0.10

جدول ۱۰: نتایج آنالیز نقطه‌ای اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت جندق و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها.

Sample No.	685-4	685-4	685-4	685-4	685-4	689	689	689	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	554	555	783	791	
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.20	0.14	0.25
TiO ₂	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.05	0.05	0.39	0.37	0.37	0.38	0.37	0.36	0.37	0.35	0.34	0.38	0.36	0.38	0.40	0.42	0.41
Al ₂ O ₃	19.75	19.60	19.02	19.18	19.64	22.53	22.38	21.90	26.99	26.82	26.84	26.98	26.86	26.79	27.03	26.84	27.09	26.81	27.17	28.42	28.31	29.04	28.70
Cr ₂ O ₃	45.35	45.25	44.41	44.35	45.06	44.10	44.18	43.68	36.85	36.86	36.29	36.83	36.79	36.50	36.06	36.47	35.79	36.55	35.99	35.47	37.18	36.72	35.68
FeO	23.16	23.48	24.63	25.23	23.47	17.89	18.64	20.38	19.04	19.61	20.81	19.90	20.30	20.61	20.36	20.79	20.74	20.41	19.82	20.37	19.91	20.17	19.78
MnO	0.21	0.27	0.38	0.36	0.19	0.15	0.09	0.20	0.66	0.65	0.59	0.58	0.60	0.68	0.64	0.53	0.69	0.67	0.67	0.73	0.69	0.67	0.77
MgO	9.17	9.12	7.94	7.74	9.05	12.14	12.10	10.78	12.77	12.96	12.39	12.64	12.58	12.33	12.56	12.20	12.44	12.39	12.75	13.54	12.70	13.41	12.94
CaO	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	0.04
Na ₂ O	0.02	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01	0.06	0.01	0.08	0.02	0.01	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.04	0.02	0.04	0.10	0.09	0.07
K ₂ O	0.01	0.04	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.23	0.26	0.16	0.25	0.16	0.10	0.23	0.18	0.20	0.13	0.18	0.13	0.17	0.21	
Total	97.68	97.77	96.42	96.98	97.47	96.86	97.50	97.02	97.02	97.52	97.57	97.53	97.79	97.46	97.14	97.45	97.30	97.48	96.91	99.20	99.68	100.58	98.57
Formula units based on 32 oxygens and Fe ²⁺ /Fe ³⁺ assuming full site occupancy																							
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.03	0.06
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08
Al ^{IV}	6.06	6.02	5.97	6.00	6.05	6.75	6.67	6.63	7.89	7.79	7.82	7.86	7.81	7.82	7.89	7.84	7.90	7.83	7.94	8.06	8.05	8.12	8.19
Al ^{VI}	9.33	9.31	9.35	9.30	8.86	8.83	8.86	7.22	7.18	7.09	7.17	7.15	7.06	7.15	7.06	7.15	7.00	7.16	7.05	6.75	7.09	6.89	6.83
Cr	4.45	4.46	4.82	4.92	4.49	3.42	3.47	3.89	3.22	3.18	3.39	3.32	3.33	3.40	3.33	3.46	3.35	3.37	3.25	3.08	3.41	3.23	3.30
Fe ²⁺	0.60	0.66	0.67	0.69	0.64	0.39	0.47	0.49	0.73	0.87	0.93	0.80	0.87	0.88	0.90	0.87	0.95	0.87	0.87	1.02	0.61	0.78	0.71
Fe ³⁺	0.01	0.02	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.11	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10	0.08	0.12	0.11	0.11	0.15	0.14	0.14	0.16
Mn	3.56	3.54	3.15	3.06	3.52	4.60	4.56	4.12	4.72	4.76	4.57	4.65	4.62	4.55	4.64	4.51	4.59	4.57	4.71	4.86	4.57	4.74	4.67
Mg	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.02	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04
Ni	24.01	24.01	24.01	24.02	24.01	24.01	24.00	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.02	24.01	24.02	24.02	24.01	24.02	24.01	24.04	24.03	24.00	24.00
Sum	0.44	0.44	0.40	0.38	0.44	0.57	0.57	0.52	0.59	0.60	0.57	0.58	0.58	0.57	0.58	0.57	0.58	0.58	0.59	0.61	0.57	0.60	0.59
Mg#	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	0.57															

جدول ۱۱- نتایج آنالیز نقطه‌ای کلینوپروکسن‌ها در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها (پیرنیا، ۱۳۸۶)

Rock Type Sample No.	Lherzolite (18)				Lherzolite (19)					Chromitite (20)			Harzburgite (21)				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5
SiO ₂	51.75	50.98	50.82	50.96	51.68	50.71	50.28	51.15	50.82	51.27	52.24	52.47	52.78	52.52	52.92	52.71	53.28
TiO ₂	0.16	0.09	0.21	0.09	0.20	0.21	0.16	0.15	0.19	0.02	0.05	0.11	0.26	0.29	0.26	0.29	0.25
Al ₂ O ₃	5.11	5.53	5.94	5.49	5.63	6.12	5.52	5.70	5.62	3.49	3.46	3.40	2.57	2.97	3.12	3.17	2.55
Cr ₂ O ₃	0.87	1.08	1.17	1.15	1.05	1.12	1.17	1.06	1.10	1.17	1.10	1.00	0.92	1.05	1.04	1.12	0.72
FeO	3.71	3.75	2.76	3.08	2.89	2.95	2.75	3.28	2.84	2.86	2.69	2.93	2.67	3.10	2.96	2.88	2.31
MnO	0.09	0.06	0.09	0.12	0.11	0.14	0.15	0.12	0.09	0.11	0.07	0.04	0.13	0.13	0.09	0.12	0.04
MgO	18.99	18.85	16.48	17.26	16.71	16.73	16.22	17.90	18.07	19.22	18.32	20.48	16.83	17.05	16.82	16.78	16.67
CaO	17.97	18.71	22.06	20.42	21.28	20.60	22.44	19.45	20.92	21.68	21.90	18.94	23.15	22.79	23.18	22.57	24.39
Na ₂ O	0.35	0.31	0.46	0.36	0.44	0.41	0.42	0.37	0.34	0.18	0.17	0.15	0.27	0.30	0.34	0.35	0.25
K ₂ O	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
NiO	0.11	0.09	0.04	0.04	0.01	0.06	0.04	0.07	0.07	0.06	0.08	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05	0.02
Total	99.10	99.44	100.03	99.00	100.00	99.04	99.14	99.24	100.06	100.06	100.08	99.56	99.61	100.23	100.77	100.04	100.49
Structural formula based on the 6 oxygens																	
Si	1.88	1.85	1.84	1.86	1.87	1.85	1.84	1.86	1.83	1.85	1.89	1.89	1.93	1.91	1.91	1.92	1.93
Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al ^{IV}	0.12	0.15	0.16	0.14	0.13	0.15	0.16	0.14	0.17	0.15	0.11	0.11	0.07	0.09	0.09	0.08	0.07
Al ^{VI}	0.10	0.08	0.10	0.10	0.11	0.12	0.08	0.11	0.07	0.00	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.04
Cr	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Fe ²⁺	0.10	0.06	0.03	0.07	0.09	0.08	0.02	0.08	0.01	0.09	0.03	0.04	0.07	0.06	0.06	0.08	0.04
Fe ³⁺	0.01	0.06	0.05	0.03	0.00	0.01	0.07	0.02	0.08	0.00	0.06	0.05	0.01	0.04	0.03	0.01	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	1.03	1.02	0.89	0.94	0.90	0.91	0.89	0.97	0.97	1.03	0.99	1.10	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90
Ca	0.70	0.73	0.86	0.80	0.83	0.81	0.88	0.76	0.81	0.84	0.85	0.73	0.91	0.89	0.90	0.88	0.95
Na	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mg#	0.91	0.95	0.96	0.93	0.91	0.92	0.98	0.92	0.99	0.92	0.97	0.97	0.93	0.94	0.93	0.92	0.96
Cr#	0.10	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.13	0.11	0.12	0.18	0.17	0.17	0.20	0.19	0.18	0.19	0.16

جدول ۱۳- نتایج آنالیز نقطه‌ای اسپینل‌های موجود در کرومیتیت‌های افیولیت نایین و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها (پیرنیا، ۱۳۸۶).

Sample No.	20	20	20	20	20	20	42	42
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.26	0.13
TiO ₂	0.20	0.23	0.18	0.21	0.19	0.19	0.26	0.25
Al ₂ O ₃	13.73	13.77	13.67	13.67	13.86	14.04	15.12	14.64
Cr ₂ O ₃	55.03	54.82	54.74	54.38	54.51	54.65	53.89	52.93
FeO	14.83	14.66	14.92	14.92	14.77	14.70	15.00	14.74
MnO	0.27	0.24	0.23	0.22	0.22	0.22	0.29	0.23
MgO	14.97	15.01	14.97	15.08	15.02	14.83	15.38	14.83
CaO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.03
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
NiO	----	----	----	----	----	----	0.17	0.17
Total	99.03	98.74	98.71	98.52	98.57	98.66	100.50	97.97
Formula units based on 32 oxygens.								
Fe ²⁺ /Fe ³⁺ assuming full site occupancy								
Si	0.000	0.001	0.000	0.009	0.000	0.003	0.065	0.034
Ti	0.038	0.044	0.034	0.040	0.036	0.036	0.048	0.048
Al	4.107	4.127	4.100	4.105	4.157	4.213	4.443	4.412
Cr	11.037	11.019	11.014	10.952	10.967	10.995	10.620	10.697
Fe ²⁺	2.385	2.370	2.377	2.338	2.359	2.426	2.307	2.378
Fe ³⁺	0.771	0.757	0.808	0.853	0.794	0.711	0.831	0.784
Mn	0.011	0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	0.016	0.004
Mg	5.660	5.688	5.676	5.725	5.697	5.626	5.713	5.651
Ca	0.000	0.002	0.004	0.000	0.004	0.004	0.007	0.006
Na	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
Ni	----	----	----	----	----	----	0.034	0.034
Total	24.009	24.012	24.014	24.021	24.014	24.015	24.083	24.050
Mg#	0.704	0.706	0.705	0.710	0.707	0.699	0.712	0.704
Cr#	0.729	0.728	0.729	0.727	0.725	0.723	0.705	0.708
Fe ³⁺ #	0.048	0.048	0.051	0.054	0.050	0.045	0.052	0.049

جدول ۱۲- نتایج آنالیز نقطه‌ای ارتوپروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها (پیرنیا، ۱۳۸۶).

Rock Type Sample No.	Lherzolite (18)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	54.08	54.53	54.15	54.32	54.26	54.50	55.92	55.95
TiO ₂	0.04	0.05	0.10	0.08	0.06	0.05	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	4.55	4.39	5.03	4.19	4.44	4.67	2.67	2.62
Cr ₂ O ₃	0.68	0.69	0.78	0.64	0.62	0.63	0.65	0.73
FeO	6.11	6.17	6.11	6.09	6.07	6.14	5.43	5.61
MnO	0.12	0.15	0.13	0.14	0.16	0.16	0.15	0.15
MgO	31.89	32.18	31.38	32.59	31.44	31.84	33.71	33.52
CaO	1.76	1.41	1.47	1.31	1.91	1.53	1.41	1.37
Na ₂ O	0.03	0.02	0.04	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01
K ₂ O	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02
NiO	0.12	0.10	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.09
Total	99.38	99.70	99.30	99.50	99.10	99.62	100.07	100.07
Structural formula based on the 6 oxygens								
Si	1.88	1.89	1.89	1.89	1.90	1.90	1.93	1.93
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ^{IV}	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.07	0.07
Al ^{VI}	0.07	0.07	0.10	0.06	0.08	0.09	0.03	0.04
Cr	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Fe ²⁺	0.15	0.17	0.18	0.14	0.18	0.18	0.13	0.15
Fe ³⁺	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Mg	1.66	1.67	1.63	1.69	1.64	1.65	1.73	1.72
Ca	0.07	0.05	0.06	0.05	0.07	0.06	0.05	0.05
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mg#	0.92	0.91	0.90	0.92	0.90	0.90	0.93	0.92
Cr#	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.08	0.14	0.16

بحث

پی بردن به ماهیت اولیه پریدوتیت‌های گوشته مورد بررسی بهتر است که پتروگرافی و ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها به عنوان کانی‌های به ارث رسیده از گوشته اولیه بررسی شود. به‌منظور دسترسی به جواب پرسش‌های مطرح شده در قسمت مقدمه، ابتدا دلیل تشکیل کرومیتیت در افیولیت‌های مزوزویک و نبود آن در افیولیت‌های پرکامبرین یا پالئوزویک، و سپس به بررسی دلیل اختلاف ترکیب شیمیایی کرومیتیت‌های موجود در افیولیت‌های نایین و عشین پرداخته خواهد شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در فرآیند تشکیل کرومیتیت در پریدوتیت‌های گوشته عوامل زیر دارای نقش اساسی هستند (Arai, 1997): (۱) ترکیب پریدوتیت گوشته اولیه که از ذوب‌بخشی آن مذاب بازالتی صعود کننده به‌دست می‌آید؛ (۲) درصد ذوب‌بخشی صورت گرفته و حجم مذاب به‌دست آمده، که با عامل شماره یک ترکیب مذاب اولیه را تعیین می‌کنند؛ (۳) ترکیب ارتوپروکسن و کلینوپروکسن پریدوتیتی که مذاب از درون آن عبور می‌کند، و (۴) ذوب‌بخشی‌های پی در پی و ورود ماگمای اولیه بعدی که با ماگمای تغییر یافته مخلوط شود.

در این بخش ۴ عامل فوق بررسی می‌شود. در انجام این بررسی از جدول ۱۴ که برگرفته از داده‌های موجود در جدول‌های ۳ تا ۱۳ است استفاده خواهد شد.

(۱) ترکیب غالب پریدوتیت‌های گوشته در افیولیت‌های جندق و انارک لرزولیت‌های تقریباً زیاست در صورتی که در افیولیت‌های نایین و عشین سنگ غالب هارزبورگیت‌های تقریباً تهی شده هست. همان طور که قبلاً اشاره شد هرچند که این افیولیت‌ها با یکدیگر فاصله زیادی ندارند اما از نظر زمانی با یکدیگر بسیار اختلاف داشته و یک گروه متعلق به مزوزویک و

Zhou و همکاران (۱۹۹۴) تشکیل کانسارهای کرومیت انبانی را نتیجه ذوب‌بخشی گوشته بالایی می‌دانند. این پژوهشگران معتقدند که کرومیتیت‌های غنی از Cr از ماگماهایی به‌وجود می‌آیند که حاصل ذوب‌بخشی درجه بالای پریدوتیت‌های گوشته هستند، در حالی که کرومیتیت‌های غنی از Al در ارتباط با ماگماهایی هستند که از ذوب‌بخشی درجه پایین پریدوتیت‌های گوشته بالایی به‌وجود آمده‌اند. در این مدل، ارتوپروکسن و کلینوپروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های لرزولیتی گوشته که سنگ دیواره ماگماهای بازالتی در حال صعود هستند، بر اثر تماس با مذاب‌های صعود کننده ذوب شده و آنچه در دیواره باقی می‌ماند الیون است که تشکیل غلاف دونیتی را می‌دهد. به طرف خارج، فقط کلینوپروکسن‌ها ذوب می‌شوند و آنچه باقی می‌ماند ارتوپروکسن و الیونی است که تشکیل منطقه هارزبورگیتی را می‌دهد که در بیرون غلاف دونیتی قرار دارد. این منطقه هارزبورگیتی بطرف خارج توسط منطقه لرزولیت احاطه شده است. ذوب نامتجانس ارتوپروکسن‌ها، از طرفی تولید الیون‌های جایگزینی را کرده که تشکیل دهنده اصلی دونیت‌ها بوده، از طرفی تولید SiO_2 را می‌کند که این SiO_2 باعث ورود ماگمای بازالتی به داخل حوزه پایداری کرومیت می‌شود و در نتیجه، کرومیت متبلور می‌شود (برگرفته از شهاب‌پور، ۱۳۸۴ با تغییرات).

با توجه به مطلب فوق می‌توان متوجه شد که اسپینل‌ها و الیون‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته اولیه نبوده، بر اثر واکنش مذاب صعود کننده با سنگ دیواره به‌وجود آمده‌اند. در حالی که ارتوپروکسن‌ها و کلینوپروکسن‌هایی که باقی مانده‌اند کانی‌های اولیه لرزولیت‌های گوشته محسوب می‌شوند. بنابراین، برای

ترتیب که انحنای لیکویدوس فازنمودار (انحنای خط مرزی الیوین - اسپینل) در لرزولیت‌ها نسبت به هارزبورگیت‌ها بسیار کمتر بوده، ماگمای مخلوط دارای درجه بسیار کمی از فوق اشباع بودن از اسپینل برای تمرکز اسپینل است. با توجه به شکل ۲ مشخص است که در صورت مخلوط شدن دو مذاب با یکدیگر نقطه ترکیبی مذاب مخلوط ممکن است در میدان اسپینل قرار نگیرد یا اینکه مقدار اسپینل به دست آمده بسیار اندک باشد. با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان گفت که سیستم هارزبورگیت‌های نیمه‌دیرگداز (افیولیت‌های نایین و عشین)، نسبت به سیستم لرزولیت‌های زایا (افیولیت‌های انارک و جندق)، استعداد و قابلیت بسیار بیشتری در متبلور نمودن اسپینل و تشکیل کرومیتیت دارند.

گروه دیگر متعلق به پرکامبرین یا پالئوزوییک هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کرومیتیت‌های انبانی در لرزولیت‌های زایا و هارزبورگیت‌های شدیداً دیرگداز معمولاً غایب بوده، یا دارای حجم بسیار کمی هستند (Leblanc and Violette, 1983). دلیل این مسأله مقدار کم Cr# درگیر در سیستم لرزولیتی بخصوص مقدار کم این فاکتور در پیروکسن‌های موجود در لرزولیت‌هاست. سیستم لرزولیتی برای تمرکز اسپینل و تشکیل کرومیتیت بسیار پایین بوده، مذاب مخلوط دارای درجه پایینی از فوق اشباع بودن از اسپینل است. بهترین سیستم پریدوتیتی برای تشکیل کرومیتیت‌های انبانی هارزبورگیت‌های نیمه‌دیرگداز است. شکل سیستم الیوین - اسپینل - کوارتز (شکل ۲) در سیستم‌های لرزولیتی و هارزبورگیتی با یکدیگر متفاوت است. بدین

جدول ۱۳- نتایج آنالیز نقطه‌ای اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین و محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها (پیرنیا، ۱۳۸۶).

Rock Type Sample No.	Lherzolite (18)		Lherzolite (19)		Harzburgite (21)			Dunite (25)	
	73	74	68	69	46	47	48	5	80
SiO ₂	0.119	0.000	0.001	0.000	0.015	0.005	0.000	0.000	0.02
TiO ₂	0.058	0.047	0.054	0.069	0.053	0.024	0.038	0.434	0.31
Al ₂ O ₃	49.985	48.612	49.133	50.356	32.952	33.248	32.757	26.801	15.98
Cr ₂ O ₃	17.415	18.667	18.812	17.636	34.833	34.496	34.745	35.961	52.73
FeO*	12.612	12.536	12.788	12.468	16.173	15.829	16.105	23.786	14.87
MnO	0.125	0.146	0.135	0.118	0.202	0.209	0.201	0.293	0.21
MgO	18.261	18.047	18.269	18.387	15.205	15.406	14.711	11.865	14.98
CaO	0.016	0.000	0.006	0.017	0.011	0.024	0.000	0.007	0.02
Na ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.03
K ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.01
NiO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15
Total	98.591	98.055	99.198	99.051	99.444	99.241	98.557	99.147	99.31
Structural formula based on the 32 oxygens									
Si	0.026	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000
Ti	0.009	0.008	0.009	0.011	0.009	0.004	0.007	0.080	0.059
Al	12.768	12.546	12.535	12.797	9.066	9.140	9.113	7.721	4.728
Cr	2.984	3.232	3.220	3.007	6.429	6.362	6.484	6.950	10.461
Fe ⁺²	2.108	2.089	2.087	2.075	2.678	2.600	2.789	3.693	2.441
Fe ⁺³	0.178	0.207	0.228	0.174	0.479	0.487	0.389	1.169	0.687
Mn	0.023	0.027	0.025	0.022	0.040	0.041	0.040	0.061	0.000
Mg	5.901	5.892	5.896	5.911	5.292	5.325	5.177	4.324	5.602
Ca	0.004	0.000	0.001	0.004	0.003	0.006	0.000	0.002	0.000
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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
Total	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.007
Mg#*	0.737	0.738	0.739	0.740	0.664	0.672	0.650	0.539	0.782
Cr#	0.19	0.20	0.20	0.19	0.41	0.41	0.42	0.47	0.689
Fe ⁺³ #	0.011	0.013	0.014	0.011	0.030	0.030	0.024	0.074	0.043

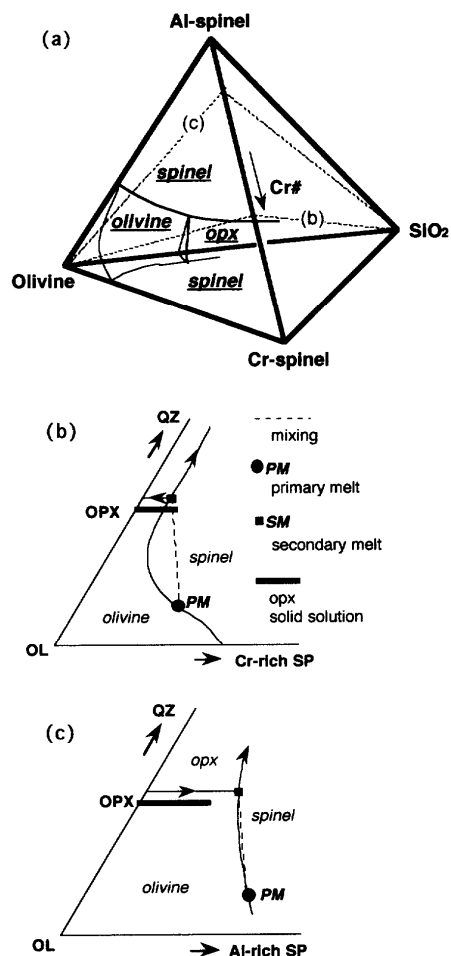
*Cr# = Cr/(Cr+Al) atomic ratio, Mg# = Mg/(Mg+Fe⁺²) atomic ratio, Fe⁺³# = Fe⁺³/(Fe⁺³+Cr+Al) atomic ratio

ذوب بخشی بالاتر است. پرواضح است که هرچه مقدار درصد ذوب بخشی در پریدوتیت های گوشته بالاتر باشد، مقدار Cr، Fe و Mg مذاب حاصله (یعنی همنه های مورد نیاز برای تبلور اسپینل) نیز افزایش خواهد یافت. مقدار درصد پایین ذوب بخشی در پریدوتیت های گوشته افیولیت جندق و انارک نیز توجیه کننده نبود کرومیتیت در این دو افیولیت است.

(۳) ترکیب ارتوپروکسن و کلینوپروکسن موجود در پریدوتیتی که مذاب صعود کننده با آن واکنش می دهد (بخصوص مقدار Cr# آنها) نیز دارای اهمیت بسزایی است. بررسی داده های میکروپروب کانی ها (جدول ۱۴) نشان می دهد که مقدار Cr₂O₃ و Cr# کلینوپروکسن های موجود در پریدوتیت های گوشته این چهار افیولیت با یکدیگر اختلاف فاحشی نداشته اما ارتوپروکسن های موجود در افیولیت های نایین و عشین به طور درخور ملاحظه ای با یکدیگر متفاوت هستند.

با توجه به مطالب فوق عدم تشکیل کرومیتیت در افیولیت های انارک و جندق را می توان به مقدار درصد پایین ذوب پیروکسن ها، فعال نبودن گوشته در تشکیل مداوم مذاب و لرزولیتی بودن سیستم گوشته دانست. اما اختلاف ترکیب کرومیتیت های موجود در افیولیت های نایین و عشین را می توان به متفاوت بودن ترکیب شیمیایی پیروکسن ها و به خصوص ارتوپروکسن های آنها نسبت داد. در ارتوپروکسن های افیولیت نایین مقدار Cr₂O₃ و Cr# به طور درخور توجه ای بیش از افیولیت عشین بوده، در عوض مقدار Mg# آنها کمتر است (جدول ۱۵).

هر چه مقدار Cr₂O₃ و Cr# در ارتوپروکسن و کلینوپروکسن های سنگ دیواره بیشتر باشد، بعد از ذوب کلینوپروکسن و ارتوپروکسن ها بر اثر واکنش، مقدار Cr در مذاب حاصله افزایش یافته و



شکل ۲- تفاوت انحنای لیکوییدوس فاز نمودار Ol-Q-Spinel (انحنای خط مرزی الیون - اسپینل) در سیستم های (b) هارزبورگیتی و (c) لرزولیتی (Arai, 1997).

(۲) فراوانی لرزولیت و سهم عمده آن در پریدوتیت های گوشته افیولیت های جندق و انارک نشان می دهد که ذوب بخشی در این پریدوتیت های گوشته پدیده ای فراگیر نبوده، مقدار درصد ذوب بخشی که لرزولیت های گوشته تحمل کرده اند کمتر از ۱۰٪ بوده است (ترابی، ۱۳۸۳).

برخلاف این دو افیولیت قدیمی، در افیولیت های نایین و عشین، هارزبورگیت ها دارای فراوانی بیشتری نسبت به لرزولیت ها هستند که بیانگر رخداد درجات

احتمال تبلور و تجمع اسپینل و تشکیل کرومیتیت
افزایش Cr_2O_3 می‌یابد. متوسط Cr_2O_3 کرومیتیت
کلینوپیروکسن‌های افیولیت نایین نیز حدود ۱۰٪
بیش از کلینوپیروکسن‌های افیولیت عشین است.

جدول ۱۵- مقایسه فاکتورهای مختلف پترولوژی و کانی‌شناسی چهار افیولیت نایین، عشین، انارک و جندق (برگرفته از جدول‌های ۳ تا ۱۴).

Ophiolite	Jandaq	Anarak	Ashin	Naein
Age	Proterozoic or Paleozoic	Proterozoic or Paleozoic	Mesozoic	Mesozoic
Dominant Mantle Peridotite	Lherzolite	Lherzolite	Harzburgite	Harzburgite
Chromitite	No	No	Yes (High-Al)	Yes (High-Cr)
Clinopyroxene Type	Diopside	Diopside	Diopside	Diopside and Augite
Clinopyroxene Cr_2O_3 Content	0.71-1.31 (Av.: 1.06)	0.55-1.18 (Av.: 0.86)	0.74-1.31 (Av.: 0.94)	0.72-1.17 (Av.: 1.05)
Clinopyroxene Al_2O_3 Content	2.34-6.49 (Av.: 4.03)	3.95-6.51 (Av.: 4.94)	2.57-7.13 (Av.: 3.87)	2.55-6.12 (Av.: 4.44)
Clinopyroxene Cr#	0.100-0.200 (Av.: 0.155)	0.079-0.160 (Av.: 0.105)	0.072-0.188 (Av.: 0.149)	0.102-0.197 (Av.: 0.145)
Clinopyroxene Mg#	0.914-0.966 (Av.: 0.941)	0.917-0.982 (Av.: 0.928)	0.877-0.983 (Av.: 0.938)	0.909-0.993 (Av.: 0.943)
Orthopyroxene Cr_2O_3 Content	----	----	0.21-0.66 (Av.: 0.458)	0.62-0.78 (Av.: 0.676)
Orthopyroxene Al_2O_3 Content	----	----	3.14-5.68 (Av.: 4.596)	2.62-5.03 (Av.: 4.068)
Orthopyroxene Cr#	----	----	0.045-0.072 (Av.: 0.061)	0.081-0.157 (Av.: 0.106)
Orthopyroxene Mg#	----	----	0.917-0.978 (Av.: 0.944)	0.902-0.928 (Av.: 0.913)
Chromitite Spinel Cr_2O_3 Content	----	----	38.23-43.59 (Av.: 39.98)	52.93-55.03 (Av.: 54.37)
Chromitite Spinel Cr#	----	----	0.472-0.573 (Av.: 0.501)	0.705-0.729 (Av.: 0.722)
Mantle Peridotite Spinel Cr_2O_3 Content	35.47-45.35 (Av.: 39.24)	37.82-41.86 (Av.: 39.71)	9.26-44.86	17.42-52.73
Mantle Peridotite Spinel Cr#	0.45-0.61 (Av.: 0.51)	0.474-0.539 (Av.: 0.494)	0.095-0.59	0.195-0.710

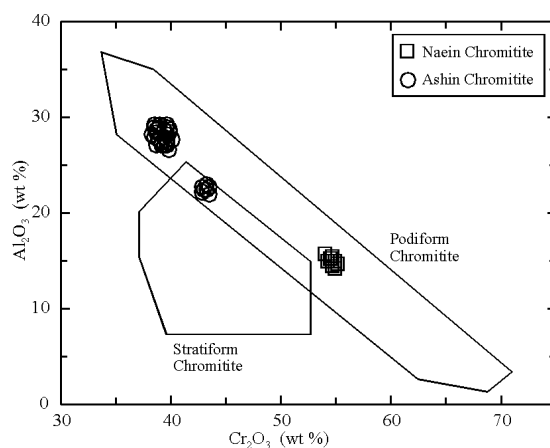
افیولیت‌های انارک و جندق نشان داده است که همگی یوهدرال (خودشکل) بوده، تنوع ترکیبی گسترده‌ای ندارند. در صورتی که اسپینل‌های موجود در افیولیت‌های مزوزوییک از لرزولیت به سمت کرومیتیت یوهدرال تر شده و مقدار Cr# آن‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته را می‌توان اسپینل‌های کومولوس حاصل واکنش مذاب بازالتی با سنگ دیواره پریدوتیتی در نظر گرفت که خود بیانگر اضافه نشدن ماگمای اولیه جدید به ماگمای تغییر یافته است. همه مواردی که در بالا به آن‌ها اشاره شد نبود کرومیتیت در افیولیت‌های قدیمی ایران مرکزی را توجیه می‌کند. به‌نظر می‌رسد همه عوامل ذکر شده دست به دست یکدیگر داده تا در افیولیت‌های انارک و جندق کرومیتیت تشکیل نشود. اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل عدم تشکیل کرومیتیت در درون این افیولیت‌ها لرزولیتی بودن سیستم گوشته و نبود ذوب‌بخشی مداوم و گسترده است.

(۴) ورود یا عدم ورود ماگمای اولیه جدید به محل واکنش مذاب با سنگ دیواره پریدوتیتی نیز یک عامل بسیار مهم است. اگر ماگمای جدید وارد محیط واکنش نشود تنها مقدار کمی اسپینل کومولوس حاصل واکنش مذاب با سنگ دیواره است تشکیل می‌شود. اما اگر مذاب اولیه جدید وارد شود درجه اشباع شدن از اسپینل در مذاب مخلوط بالاتر رفته و کرومیتیت تشکیل می‌شود. ورود ماگمای جدید و صعود پی در پی مذاب‌های حاصل ذوب‌بخشی، به پویایی گوشته در افزایش درجه ذوب‌بخشی و تولید حجم زیادی از مذاب بستگی دارد. بررسی‌های صحرایی افیولیت‌های جندق و انارک نشان می‌دهد که تعداد دایک‌ها، ضخامت آنها، و حجم گدازها نسبت به افیولیت‌های نایین و عشین که دارای کرومیتیت هستند درخور توجه نبوده که خود بیانگر عدم پویایی گوشته در ذوب‌بخشی مدام و تولید دایک‌ها و گدازهاست. بررسی پتروگرافی و شیمی اسپینل‌های موجود در همه انواع پریدوتیت گوشته

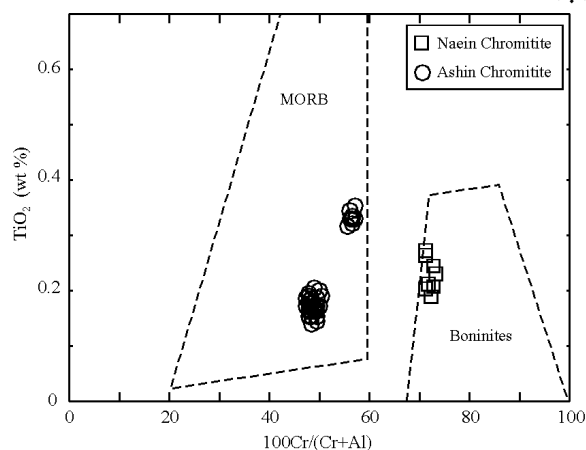
همان طور که قبلاً اشاره شد ارتوپروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت ناین نسبت به ارتوپروکسن‌های موجود در افیولیت عشین دارای Cr_2O_3 بیشتر و Al_2O_3 کم‌تری هستند (جدول ۱۳). دلیل وجود درجات ذوب‌بخشی بالاتر در افیولیت ناین نیز فراوان‌تر بودن هارزبورگیت در ناین نسبت به عشین است. ترکیب ماگمای در حال صعود که در حال واکنش با سنگ دیواره است نیز یکی از عوامل مهم دیگر در تعیین ترکیب شیمیایی کرومیتیت‌های حاصل از رخداد واکنش مذاب - گوشته است. بررسی‌های Arai (1992) نشان می‌دهد که مذاب‌هایی شبیه MORBها باعث تبلور اسپینل‌های غنی از Al، و مذاب‌های بونینیتی باعث تبلور اسپینل‌های غنی از Cr می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که مذاب واکنش‌گر در افیولیت ناین از نوع بونینیت (پیرنیا، ۱۳۸۶)، MORB (ترابی و همکاران، ۱۳۸۷) و بازالت‌های جزایر قوسی (Rahmani *et al.*, 2007)، و در افیولیت عشین شبیه MORB (ترابی، ۱۳۸۳) بوده است (شکل ۳). این مسأله نیز رخداد درجات ذوب‌بخشی بالاتر در گوشته افیولیت ناین را تایید می‌کند. درباره رابطه تشکیل یا عدم تشکیل و همچنین، نوع کرومیتیت با نوع محیط تکنیکی مجموعه‌های افیولیتی پژوهشگران متعددی مانند: Roberts (۱۹۸۸)، Matsumoto و Tomurtoogo (۲۰۰۳) و Arai (۱۹۹۲) مطالبی را ارائه کرده‌اند اما در این مورد اتفاق نظری وجود ندارد. تشکیل کرومیتیت در پشته‌های میان اقیانوسی به‌ندرت گزارش شده (Arai, 1997) و در صورت تشکیل از نوع غنی از Al هستند (Zhou, 1997). در بررسی‌های جدیدتر تشکیل کرومیتیت‌ها در مجموعه‌های افیولیتی به محیط‌های حاشیه‌ای و جزایر قوسی به‌دلیل حضور آب فراوان در محیط نسبت داده می‌شود (Matsumoto and

مقایسه ترکیب اسپینل‌ها در کرومیتیت‌های افیولیت‌های مزوزویک نشان می‌دهد که کرومیتیت‌های افیولیت عشین دارای Al_2O_3 درخور توجه و کرومیتیت‌های موجود در افیولیت ناین نیز دارای Cr_2O_3 زیادی هستند (شکل ۳). دلیل این اختلاف به متفاوت بودن ترکیب ارتوپروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته آنها، و وجود درجات ذوب‌بخشی بالاتر در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت ناین نسبت به پریدوتیت‌های گوشته افیولیت عشین است.

(الف)



(ب)



شکل ۳- موقعیت کرومیتیت‌های موجود در افیولیت‌های عشین و ناین در: الف) نمودار تعیین کننده نوع کرومیتیت (برگرفته از Bonavia و همکاران، ۱۹۹۳)، ب) نمودار نشان‌دهنده ماهیت مذاب با یک واکنش‌دهنده با سنگ دیواره پریدوتیتی به هنگام تشکیل کرومیتیت‌ها. محدوده ترکیب بونینیت‌ها و MORB برگرفته از Arai (۱۹۹۲) است.

محیط تکتونیکی افیولیت‌های مورد بررسی وجود دارد می‌توان گفت که افیولیت‌های نایین و عشین احتمالاً در محیط بالای زون فرورانش تشکیل شده و افیولیت‌های LOT انارک و جندق شبیه افیولیت‌های میان اقیانوسی و توده‌های لرزولیتی هستند.

نتیجه‌گیری

دلیل نبود کرومیتیت در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت‌های انارک و جندق، به لرزولیتی بودن سیستم گوشته، درصد پایین ذوب‌بخشی پریدوتیت‌های گوشته، و عدم پویایی گوشته در ذوب‌بخشی مداوم و تولید دایک‌ها و گدازه‌هاست. دلیل اختلاف ترکیب شیمیایی کرومیتیت‌های افیولیت‌های عشین و نایین نیز به متفاوت بودن ترکیب ارتوپروکسن‌های آنها، بالاتر بودن درجه ذوب‌بخشی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین، و متفاوت بودن ترکیب شیمیایی ماگمای واکنش‌گر در این دو افیولیت مربوط می‌شود.

(Tomurtogoo, 2003; Ravikant *et al.*, 2004). البته نمودارهای تکتونیکی ارائه شده درباره پریدوتیت‌ها و اسپینل‌ها بسیار ناقص بوده، همه چیز را از یکدیگر تفکیک نمی‌کنند (Nicolas, and Boudier, 2003).

در جدیدترین بررسی‌های انجام شده، محیط تکتونیکی افیولیت نایین و نوار افیولیتی نایین - بافت به محیط‌های جزایر قوسی (Rahmani *et al.*, 2007) و بالای زون فرورانش و حوضه‌های پشت کمان نسبت داده شده است (Moghadam *et al.*, 2008, 2009). ترابی (۱۳۸۳) بازالت‌های موجود در افیولیت عشین را از نظر ترکیب شیمیایی نزدیک به MORB می‌داند.

بررسی‌های انجام شده بر روی افیولیت‌های LOT انارک و جندق (ترابی، ۱۳۸۳؛ Torabi, ۲۰۰۹) شباهت آن‌ها به افیولیت‌های میان اقیانوسی و توده‌های لرزولیتی کوهزایی (Orogenic lherzolitic massif) را نشان می‌دهد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، ترکیب شیمیایی کرومیتیت‌ها و عدم توافقی که درباره سن و

منابع

- پیرنیا، ت. (۱۳۸۶) پترولوژی پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
- ترابی، ق. (۱۳۸۳) پترولوژی افیولیت‌های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان) با تاکید بر مطالعه سنگ‌های اولترامافیک - مافیک افیولیت شمال انارک و سنگ‌های اولترامافیک-مافیک ملائز افیولیتی عشین-زوار. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- ترابی، ق.، عبدالهی، ا. و شیردشت‌زاده، ن. (۱۳۸۷) استفاده از آنالیز کانی‌ها و سنگ کل در تشخیص پترونز گدازه‌های بالشی افیولیت نایین. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۲): ۱۶: ۲۹۵ تا ۳۱۲.
- جباری، ع. (۱۳۷۶) زمین‌شناسی و پترولوژی افیولیت نایین. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
- شهاب‌پور، ج. (۱۳۸۴) زمین‌شناسی اقتصادی. انتشارات دانشگاه شهید باهنر، کرمان.
- منوچهری، ش. (۱۳۷۶) بررسی پتروگرافی و پترولوژی افیولیت‌های شمال نایین. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

Almasian, M. (1997) Tectonics of the Anarak area (Central Iran). Ph.D. thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Arai, S. (1997) Control of Wall-rock composition on the formation of Podiform Chromitites as a result of

- Magma/Peridotite interaction. *Resource Geology* 47(4): 177-187.
- Arai, S. (1992) Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine* 56: 173-184.
- Bagheri, S. (2007) The exotic Paleo-tethys terrane in Central Iran: new geological data from Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam areas. Ph.D. thesis, Faculty of Geosciences and Environment, University of Leusanne, Switzerland.
- Bonavia, F. F., Diella, V. and Ferrario, A. (1993) Precambrian podiform chromitites from Kenticha Hill, southern Ethiopia. *Economic Geology* 88(1): 198-202.
- Davoudzadeh, M. (1972) Geology and petrography of the area north of Nain, Central Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Report No. 14.
- Davoudzadeh, M. (1997) Geology of Iran, In: E. M. Moores and R. W. Fairbridge (Eds.): *Encyclopedia of Asian and European Regional Geology*, Chapman and Hall, London.
- Droop, G. T. R. (1987) A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* 51: 431-435.
- Kelemen, P. B., Dick, H. J. B. and Quick, J. E. (1992) Formation of harzburgite by pervasive melt-rock reaction in the upper mantle. *Nature* 358: 635-641.
- Kelemen, P. B., Braun, M. and Hirth, G. (2000) Spatial distribution of melt conduits in the mantle beneath oceanic spreading ridges: Observations from the Ingalls and Oman ophiolites. *G3 (Geochemistry, Geophysics, Geosystems)*, 1 (7).
- Kuo, L. C. and Kirkpatrick, R. J. (1985) Dissolution of mafic minerals and its implications for the ascent velocities of peridotite-bearing basalts magmas. *Journal of Geology* 93: 691-700.
- Leblanc, M. and Violette, J. F. (1983) Distribution of aluminum-rich and chromium-rich chromite pods in ophiolite peridotites. *Economic Geology* 78: 293-301.
- Matsumoto, I., and Tomurtogoo, O. (2003) Petrological characteristics of the Hantaishir ophiolite complex, Altai region, Mongolia: Coexistence of podiform chromitite and boninite. *Gondwana Research* 6: 161-169.
- Moghadam, H. S., Rahgoshay, M. and Whitechurch, H. (2008) Mesozoic back-arc extension in the active margin of the Iranian continental block: constrains from age and geochemistry of the mafic lavas. *Ophiolite* 33(2): 95-103.
- Moghadam, H. S., Whitechurch, H., Rahgoshay, M. and Monsef, I. (2009) Significance of Nain-Baft ophiolitic belt (Iran): Short-lived, transtensional Cretaceous back-arc oceanic basins over the Tethyan subduction zone. *Comptes Rendus Geoscience* 341: 1016-1028.
- Nicolas, A. (1989) *Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Nicolas, A. and Al-Azri, H. (1990) Chromite-rich and chromite-poor ophiolites: the Oman case. *Proceedings of the ophiolite conference, Held in Muscat, Oman*.
- Nicolas, A. and Boudier, F. (2003) Where ophiolites come from and what they tell us. *Geological Society Special Papers* 373: 137-152.
- Pessagno, E. A., Jr., Ghazi, A. M., Kariminia, S. M., Duncan, R. A., and Hassanipak, A. A. (2004) Tectonostratigraphy of the Khoy complex, Northwestern Iran. *Stratigraphy* 1(2): 49-63.
- Rahmani, F., Noghreyan, M. and Khalili, M. (2007) Geochemistry of sheeted dikes in the Nain ophiolite (Central Iran). *Ophiolite* 32(2): 119-129.
- Ravikant, V., Tapan P. and Dipankar, D. (2004) Chromite from the Nidar ophiolite and Karzok Complex,

- Transhimalaya, eastern Ladakh: their magmatic evolution. *Journal of Asian Earth Sciences* 24: 177-184.
- Reyer, D. and Mohafez, S. (1972) The first contribution of the NIOC-ERAP agreements to knowledge of Iranian geology. Edition technic, Paris.
- Roberts, S. (1988) Ophiolitic chromitite formation: A marginal Basin phenomenon?. *Economic Geology* 83: 1034-1036.
- Sharkovski, M., Susov, M. and Krivyakin, B. (1984) Geology of the Anarak area (Central Iran), Explanatory text of the Anarak quadrangle map, 1:250,000. V/O Technoexport Report TE/No. 19, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Torabi, G. (2009) Chromitite potential in mantle peridotites of the Jandaq ophiolite (Isfahan province, Central Iran). *Comptes Rendus Geoscience* 341:982-992.
- Zhou, F. M., Robinson, P. T. and Bai, W. J. (1994) Formation of podiform chromitites by melt/rock interaction in the upper mantle. *Mineralium Deposita* 29: 98-101.
- Zhou, M. F. and Robinson, P. T. (1997) Origin and tectonic setting of podiform chromite deposits. *Economic Geology* 92: 259-262.
- Zhou, M. F., Sun, M., Keays, R. R. and Kerrich, R. W. (1998) Controls on platinum-group elemental distributions of podiform chromitites: a case study of the high-Cr and high-Al chromitites from Chinese orogenic belts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62: 677-688.
- Zhou, M. F., Robinson, P. T., Malpas, J. G., Aitchison, J. C., Sun, M., Bai, W. J., Hu, X. F. and Yang, J. S. (2001) Melt/rock interaction and melt evolution in the Sartohay high-Al chromite deposit of the Dalabute ophiolite (NW China). *Journal of Asian Earth Sciences* 19: 519-536.

Causes of different composition of chromitites in Naein and Ashin ophiolites, and its absence in Anark and Jandaq ophiolites (Isfahan province)

Ghodrat Torabi *

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

Abstract

There are two types of ophiolites in the west of Central Iran: Mesozoic ophiolites (Naein and Ashin), and Paleozoic or Precambrian ophiolites (Anarak and Jandaq). Field studies show that the Mesozoic ophiolites have considerable masses of chromitite, but there are no chromitite Anarak and Jandaq ophiolites. The study of Mesozoic ophiolites reveals that they have two different types of chromitites. The Naein chromitites are high-Cr whereas the Ashin chromitites are high-Al. The reasons for the chromitite absence in the Anarak and Jandaq ophiolites are lherzolitic system of mantle, low degree of partial melting in mantle rocks and the lack of sequential melt production by mantle. Different composition of orthopyroxenes, difference in degree of partial melting and chemistry of ascending melts are causes of compositional diversity of chromitites in Mesozoic ophiolites.

Key words: Ophiolite, Mantle peridotite, Chromitite, Central Iran

* torabighodrat@yahoo.com