بررسی شیمی کانی و شرایط دگرگونی آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی، پهنه مکران شمالی (جنوب شرق ایران)

مریم سوری[۱]، احمد احمدی خلجی[×۱]، جیامین وانگ[۲]، رسول اسمعیلی[۲ و ۳]، محمد ابراهیمی[۳]، میرمحمد میری[۴]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

۲- موسسه زمین‌شناسی و زمین‌فیزیک، آکادمی علوم چین

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان

۴- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

E-mail addresses: ahmadikhalaj.a@lu.ac.ir

تلفن: ۰۶۶۳۳۱۲۰۶۱۹، تاریخ تنظیم: ۱۴۰۳/۱۲/۵

چکیده

آمفیبولیت‌های مورد بررسی در نزدیکی دهستان هشت‌بندی از توابع شهرستان میناب قرار دارند. این آمفیبولیت‌ها بخشی از سنگ‌های دگرگونی کمربند افیولیتی مکران شمالی را تشکیل می‌دهند که به دو صورت جهت‌یافته و توده‌ای یافت می‌شوند. بر اساس کانی‌های شاخص، این سنگ‌ها شامل آمفیبولیت‌های معمولی، اپیدوت-گارنت آمفیبولیت و گارنت-پیروکسن آمفیبولیت هستند. کانی‌های تشکیل دهنده آمفیبولیت‌های معمولی شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز، آپاتیت، زیرکن، کوارتز و اسفن می باشد. علاوه بر این کانی‌ها، در گارنت-پیروکسن آمفیبولیت‌ها، گارنت و پیروکسن و در اپیدوت-گارنت آمفیبولیت‌ها، اپیدوت، گارنت و پیروکسن نیز دیده می‌شود. آمفیبول‌ها از نوع کلسیک بوده و عمدتا ترکیبی در محدوده‌ی مگنزیو تا فروهورنبلند دارند. کلینوپیروکسن‌ها از نوع کلسیک و بیشتر در محدوده دیوپسید قرار می‌گیرند. گارنت‌ها محدوده ترکیبی آلماندین تا گروسولار دارند و روند تغییرات ترکیب و عناصر Mn، Mg، Ca و Fe^{2+} از حاشیه به مرکز در آنها روند خاصی را نشان نمی‌دهد و حالت خطی دارد. عدم مشاهده منطقه‌بندی مشخص عناصر Mn، Mg، Ca و Fe^{2+} و الگوهای مسطح آنها بیانگر انتشار سریع در طی دگرگونی پیش‌رونده و در درجه حرارت بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است. پلاژیوکلازها در محدوده وسیعی از آلبیت تا لابرادوریت قرار می‌گیرند. اسفن‌ها در محدوده دگرگونی/گرمابی بوده و اپیدوت‌ها در زیرگروه اپیدوت رده بندی می‌شون. زمین‌دماسنجی هورنبلند- پلاژیوکلاز و زمین‌فشارسنجی Al در هورنبلند دمای ۶۹۰ - ۵۹۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۷/۹ – ۵/۵ کیلوبار برای آمفیبولیت‌های جهت‌یافته و دمای ۷۲۰ - ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۶-۴ کیلوبار برای آمفیبولیت‌های توده‌ای را نشان دادند. نمودار فازی دما-فشار (P-T) نشان می‌دهد که مجموعه آمفیبول + پلاژیوکلاز + اپیدوت + اسفن در دمای ۶۵۰ - ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشارکمتر از ۸ کیلوبار پایدار است که مطابق با نتایج دما- فشارسنجی هورنبلند - پلاژیوکلاز است. بر این اساس، آمفیبولیت‌های حاوی گارنت + پیروکسن درجه‌های دگرگونی بالاتری را تحمل کرده‌اند (دما بیشتر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بیش از ۸ کیلوبار).

واژه‌های کلیدی: *کلینوپیروکسن، گارنت، شیمی کانی، آمفیبولیت، مکران.*

مقدمه

آمفیبولیت‌ها از جمله سنگ‌های دگرگونی هستند که در اکثر مناطق دگرگونی یافت می‌شوند. این سنگ‌ها عمدتا متشکل از هورنبلند و پلاژیوکلاز هستند و می‌توانند دارای مقادیر فرعی از کانی‌های دیگری همچون گارنت و پیروکسن باشند. از این رو با

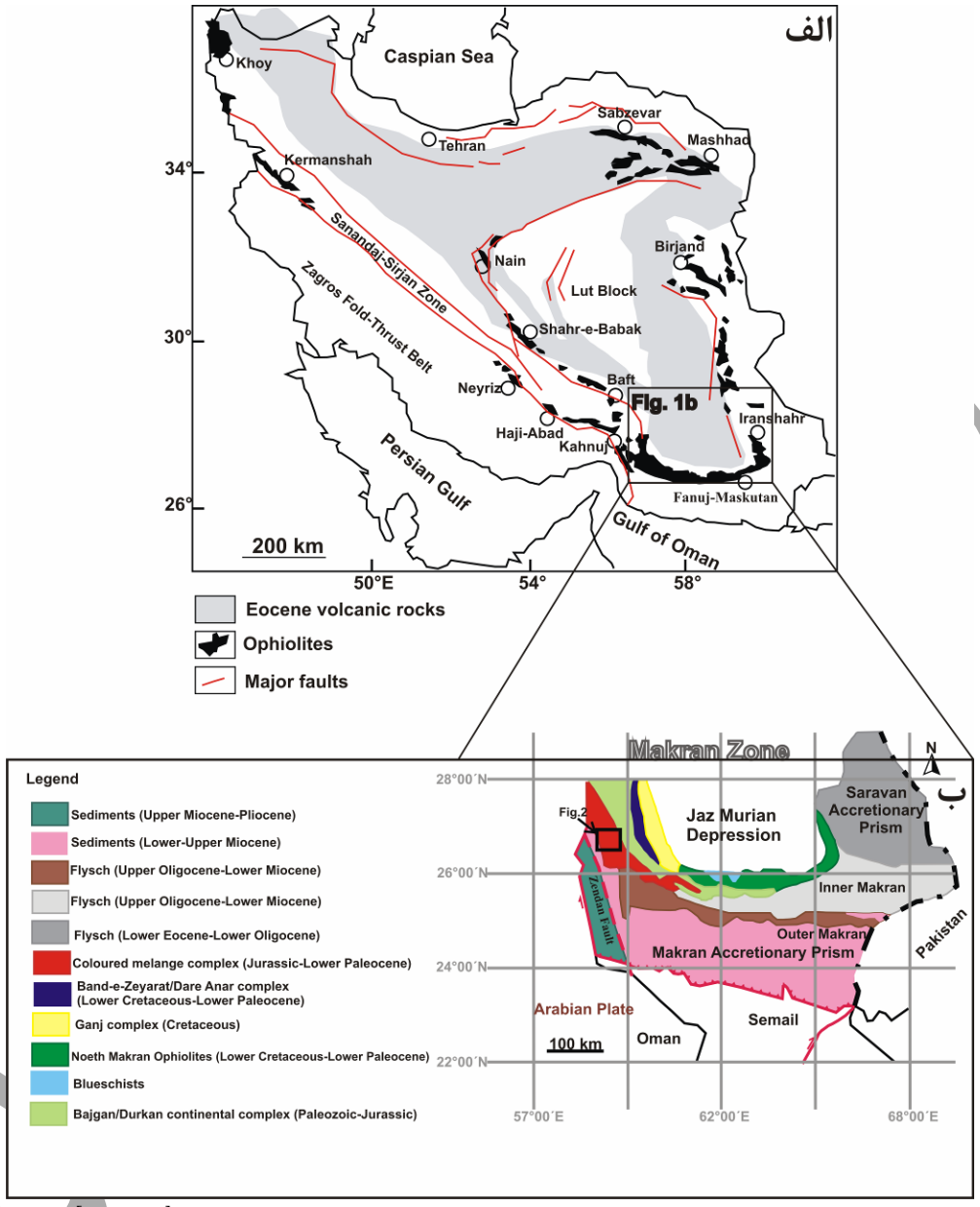
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

توجه به تنوع کانی‌های آنها، برای تعیین شرایط دگرگونی و بررسی تغییرات دما-فشار دگرگونی در طول زمان (P-T-t) استفاده می شوند[۱، ۲، ۳ و ۴]. آمفیبولیت‌ها را می‌توان براساس سنگ مادر به دو گروه پاراآمفیبولیت و ارتوآمفیبولیت تقسیم کرد. سنگ مادر پاراآمفیبولیت‌ها، رسوبی و سنگ مادر ارتوآمفیبولیت‌ها، سنگ‌های آذرین مافیک (عمدتا بازالت‌ها و به مقدار کمتر گابروها) هستند [۵]. بررسی آمفیبولیت‌ها به ویژه ارتوآمفیبولیت‌ها از دیرباز مورد توجه محققان بوده است. مطالعه و بررسی ژئوشیمی آمفیبولیت‌های مکران نشان می‌دهد این سنگ‌ها دارای خاستگاه آذرین با ترکیب بازالتی می‌باشند [۶، ۷ و ۸]. از آنجا که مطالعه و تعیین شرایط دگرگونی این نوع سنگ‌ها، نقش مهمی در بازسازی ژئودینامیکی کمربندهای کوهزایی دارد [۹] و ترکیب شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده آنها می‌تواند در شناخت ماهیت و شرایط تشکیل سنگ‌های دگرگونی موثر باشد [۱۰]، در این پژوهش برای شناخت ترکیب شیمیایی و شرایط دگرگونی مجموعه‌های کانیایی آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی واقع در پهنه ساختاری مکران شمالی در جنوب شرق ایران (شکل ۱- الف)، از تجزیه نقطه‌ای کانی‌های آمفیبول، پیروکسن، گارنت، پلاژیوکلاز، اسفن و اپیدوت در این سنگ‌ها استفاده شده است.

زمین شناسی عمومی

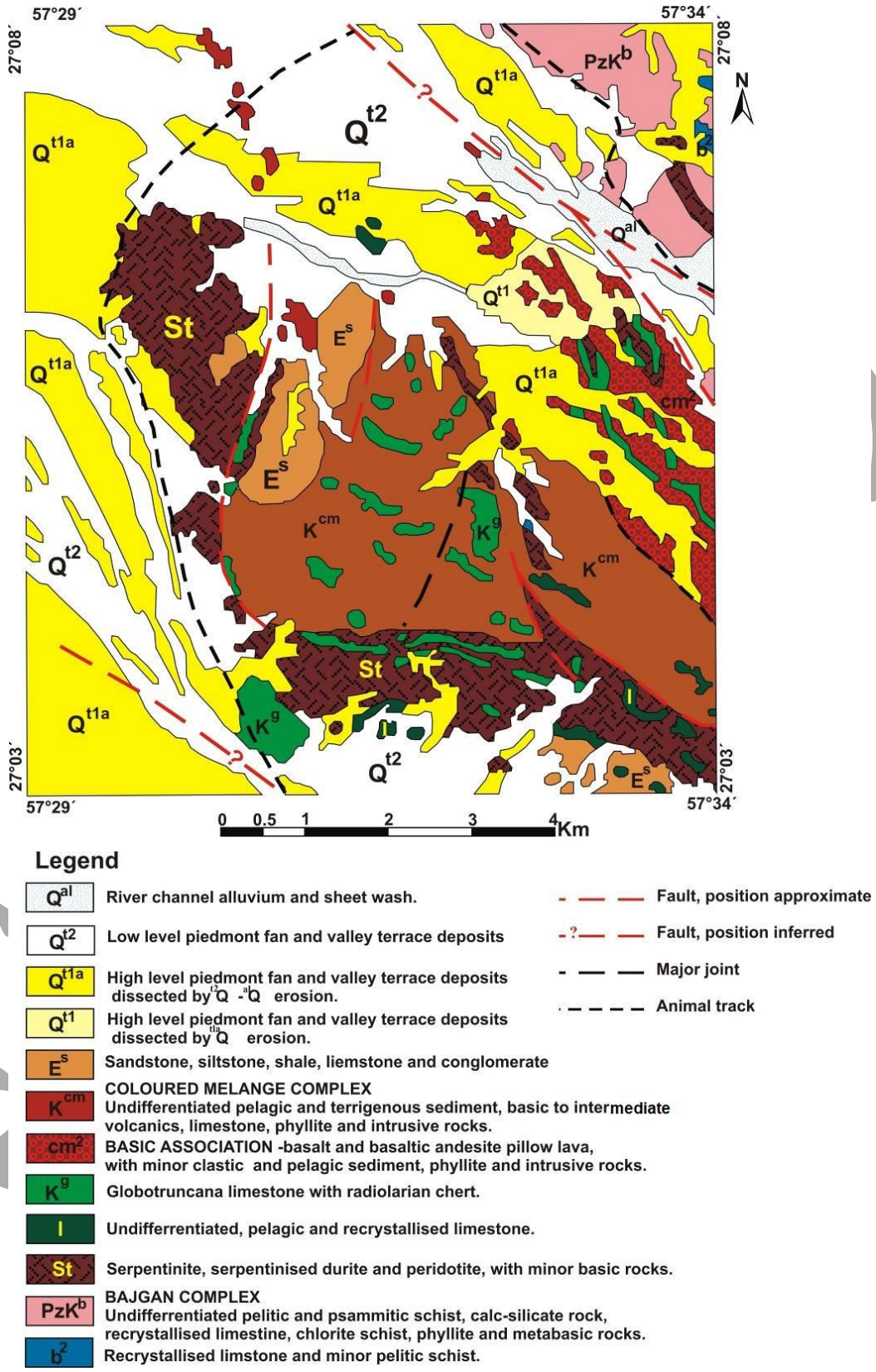
آمفیبولیت‌های مورد مطالعه از لحاظ موقعیت جغرافیایی در نزدیکی دهستان هشت‌بندی در فاصله ۶۰ کیلومتری شرق شهر میناب و در منطقه مکران شمالی در مجموعه برافزایشی مکران (MAC) واقع شده‌اند (شکل ۱-ب). در پهنه مکران شمالی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها، مخلوط‌های (ملانژهای) رنگی با بیرون‌زدگی‌های وسیعی نمایان هستند. قدیمی‌ترین سنگ‌های این پهنه را همین ملانژهای رنگی تشکیل می‌دهند که به کرتاسه فوقانی- پالئوسن تعلق دارند. پس از آن رسوبات ضخیم فلیش مانند ائوسن و الیگوسن بوده که تناوبی از ماسه‌سنگ، شیل و مارن است که روی مخلوط‌های رنگی فوق واقع شده‌اند. ترکیب اصلی پوسته اقیانوسی مرتبط با نئوتتیس شامل گدازه‌های بالشی کرتاسه پایین، توف‌های آندزیتی کرتاسه بالایی، آندزیت‌ها، هیالوکلاست‌ها، ریوداسیت‌ها، توف‌ها، شیست‌های آبی، آمفیبولیت‌ها، سرپانتینیت‌ها، رادیولاریت‌های کرتاسه زیرین، سنگ آهک‌های پلاژیک تا ریفی و ماسه‌سنگ‌های توربیدایتی است (شکل ۲). آمفیبولیت‌ها به صورت عدسی‌هایی به طور ناپیوسته در مرزهای تراستی با دیگر بخش‌های افیولیتی رخنمون دارند [۶ و ۷]. بزرگ‌ترین رخنمون آمفیبولیت‌ها بیش از چهار کیلومتر طول و یک کیلومتر عرض دارد. این سنگ‌ها دارای دانه‌های متوسط تا درشت با بافت‌های گرانوبلاستیک و گاهی جهت‌دار هستند. آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی با سرپانتینیت‌های جهت‌دار مرتبط هستند که نشان دهنده تماس با سایر قسمت‌های برش افیولیت است. در برخی نقاط، این آمفیبولیت‌ها با لایه‌ای از سنگ مرمر (کمتر از ۱ متر) به صورت بین لایه‌ای هستند که احتمالا معادل تغییر یافته توالی سنگ آهک پلاژیک - بازالت را نشان می‌دهد که یک توالی مرمر- آمفیبولیت را تشکیل می‌دهند. این آمفیبولیت‌ها از شمال بر روی سرپانتینیت‌ها و سایر قطعات آمیزه‌های افیولیتی رانده شده‌اند و از جنوب توسط رسوبات کواترنری هم مرز هستند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۱: الف- نقشه افیولیت‌های اصلی ایران که افیولیت مکران در کادر مستطیلی نشان داده شده است [۱۱ و ۱۲]. ب- نقشه ساده شده زمین‌شناسی پهنه مکران (اصلاح شده از [۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶]).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی ساده شده‌ای از منطقه مورد مطالعه براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ میناب [۱۷].

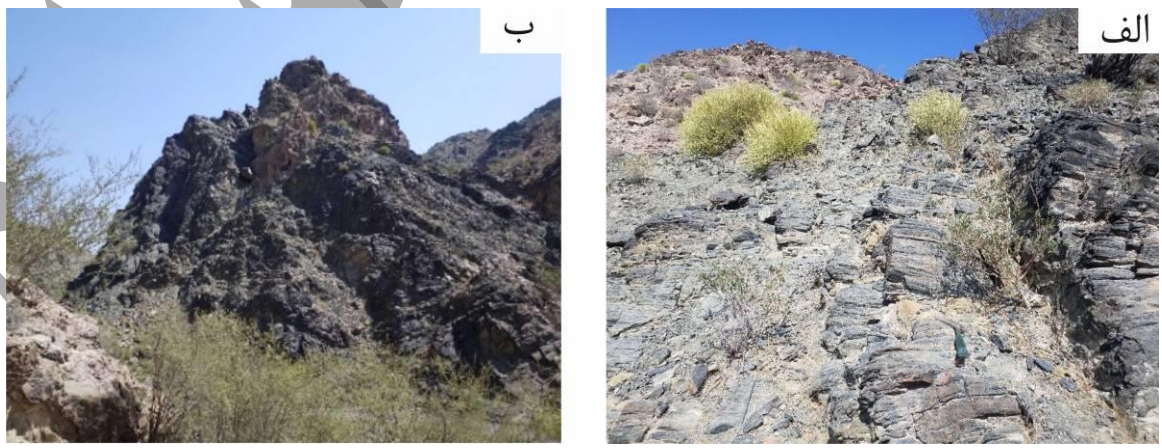
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

روش مطالعه

در طی مطالعات صحرایی، ۱۶۰ نمونه از انواع آمفیبولیت‌ها نمونه برداری شد. برای انجام کارهای آزمایشگاهی در ابتدا تعداد ۵۵ مقطع نازک میکروسکوپی از این سنگ‌ها تهیه و مطالعه گردید. سپس برای مطالعه شیمی کانی و شرایط دگرگونی، در ۶ مقطع نازک- صیقلی، کانی‌های شاخص شامل آمفیبول، پیروکسن، گارنت، پلاژیوکلاز، اسفن و اپیدوت با استفاده از دستگاه الکترون مایکروپروب Joel Jxa-8100 در موسسه زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، آکادمی علوم چین (IGG-CAS) با ولتاژ 15 kV و شدت جریان 10-20 nA مورد آنالیز نقطه ای قرار گرفت که نتایج آنها در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. پردازش و تفسیر داده‌ها نیز به کمک نرم‌افزارهای GCDkit، Excel و Corel Draw صورت گرفته است.

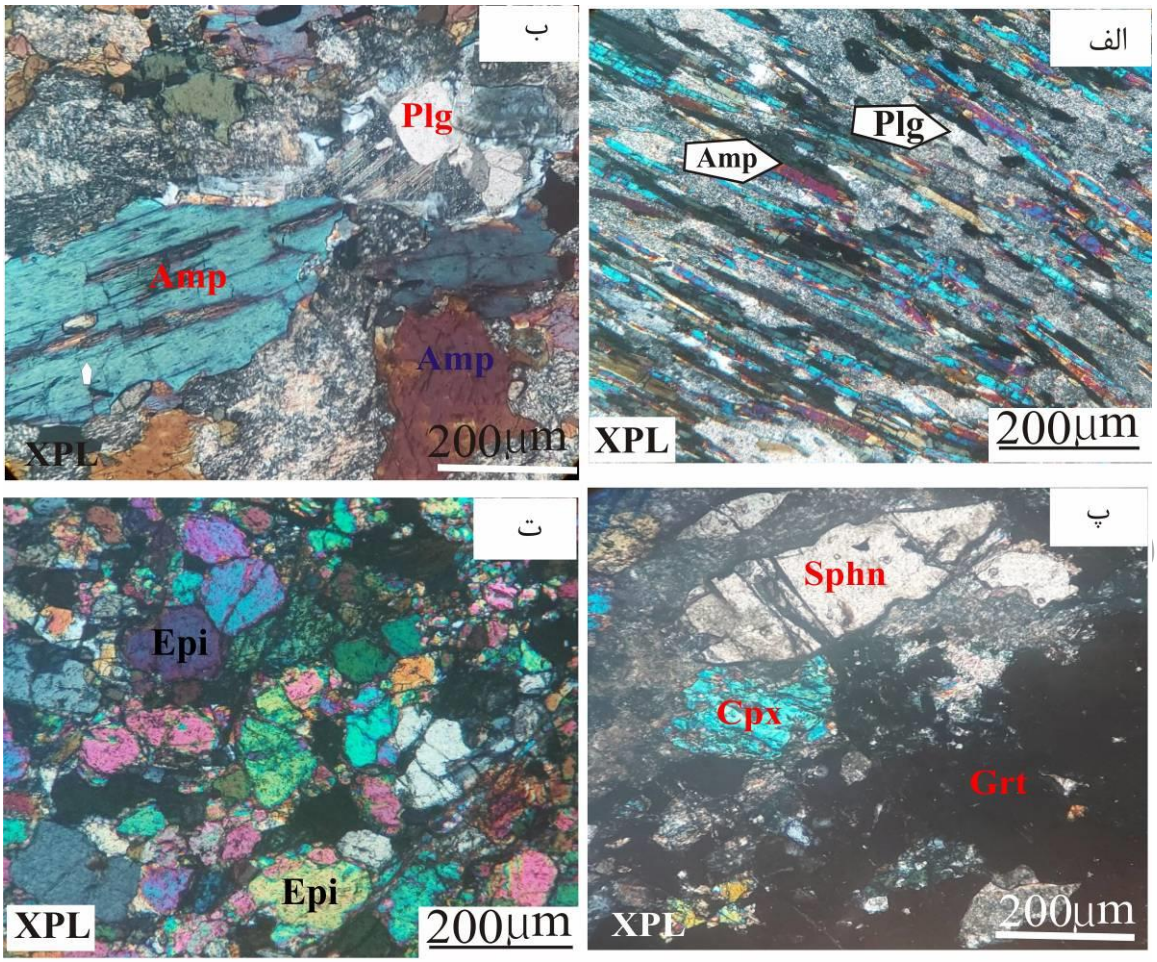
ویژگی‌های صحرایی و پتروگرافی

از نظر ساختاری و ظاهری، سنگ‌های آمفیبولیتی مورد مطالعه به دو صورت جهت‌یافته و توده‌ای یافت می‌شوند (شکل ۳) و براساس کانی‌های شاخص دگرگونی، این سنگ‌ها شامل انواع آمفیبولیت‌های معمولی (جهت‌یافته و توده‌ای)، اپیدوت- گارنت آمفیبولیت و گارنت- پیروکسن آمفیبولیت می‌باشند که به دلیل به هم ریختگی براحتی قابل تفکیک نیستند. آمفیبولیت‌های معمولی به رنگ سبز تیره تا تیره گاه دارای صفحه‌واره با تناوبی از لایه‌های غنی از پلاژیوکلاز و لایه‌های غنی از آمفیبول هستند (شکل۴ -الف) و گاه فاقد صفحه‌واره هستند (شکل ۴- ب). هورنبلند و پلاژیوکلاز مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده‌ی این آمفیبولیت‌ها می‌باشند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز، زیرکن، آپاتیت، کوارتز و اسفن می‌باشد (شکل ۴- الف و ب). گارنت-پیروکسن آمفیبولیت به صورت توده‌ای بوده در نمونه‌های دستی به رنگ سبز روشن تا سبز تیره و دارای بافت دانه‌ریز تا دانه‌درشت هستند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل گارنت، پیروکسن، آمفیبول، پلاژیوکلاز، زیرکن، کوارتز، آپاتیت و اسفن می‌باشد (شکل ۴- پ). اپیدوت-گارنت آمفیبولیت به صورت توده‌ای بوده، در نمونه‌های دستی به رنگ سبز روشن دیده می‌شوند که این رنگ به دلیل مقدار فراوان اپیدوت (۳۰ درصد حجمی سنگ) در این سنگ‌ها می‌باشد (شکل ۴- ت). کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز، اپیدوت، گارنت، پیروکسن، کوارتز و به مقدار کمتر کانی‌های کدر می‌باشد.



شکل ۳: تصاویر صحرایی آمفیبولیت‌های هشت‌بندی: الف- آمفیبولیت‌های جهت‌یافته، ب- آمفیبولیت‌های توده‌ای.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

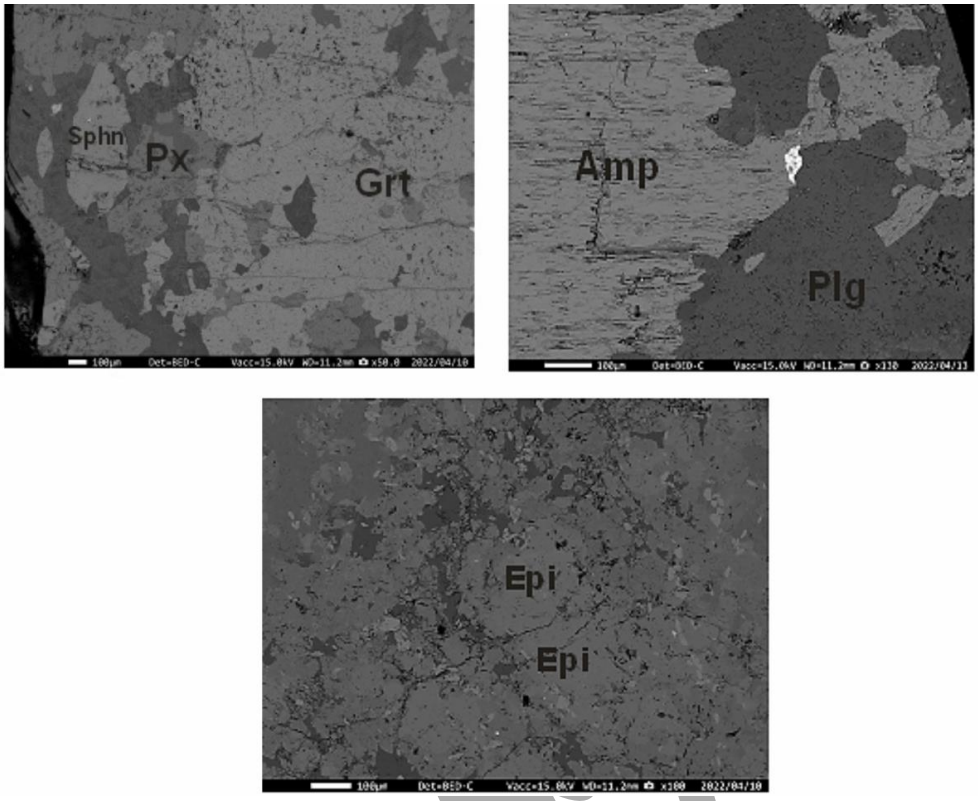


شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی آمفیبولیت‌های هشت‌بندی: الف- آمفیبولیت‌های معمولی جهت‌یافته، ب- آمفیبولیت‌های معمولی توده‌ای، پ- گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌ها، ت- اپیدوت - گارنت آمفیبولیت‌ها. آمفیبول (Amp)، پلاژیوکلاز(Plg)، گارنت(Grt)، اسفن(Sphen)، پیروکسن (Px) و اپیدوت(Epi).

شیمی کانی

برای مطالعه شیمی کانی و شرایط دگرگونی، در ۶ مقطع نازک- صیقلی، کانی‌های شاخص شامل آمفیبول، پیروکسن، گارنت، پلاژیوکلاز، اسفن و اپیدوت مورد آنالیز نقطه ای قرار گرفته اند (شکل ۵) که نتایج آنها در اینجا بررسی می‌شود. برای شناخت ترکیب شیمیایی و نوع آمفیبول در سنگ‌های آمفیبولیتی مکران، از تجزیه شیمیایی نقطه‌ای کانی آمفیبول در آمفیبولیت‌های معمولی استفاده شده است (جدول ۱). بر اساس این داده‌ها، آمفیبول‌های مورد مطالعه در گروه آمفیبول‌های کلسیمی [۱۸] قرار دارند (شکل ۶- الف) و عمدتا دارای گستره ترکیبی منیزیوهورنبلند و فروهورنبلند می‌باشند [۱۸] (شکل ۶- ب).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



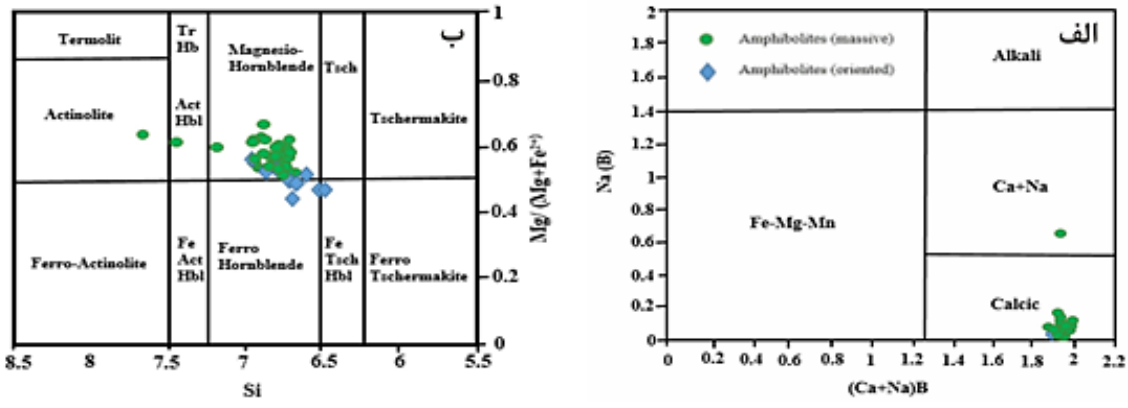
شکل ۵: تصاویر BSE از مجموعه کانی‌شناسی آمفیبولیت‌ها شامل آمفیبول (Amp)، پلاژیوکلاز(Plg)، گارنت(Grt)، اسفن(Sphen)، پیروکسن (Px) و اپیدوت(Epi).

جدول ۱: نتایج تجزیه ریزپردازش آمفیبول (۱۰ نقطه به عنوان نمونه) در آمفیبولیت‌های هشت‌بندی. تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری آمفیبول بر اساس ۲۳ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند.

Sample #	S-28-2-Amp1	S-28-2-Amp2	S-28-2-Amp3	S-38-1-Amp1	S-38-1-Amp2	S-38-1-Amp3	S-14-1-Amp1	S-14-1-Amp2	S-08-2-Amp1	S-08-2-Amp2
SiO_2	۴۳/۹۸	۴۴/۹۵	۴۵/۳۳	۴۶/۸۰	۴۵/۱۷	۴۵/۰۲	۴۴/۳۴	۴۵/۹۳	۴۵/۲۴	۴۵/۲۰
TiO_2	۰/۵۸	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۶۰	۰/۵۵	۱/۴۳	۱/۳۳	۱/۳۲	۱/۵۴
Al_2O_3	۱۱/۸۴	۱۱/۰۴	۱۰/۶۳	۹/۵۲	۱۱/۰۳	۱۰/۹۴	۹/۴۵	۹/۰۶	۹/۷۳	۹/۶۶
MnO	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۱۹
FeO	۱۷/۴۸	۱۵/۵۳	۱۷/۶۶	۱۲/۹۰	۱۳/۷۰	۱۳/۷۹	۱۶/۰۱	۱۶/۲۴	۱۴/۴۶	۱۴/۱۰
MgO	۹/۵۸	۹/۷۵	۹/۹۵	۱۲/۲۲	۱۱/۳۹	۱۱/۳۰	۱۰/۳۴	۱۰/۴۶	۱۱/۵۲	۱۱/۴۶
CaO	۱۱/۹۱	۱۱/۶۹	۱۱/۸۱	۱۲/۰۶	۱۲/۰۲	۱۱/۸۰	۱۱/۱۲	۱۱/۲۶	۱۱/۶۳	۱۱/۷۵
Na_2O	۱/۲۷	۱/۱۳	۱/۰۹	۱/۳۴	۱/۶۰	۱/۴۹	۱/۶۲	۱/۴۶	۱/۵۸	۱/۵۹
K_2O	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۵۹	۰/۶۰
Cr_2O_3	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۷
Total	۹۷/۱۵	۹۵/۳۹	۹۷/۶۹	۹۶/۰۶	۹۶/۱۰	۹۵/۳۶	۹۵/۱۷	۹۶/۴۵	۹۶/۴۵	۹۶/۱۶
XO	۹/۰۳	۹/۰۹	۸/۹۶	۸/۹۱	۸/۹۷	۹/۰۳	۹/۱۹	۹/۰۳	۸/۹۹	۹/۰۱
Si	۶/۶۱	۶/۸۰	۶/۷۶	۶/۹۴	۶/۷۴	۶/۷۷	۶/۷۸	۶/۹۰	۶/۷۷	۶/۷۸
Ti	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۷
Al	۲/۱۰	۱/۹۷	۱/۸۷	۱/۶۶	۱/۹۴	۱/۹۴	۱/۷۰	۱/۶۰	۱/۷۲	۱/۷۱
Cr	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

Fe	۲/۲۰	۱/۹۶	۲/۲۰	۱/۶۰	۱/۷۱	۱/۷۳	۲/۰۵	۲/۰۴	۱/۸۱	۱/۷۷
Fe^{3+}	۰/۴۷	۰/۱۴	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۰۶
Fe^{2+}	۱/۷۰	۱/۸۲	۱/۶۶	۱/۵۳	۱/۶۰	۱/۵۴	۱/۷۰	۱/۷۶	۱/۵۸	۱/۷۰
Mn	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲
Mg	۲/۱۵	۲/۲۰	۲/۲۱	۲/۷۰	۲/۵۴	۲/۵۳	۲/۳۶	۲/۳۴	۲/۵۷	۲/۵۶
Ca	۱/۹۲	۱/۸۹	۱/۸۹	۱/۹۲	۱/۹۲	۱/۹۰	۱/۸۲	۱/۸۱	۱/۸۶	۱/۸۹
Na	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۴۶	۰/۴۶
K	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۱
Tot	۱۵/۵۰	۱۵/۳۳	۱۵/۴۲	۱۵/۳۸	۱۵/۴۸	۱۵/۴۵	۱۵/۴۹	۱۵/۴۰	۱۵/۵۰	۱۵/۴۸
Si	۶/۶۱	۶/۸۰	۶/۷۶	۶/۹۴	۶/۷۴	۶/۷۷	۶/۷۸	۶/۹۰	۶/۷۷	۶/۷۸
Al^{IV}	۱/۳۹	۱/۲۰	۱/۲۴	۱/۰۶	۱/۲۶	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۱۰	۱/۲۳	۱/۲۲
Tsite	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰
Al^{VI}	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۸
Ti	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۷
Cr	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱
Fe	۲/۲۰	۱/۹۶	۲/۲۰	۱/۶۰	۱/۷۱	۱/۷۳	۲/۰۵	۲/۰۴	۱/۸۱	۱/۷۷
Mn	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲
Mg	۲/۱۵	۲/۲۰	۲/۲۱	۲/۷۰	۲/۵۴	۲/۵۳	۲/۳۶	۲/۳۴	۲/۵۷	۲/۵۶
Csite	۵/۱۳	۵/۰۴	۵/۱۵	۵/۰۲	۵/۰۳	۵/۰۵	۵/۱۰	۵/۰۸	۵/۰۶	۵/۰۲
C-5	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۲
Ca	۱/۹۲	۱/۸۹	۱/۸۹	۱/۹۲	۱/۹۲	۱/۹۰	۱/۸۲	۱/۸۱	۱/۸۶	۱/۸۹
Na	-۰/۰۵	۰/۰۷	-۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۹
Bsite	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
Na	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۳۷
K	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۱
Asite	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۴۸



شکل ۶: نمودارهای طبقه‌بندی برای آمفیبولیت‌های مورد مطالعه. الف) با توجه به نوع عناصر در موقعیت B ساختار بلوری [۱۸]، ب) بر اساس نمودار $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ نسبت به Si [۱۸].

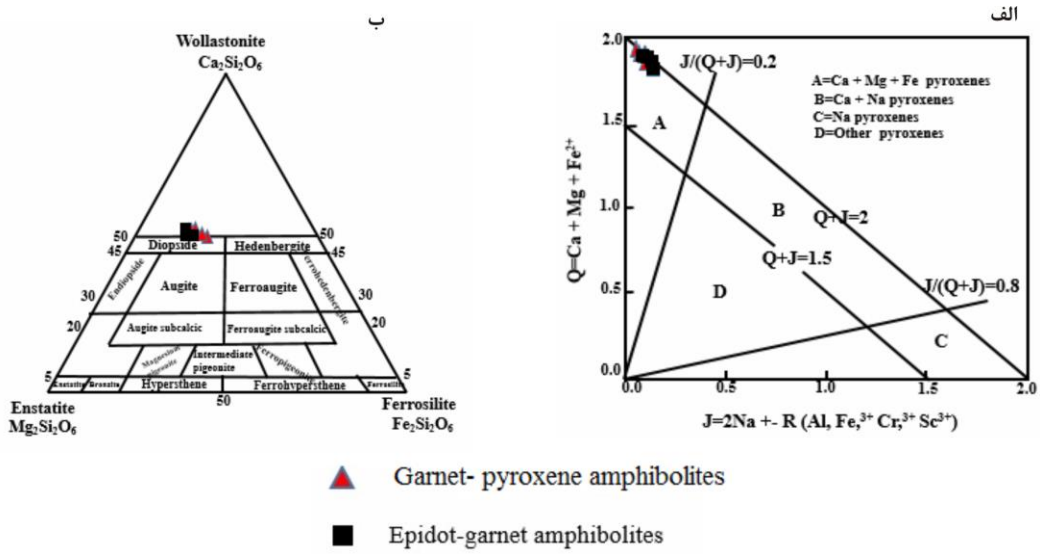
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

برای بررسی شیمی کانی پیروکسن در آمفیبولیت‌ها، تعداد ۲ نمونه (یک نمونه از گارنت - پیروکسن آمفیبولیت‌ها و یک نمونه از اپیدوت -گارنت آمفیبولیت‌ها) مورد آنالیز نقطه‌ای قرار گرفت (جدول ۲). بر اساس این داده‌ها پیروکسن‌های مورد بررسی در گستره‌ی کلینوپیروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن‌دار هستند و در محدوده دیوپسید قرار می‌گیرند [۱۹] (شکل ۷).

جدول ۲: نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی کلینوپیروکسن (۱۰ نقطه به عنوان نمونه) در آمفیبولیت‌های هشت‌بندی. تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری کلینوپیروکسن بر اساس ۶ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند.

Sample #	S-45-1-Px1	S-45-1-Px2	S-45-1-Px3	S-45-1-Px4	S-45-3-Px1	S-17B-5-Px1	S-17B-5-Px2	S-17B-5-Px3	S-17B-5-Px4	S-17B-5-Px5
SiO_2	۵۱/۷۸	۵۲/۲۸	۵۲/۱۱	۵۲/۴۱	۵۰/۵۶	۵۲/۲۱	۵۲/۵۱	۵۱/۱۷	۵۲/۳۵	۵۲/۵۱
TiO_2	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۵
Al_2O_3	۱/۷۲	۱/۳۹	۱/۵۲	۱/۹۹	۲/۶۵	۱/۵۰	۱/۶۶	۲/۱۱	۱/۹۵	۱/۱۸
Cr_2O_3	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰
FeO	۱۱/۶۶	۱۲/۱۲	۱۱/۴۸	۱۱/۲۴	۱۱/۹۰	۹/۹۶	۱۰/۰۵	۱۱/۵۵	۱۰/۳۸	۱۱/۴۳
MnO	۰/۲۷	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۱
MgO	۱۰/۰۲	۹/۹۳	۱۰/۱۷	۱۰/۲۰	۹/۷۸	۱۰/۶۳	۱۰/۵۲	۱۰/۰۳	۱۰/۶۴	۱۰/۲۸
CaO	۲۳/۶۰	۲۳/۸۷	۲۳/۸۸	۲۳/۷۸	۲۳/۶۶	۲۳/۴۳	۲۳/۱۱	۲۲/۷۵	۲۳/۰۷	۲۲/۷۳
Na_2O	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۴۵	۰/۶۴	۰/۵۲	۰/۸۴	۰/۶۰	۱/۰۴	۰/۹۲	۰/۹۹
K_2O	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱
Total	۹۹/۷۰	۱۰۰/۴۴	۱۰۰/۰۲	۱۰۰/۵۳	۹۹/۴۹	۹۹/۰۷	۹۹/۱۱	۹۹/۱۳	۹۹/۸۰	۹۹/۴۸
Si	۱/۹۷	۱/۹۸	۱/۹۸	۱/۹۷	۱/۹۴	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۶	۱/۹۸	۲/۰۰
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe(iii)	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۳
Fe(ii)	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۳۳
Mn	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Mg	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۵۸
Ca	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳
Na	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷
Wo	۴۹/۳۱	۴۹/۴۴	۴۹/۷۳	۴۹/۵۰	۴۹/۶۷	۴۸/۹۶	۴۹/۰۶	۴۷/۵۴	۴۸/۱۶	۴۷/۳۸
En	۲۹/۱۴	۲۸/۶۴	۲۹/۴۸	۲۹/۵۵	۲۸/۵۸	۳۰/۹۱	۳۱/۰۸	۲۹/۱۶	۳۰/۹۰	۲۹/۸۲
Fs	۱۹/۴۳	۱۹/۸۹	۱۹/۱۰	۱۸/۵۴	۱۹/۷۸	۱۶/۹۶	۱۷/۵۵	۱۹/۳۶	۱۷/۴۹	۱۹/۰۵

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۷: الف) کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه در نمودار Q-J در محدوده کلینوپیروکسن‌های کلسیم-منیزیم- آهن‌دار قرار می‌گیرند [۱۹]، ب) در نمودار سه تایی En-Wo-Fs، کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه در محدوده دیوپسید قرار می‌گیرند [۱۹].

$Q=Ca+Mg+Fe^{2+}$
$J= 2 Na±R+(R: Al, Fe^{3+}, Cr^{3+} , Sc^{3+})$

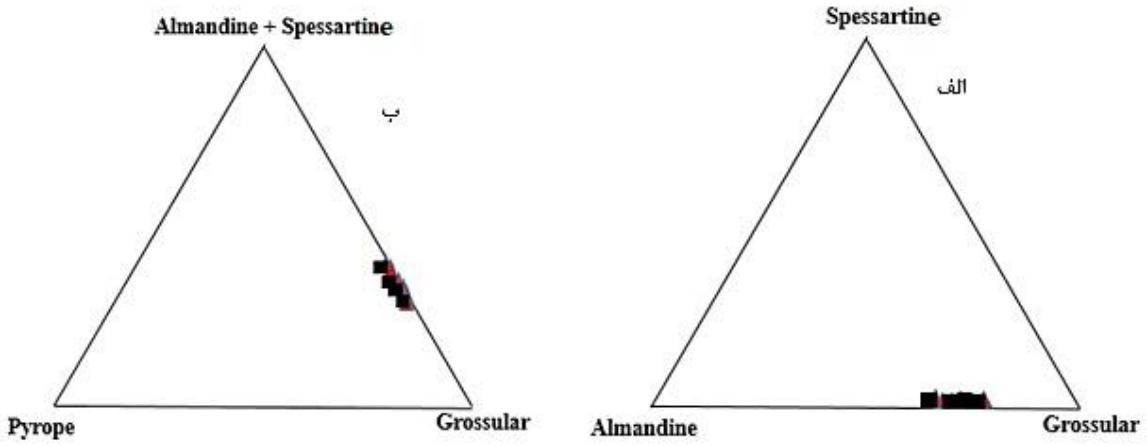
نتایج حاصل از تجزیه نقطه‌ای کانی گارنت در دو مقطع از آمفیبولیت‌های گارنت‌دار در جدول ۳ آورده شده است. نمودار سه‌تایی طبقه‌بندی گارنت‌ها نشان می‌دهد که گارنت‌های تجزیه شده در محدوده ترکیبی آلماندین تا گروسولار قرار دارند (شکل ۸).

جدول ۳: نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی گارنت (۱۰ نقطه به عنوان نمونه) در آمفیبولیت‌های هشت‌بندی. تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری گارنت بر اساس ۱۲ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند.

Sample #	S-45-1Grt1	S-45-1Grt2	S-45-1Grt3	S-45-1Grt4	S-45-2Grt1	S-17B-1-Grt4	S-17B-3-Grt1	S-17B-3-Grt2	S-17B-3-Grt3	S-17B-3-Grt4
SiO_2	۳۷/۲۶	۳۷/۱۶	۳۷/۷۶	۳۷/۸۶	۳۶/۵۳	۳۶/۸۱	۳۶/۳۷	۳۶/۱۲	۳۷/۱۸	۳۶/۸۶
TiO_2	۱/۳۲	۰/۷۱	۱/۳۷	۱/۲۸	۰/۶۹	۰/۷۸	۰/۶۷	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۶
Al_2O_3	۸/۴۰	۸/۳۰	۸/۷۰	۸/۳۲	۷/۷۴	۶/۸۱	۶/۴۷	۴/۴۲	۴/۸۱	۴/۵۷
Cr_2O_3	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۰
FeO	۱۸/۳۰	۱۹/۳۱	۱۷/۳۲	۱۸/۶۰	۱۹/۶۹	۲۰/۸۸	۲۰/۶۸	۲۳/۷۳	۲۳/۸۵	۲۳/۵۷
MnO	۰/۵۶	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۷۶	۰/۹۲	۰/۸۸
MgO	۰/۲۱	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۱
CaO	۳۳/۲۹	۳۳/۲۳	۳۳/۲۱	۳۲/۹۶	۳۳/۱۸	۳۲/۷۰	۳۲/۵۱	۳۱/۶۴	۳۱/۹۳	۳۲/۰۸
Total	۹۹/۳۳	۹۹/۲۱	۹۹/۰۸	۹۱/۶۶	۹۸/۲۸	۹۸/۸۳	۹۷/۵۰	۹۷/۳۴	۹۹/۳۸	۹۸/۶۲
Si	۲/۹۸	۲/۹۸	۳/۰۳	۳/۰۲	۲/۹۶	۲/۹۸	۲/۹۹	۳/۰۰	۳/۰۲	۳/۰۲
Ti	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
Al	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۴۴

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

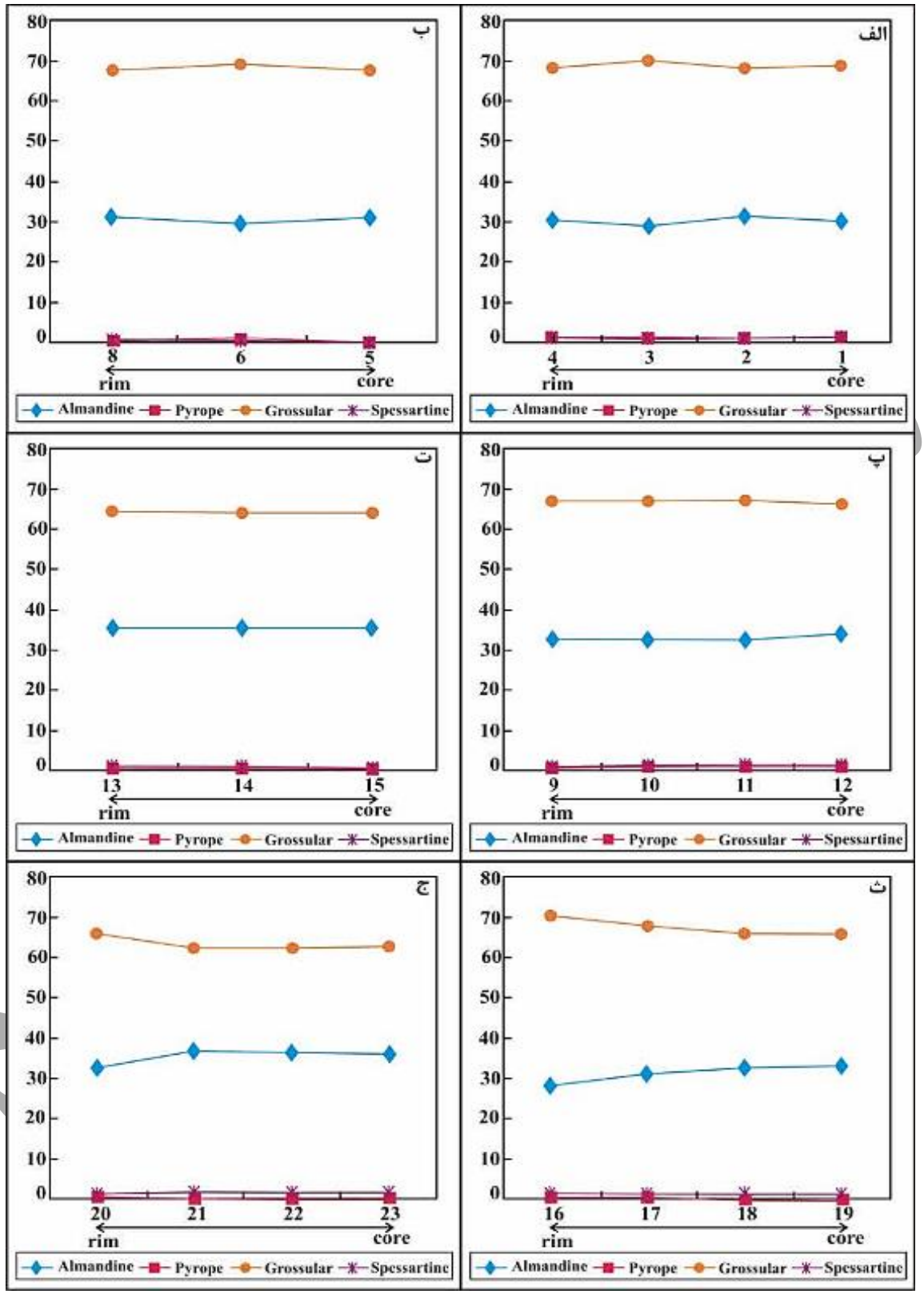
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe^{3+}	۱/۰۸	۱/۱۶	۰/۹۶	۱/۰۱	۱/۲۴	۱/۲۸	۱/۳۲	۱/۵۰	۱/۴۳	۱/۴۵
Fe^{2+}	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۱۶
Mn	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶
Mg	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱
Ca	۲/۸۶	۲/۸۶	۲/۸۵	۲/۸۲	۲/۸۸	۲/۸۴	۲/۸۶	۲/۸۲	۲/۷۸	۲/۸۲
tot. cat.	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰	۸/۰۰
tot. oxy.	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۲/۰۰
almandine	۲۹/۵۷	۳۰/۹۳	۲۸/۵۴	۳۰/۲۰	۳۱/۴۵	۳۲/۸۱	۳۲/۶۸	۳۶/۴۰	۳۶/۱۹	۳۵/۸۵
pyrope	۰/۶۰	۰/۲۹	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۱۱	۰/۳۴	۰/۵۲	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۲۹
grossular	۶۸/۹۱	۶۸/۲۱	۷۰/۰۹	۶۸/۵۶	۶۷/۸۸	۶۵/۸۴	۶۵/۸۱	۶۲/۱۷	۶۲/۰۶	۶۲/۵۱
spessartine	۰/۹۲	۰/۵۷	۰/۷۸	۰/۶۳	۰/۵۶	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۱۸	۱/۴۱	۱/۳۵



شکل ۸: الف و ب) ترکیب گارنت‌ها در نمودار مثلثی اعضای نهایی اسپسارتین-پیروپ-آلماندین-گروسولار [۲۰]. علائم مشابه شکل ۷ می‌باشند.

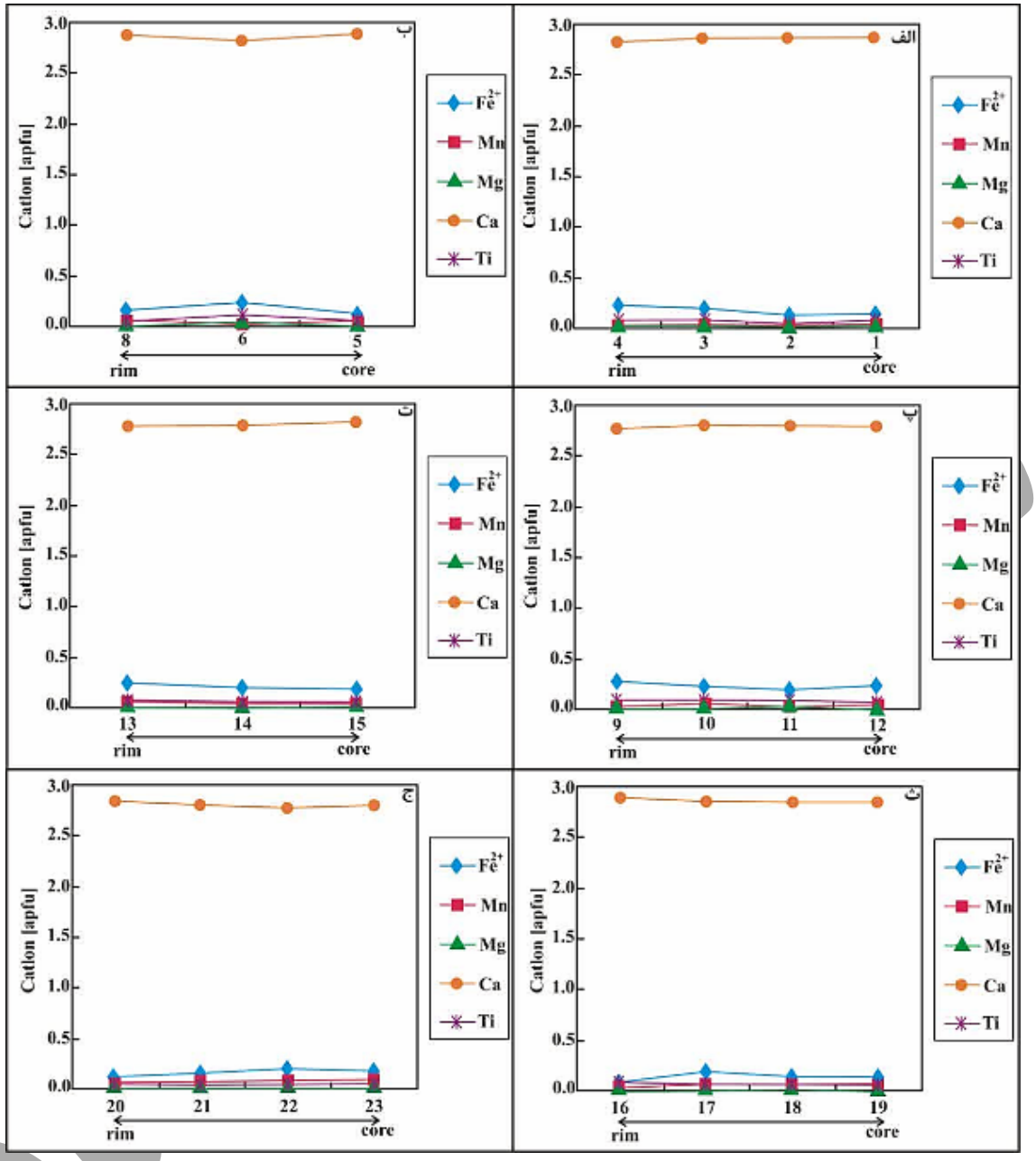
بررسی روند تغییرات ترکیب گارنت (شکل ۹) و عناصر Mn، Mg، Ca و Fe^{2+} (شکل ۱۰) از حاشیه به مرکز در بلورهای گارنت موجود در آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی روند خاصی را نشان نمی‌دهند و حالت خطی دارند. عدم مشاهده منطقه‌بندی مشخص عناصر Mn، Mg، Ca و Fe^{2+} و الگوهای مسطح آنها در گارنت درون آمفیبولیت‌های مورد مطالعه بیانگر انتشار سریع در طی دگرگونی پیش‌رونده و در درجه حرارت بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است. زیرا در دماهای بالا (>۶۰۰ ^{o}C) و در طی دگرگونی پیش‌رونده، پدیده انتشار موجب همگن شدن گارنت‌ها از لحاظ شیمیایی می‌شود [۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵].

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۹: روند تغییرات ترکیب گارنت از حاشیه به مرکز در بلورهای گارنت موجود در آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۱۰: روند تغییرات عناصر اصلی از حاشیه به مرکز در بلورهای گارنت موجود در آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی

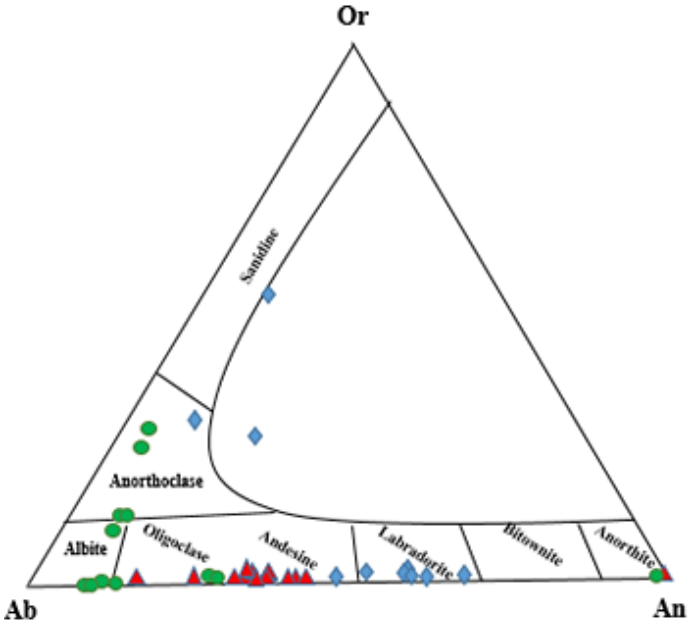
تجزیه نقطه‌ای پلاژیوکلازهای مورد نظر با انتخاب ۵ مقطع از آمفیبولیت‌ها انجام شد که نتایج آنها در جدول ۴ آمده است. در نمودار مثلثی آلبیت-آنورتیت-اورتوکلاز [۲۶]، ترکیب پلاژیوکلازها در آمفیبولیت‌های توده‌ای بیشتر در محدوده آلبیت - الیگوکلاز، در گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌ها بیشتر در محدوده الیگوکلاز- آندزین و در آمفیبولیت‌های جهت‌یافته بیشتر در محدوده آندزین- لابرادوریت قرار گرفته است (شکل ۱۱).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

جدول ۴: نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی پلاژیوکلاز (۱۰ نقطه به عنوان نمونه) در آمفیبولیت‌های هشت‌بندی. تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری پلاژیوکلاز بر اساس ۸ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند.

Sample #	S-45-8-Plg1	S-45-8-Plg2	S-28-3-Plg3	S-28-3-Plg4	S-38-2-Pl1	S-38-3-Pl1	S-38-3-Pl2	S-38-3-Pl3	S-38-5-Pl1	S-08-3-Pl3
SiO_2	۶۰/۰۶	۵۸/۷۴	۶۲/۵۶	۶۱/۱۷	۵۱/۳۱	۵۲/۳۵	۵۵/۸۳	۵۵/۳۷	۵۹/۴۲	۶۵/۱۶
TiO_2	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
Al_2O_3	۲۵/۱۱	۲۵/۳۷	۲۳/۰۹	۲۳/۹۲	۳۰/۲۹	۲۹/۸۶	۲۷/۱۵	۲۸/۴۰	۲۸/۲۴	۲۲/۶۴
Cr_2O_3	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
FeO	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۲
MnO	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
MgO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۱	۰/۰۰
CaO	۶/۷۳	۷/۷۵	۴/۳۳	۵/۷۰	۱۳/۴۵	۱۲/۴۶	۹/۵۸	۱۰/۶۱	۱/۶۲	۱/۷۷
Na_2O	۷/۳۲	۶/۹۲	۸/۸۳	۷/۹۲	۳/۶۵	۴/۰۷	۵/۷۳	۵/۱۷	۵/۴۹	۹/۲۴
K_2O	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۶	۴/۸۶	۱/۳۶
Total	۹۹/۸۲	۹۹/۳۲	۹۹/۱۴	۹۹/۰۱	۹۸/۹۱	۹۸/۹۰	۹۸/۵۲	۹۹/۷۵	۹۹/۹۱	۱۰۰/۲۰
Si	۲/۶۹	۲/۶۵	۲/۸۰	۲/۷۵	۲/۳۶	۲/۴۰	۲/۵۵	۲/۵۱	۲/۶۶	۲/۸۷
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۱/۳۲	۱/۳۵	۱/۲۲	۱/۲۷	۱/۶۴	۱/۶۲	۱/۴۶	۱/۵۲	۱/۴۹	۱/۱۸
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰
Mn	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mg	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
Ca	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۶۶	۰/۶۱	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۰۸	۰/۰۸
Na	۰/۶۳	۰/۶۰	۰/۷۷	۰/۶۹	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۷۹
K	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۸	۰/۰۸
tot. cat.	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰
tot. oxy.	۸/۰۲	۸/۰۱	۸/۰۲	۸/۰۳	۸/۰۲	۸/۰۳	۸/۰۳	۸/۰۴	۸/۰۳	۸/۰۳
An	۳۲/۹۷	۳۷/۴۶	۲۱/۱۳	۲۷/۹۹	۶۶/۹۵	۶۲/۶۹	۴۷/۷۸	۵۲/۹۶	۹/۳۴	۸/۷۹
Ab	۶۴/۸۵	۶۰/۵۴	۷۷/۹۲	۷۰/۴۳	۳۲/۸۴	۳۷/۰۲	۵۱/۷۲	۴۶/۶۷	۵۷/۳۲	۸۳/۱۵
Or	۲/۱۸	۲/۰۰	۰/۹۶	۱/۵۷	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۵۰	۰/۳۷	۳۳/۳۴	۸/۰۶

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۱۱: موقعیت ترکیبی پلاژیوکلاز در نمودار آلبیت-آنورتیت-اورتوکلاز [۲۶]. علائم مشابه شکل‌های ۶ و ۷ می‌باشند

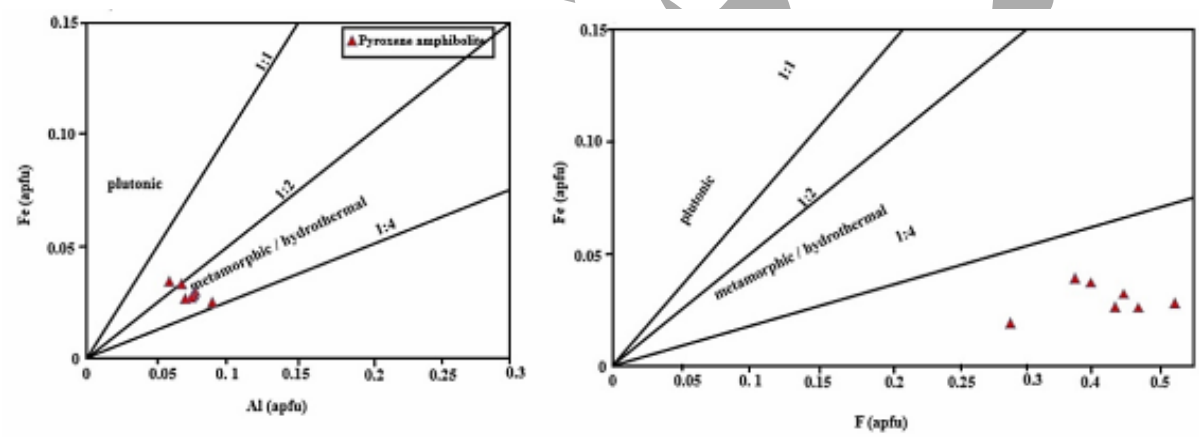
نتایج تجزیه‌ی شیمیایی ۷ نقطه از کانی اسفن در گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌های مورد مطالعه در جدول ۵ آورده شده است. براساس نمودارهای Fe در مقابل Al و F [۲۷]، اسفن‌های مورد مطالعه در محدوده دگرگونی/گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۱۲).

جدول ۵: نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی اسفن در آمفیبولیت‌های هشت‌بندی. تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری اسفن بر اساس ۵ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند.

Sample #	S-45-3-Sph1	S-45-3-Sph2	S-45-3-Sph3	S-45-4-Sph1	S-45-4-Sph2	S-45-Sph1	S-45-6-Sph2
SiO_2	۳۰/۶۳	۳۰/۳۹	۳۰/۷۹	۳۰/۵۰	۳۰/۸۱	۳۰/۱۰	۳۰/۶۷
TiO_2	۳۵/۳۱	۳۵/۱۱	۳۵/۴۴	۳۵/۱۳	۳۵/۰۴	۳۴/۶۵	۳۵/۱۰
Al_2O_3	۱/۹۷	۲/۰۲	۱/۸۳	۱/۵۵	۱/۸۶	۲/۲۳	۲/۰۲
Cr_2O_3	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
FeO	۱/۰۱	۱/۰۹	۰/۹۸	۱/۳۲	۱/۳۰	۰/۹۲	۱/۰۴
MnO	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۲
MgO	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰
CaO	۲۸/۶۴	۲۸/۳۲	۲۸/۴۹	۲۸/۱۶	۲۸/۱۴	۲۷/۷۷	۲۸/۴۰
Na_2O	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۳	۰/۰۶
K_2O	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۰۴
BaO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
NiO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
P_2O_5	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۸
Cl	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۰۱
F	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۲۸	۰/۵۲
Total	۹۸/۲۷	۹۷/۹۸	۹۸/۳۱	۹۷/۱۶	۹۷/۶۵	۹۶/۹۳	۹۷/۹۷

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

Si	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۲
Ti	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸
Al	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۸
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe^{3+}	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳
Fe^{2+}	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mn	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mg	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Ca	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۲
Na	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰
K	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
Ba	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Ni	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
P	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Cl	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
F	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵



شکل ۱۲: نمودارهای Fe در مقابل Al و F [۲۷] اسفن در گارنت - پیروکسن آمفیبولیت‌های هشت‌بندی

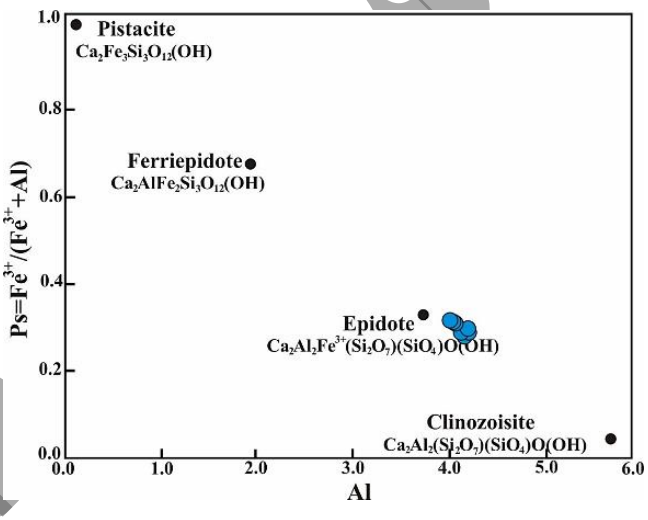
برای تعیین نوع اپیدوت در اپیدوت- گارنت آمفیبولیت‌های مورد مطالعه، تعداد ۷ نقطه از این کانی مورد آنالیز نقطه‌ای قرار گرفته است که نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است. همه‌ی آهن در ساختار این کانی‌ها به صورت Fe^{+3} در نظر گرفته شد و مقدار XPs (Ps=pistacite؛ XPs=Fe3+/Fe3++Al) ۰/۲۸ تا ۰/۳۱ در نوسان است (جدول ۶). از این رو براساس رده‌بندی Armbuster و همکاران [۲۸] (شکل ۱۳)، اپیدوت‌های آنالیز شده در اپیدوت- گارنت آمفیبولیت‌های مورد مطالعه، در زیرگروه اپیدوت رده‌بندی می‌شوند.

جدول ۶: نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی اپیدوت در اپیدوت- گارنت آمفیبولیت‌های هشت‌بندی. تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری اپیدوت بر اساس ۲۵ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند.

SiO_2	۳۷/۷۳	۳۸/۱۳	۳۸/۰۲	۳۷/۳۳	۳۵/۶۰	۳۷/۸۳	۳۸/۶۹
TiO_2	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۳
Al_2O_3	۲۱/۵۰	۲۱/۷۶	۲۱/۹۴	۲۲/۰۶	۲۰/۹۱	۲۲/۶۴	۲۳/۱۴

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

FeO	۱۳/۴۱	۱۳/۳۵	۱۳/۶۱	۱۱/۹۹	۱۱/۵۲	۱۲/۷۷	۱۲/۷۱
MnO	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۱۱
MgO	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۳
CaO	۲۲/۸۹	۲۲/۸۹	۲۲/۹۵	۲۲/۶۱	۲۲/۳۸	۲۳/۳۳	۲۳/۱۴
Na_2O	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۹	۰/۷۶	۰/۰۴	۰/۱۷
K_2O	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۷
Total	۹۵/۹۷	۹۶/۴۷	۹۶/۹۳	۹۵/۰۷	۹۱/۹۳	۹۶/۸۷	۹۸/۲۹
Si	۳/۰۴	۳/۰۵	۳/۰۳	۳/۰۳	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۳
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
Al	۲/۰۴	۲/۰۵	۲/۰۶	۲/۱۱	۲/۰۸	۲/۱۲	۲/۱۴
Fe^{3+}	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۸۳
Mn	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱
Mg	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰
Ca	۱/۹۸	۱/۹۶	۱/۹۶	۱/۹۷	۲/۰۳	۱/۹۹	۱/۹۴
Na	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۳
K	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱



شکل ۱۳: رده‌بندی کانی اپیدوت در اپیدوت- گارنت آمفیبولیت‌های منطقه مورد مطالعه. نام‌گذاری اعضای مونوکلینیک آهن و آلومینیم‌دار گروه اپیدوت بر اساس مقدار پیستاسیت [۲۸].

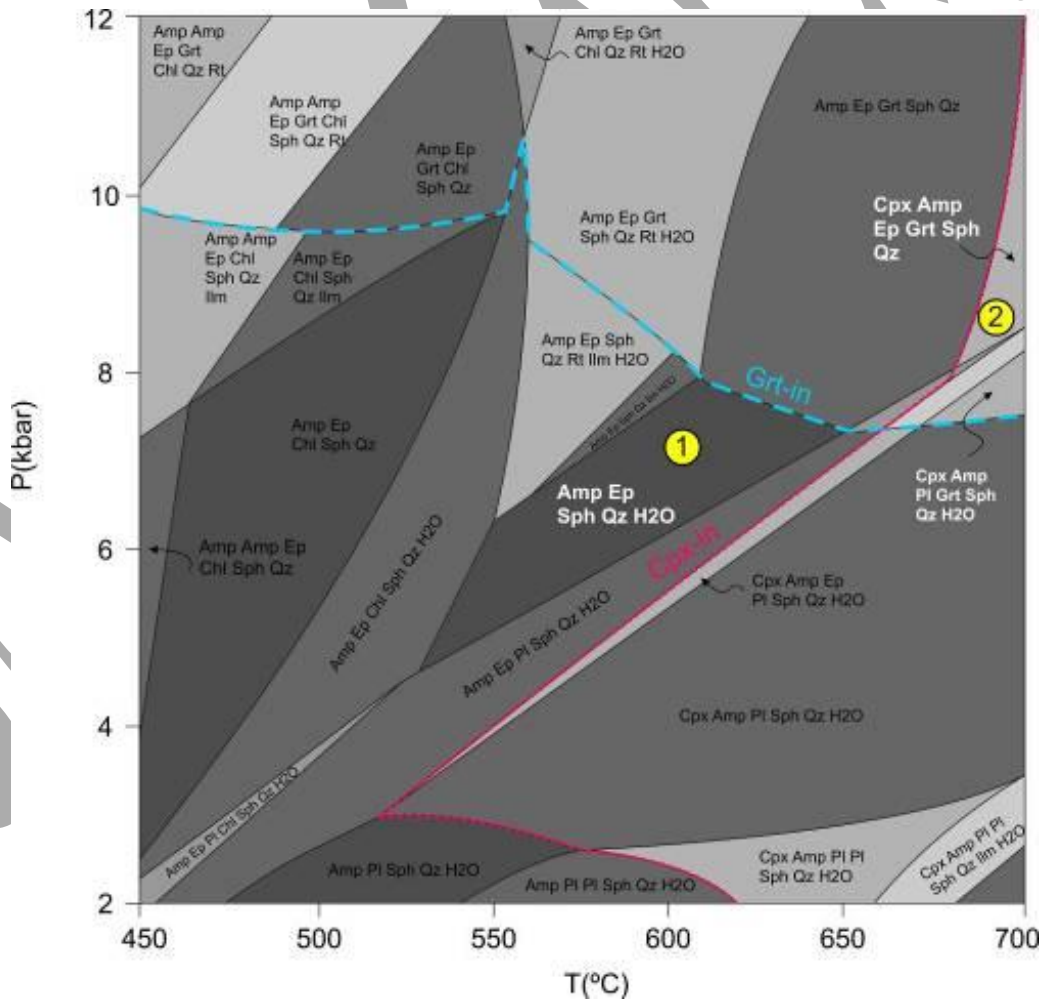
دگرگونی و شرایط P-T

مجموعه کانی پلاژیوکلاز + هورنبلند در آمفیبولیت‌ها نشان دهنده شرایط رخساره آمفیبولیت دما-فشار متوسط است. از سوی دیگر، ظهور گارنت و کلینوپیروکسن نیاز به دما-فشار بالاتری دارد. برای بررسی وضعیت تشکیل سنگ‌های آمفیبولیتی مورد مطالعه، از ترموبارومتری معمولی و مدل‌سازی نمودار فازی (pseudosection) استفاده شد.

زمین دماسنجی هورنبلند- پلاژیوکلاز [۲۹] و زمین فشارسنجی Al در هورنبلند [۳۰]، ۶۹۰ - ۵۹۰ درجه سانتی‌گراد و ۷/۹ – ۵/۵ کیلوبار فشار برای آمفیبولیت‌های جهت‌یافته و ۷۲۰ - ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۶-۴ کیلوبار برای آمفیبولیت‌های توده‌ای حاصل شد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

یک نمودار فازی دما-فشار (P-T) (شکل ۱۴) برای ترکیب متوسط نمونه‌ها (با در نظر گرفتن یک سنگ مادر بازالتی مشابه MORB) با استفاده از نرم افزار Perple_X v. 7.1 (https://www.perplex.ethz.ch) [۳۱] محاسبه شد. نمودار تعادل فازی در سیستم شیمیایی NCFMASHT (Na_2O-CaO- FeO*-MgO-Al_2O_3-SiO_2-TiO_2-H_2O) در ارتباط با پایگاه داده ترمودینامیکی hp62ver.dat محاسبه شد. در محاسبات، LOI به عنوان یک سیال H_2O خالص در نظر گرفته شد. مدل‌های محلول جامد زیر (جزئیات در فایل solution.dat file enclosed in the Perple_X package) استفاده شد: Chl (W) برای کلریت، Gt (W) برای گارنت، Ctd (W) برای مسکوویت [۳۲]، cAmph (G) برای آمفیبول، Augite (G) برای کلینوپیروکسن [۳۳]، Ep (HP11) برای اپیدوت [۳۴] و FSP (C1) برای پلاژیوکلاز [۳۵]. نمودار نشان می‌دهد که مجموعه آمفیبول + پلاژیوکلاز + اپیدوت + اسفن در دمای ۶۵۰ - ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشارکمتر از ۸ کیلوبار پایدار بوده که مطابق با نتایج دما-فشارسنجی هورنبلند - پلاژیوکلاز است. در دماها و فشارهای بالاتر، به ترتیب کلینوپیروکسن و گارنت در مجموعه‌ها ایجاد می‌شوند. بر این اساس، آمفیبولیت‌های حاوی گارنت + پیروکسن درجه‌های دگرگونی بالاتری را تحمل کرده‌اند (دما بیشتر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بیش از ۸ کیلوبار). Miri و Sepahi [۳۶] نیز نتایج مشابهی برای متابازیت‌های منشور برافزایشی مکران با استفاده از مدل‌سازی نمودار فازی گزارش کرده‌اند.



[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

شکل ۱۴: مدل‌سازی نمودار فازی آمفیبولیت‌های هشت‌بندی در مجموعه برافزایشی مکران. قلمرو ۱ مربوط به آمفیبولیت‌های معمولی و قلمرو ۲ مربوط به گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌های مورد مطالعه است.

نتیجه‌گیری

- از نظر ساختاری و ظاهری، سنگ‌های آمفیبولیتی مکران به دو صورت جهت‌یافته و توده‌ای یافت می‌شوند و براساس کانی‌های شاخص دگرگونی، این سنگ‌ها شامل انواع آمفیبولیت‌های معمولی (جهت‌یافته و توده‌ای)، گارنت- پیروکسن آمفیبولیت و اپیدوت-گارنت آمفیبولیت می‌باشند.

- براساس نتایج آنالیز ریزکاوالکترونی، ترکیب آمفیبول عمدتا مگنزیو تا فروهورنبلند و از نوع کلسیک هستند. پیروکسن در نمونه سنگ‌های اپیدوت - گارنت آمفیبولیت‌ها و گارنت-پیروکسن آمفیبولیت‌ها در گستره‌ی کلینوپیروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن‌دار قرار می‌گیرند و از نوع دیوپسید می‌باشند. گارنت‌ها در محدوده ترکیبی آلماندین تا گروسولار قرار دارند. روند تغییرات ترکیب گارنت و عناصر Mn، Mg، Ca و Fe^{2+} از حاشیه به مرکز در بلورهای آن روند خاصی را نشان نمی‌دهند و حالت خطی دارند. عدم مشاهده منطقه‌بندی مشخص عناصر Mn، Mg، Ca و Fe^{2+} و الگوهای مسطح آنها بیانگر انتشار سریع در طی دگرگونی پیش‌رونده و در درجه حرارت بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است. ترکیب پلاژیوکلازها در آمفیبولیت‌های توده‌ای بیشتر در محدوده آلبیت - الیگوکلاز، در گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌ها بیشتر در محدوده الیگوکلاز- آندزین و در آمفیبولیت‌های جهت‌یافته بیشتر در محدوده آندزین- لابرادوریت قرار می‌گیرد. اسفن‌ها در گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌ها در محدوده دگرگونی/گرمابی قرار می‌گیرد و اپیدوت در اپیدوت- گارنت آمفیبولیت‌های مورد مطالعه، در زیرگروه اپیدوت رده‌بندی می‌شوند.

- زمین دماسنجی هورنبلند-پلاژیوکلاز و زمین فشارسنجی Al در هورنبلند دمای ۶۹۰ - ۵۹۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۷/۹ – ۵/۵ کیلوبار برای آمفیبولیت‌های جهت‌یافته و دمای ۷۲۰ - ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۶-۴ کیلوبار برای آمفیبولیت‌های توده‌ای را نشان دادند.

- نمودار فازی دما-فشار (P-T) نشان می‌دهد که مجموعه آمفیبول + پلاژیوکلاز + اپیدوت + اسفن در دمای ۶۵۰ - ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشارکمتر از ۸ کیلوبار پایدار است که مطابق با نتایج دما- فشارسنجی هورنبلند - پلاژیوکلاز است. بر این اساس، آمفیبولیت‌های حاوی گارنت + پیروکسن درجه‌های دگرگونی بالاتری را تحمل کرده‌اند (دما بیشتر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بیش از ۸ کیلوبار).

References

[1] Triboulet C., Audren C., *"Controls on P-T-t deformation path from amphibole zonations during progressive metamorphism of basic rocks (estuary of the River Vilaine, South Brittany, France)"*, Journal of Metamorphic Geology 6 (1988) 117-133. doi.10.1111/j.1525-1314.1988.tb00412.x

[2] Triboulet C., *"The (Na-Ca) amphibole-albitechlorite-epidote-quartz geothermobarometer in the system S-A-F-M-C-N-H_2O 1. An empirical calibration"*, Journal of Metamorphic Geology 10 (1992) 545-556. doi.10.1111/j.1525-1314.1992.tb00105.x

[3] Schulz B., Triboulet C., Audren C., *"Microstructures and mineral chemistry in amphibolites from the western Tauern Window (Eastern Alps) and P-T-deformation paths of the Alpine greenschist-amphibolite facies metamorphism"*, Mineralogical Magazine 59 (1995) 641- 659. https://doi.org/10.1180/minmag.1995.059.397.08

[4] Zenk M., Schulz B., *"Zoned Ca-amphiboles and related P–T evolution in metabasites from the classical Barrovian metamorphic zones in Scotland"*, Mineralogical Magazine 68 (2004) 769. doi. 10.1180/0026461046850218

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

[5] Bucher K., Frey M., "*Petrogenesis of Metamorphic Rocks (6th edn)*", Springer Verlag: Berlin, (1994) 318,.

[6] Esmaeili R., Xiao W., Griffin W.L., Shafaii Moghadam H., Zhang Z., Ebrahimi M., Zhang J., Wan B., Ao S., Bhandari S., "*Reconstructing the source and growth of the Makran Accretionary Complex: Constraints from detrital zircon U-Pb geochronology*", Tectonics 39 (2) 2020 e2019TC005963. https://doi.org/10.1029/2019TC005963

[7] Esmaeili R., Ao S., Shafaii Moghadam H., Zhang Z., Griffin WL., Ebrahimi M., Xiao W., Wan B., Bhandari S., "*Amphibolites from makran accretionary complex record Permian-Triassic Neo-Tethyan evolution*", International Geology Review 17 64 (11) (2022) 1594-610. https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1946663

[8] Souri M., Ahmadi-Khalaji A., Wang J., Esmaeili R., Ebrahimi M., "*Amphibole mineral chemistry of amphibolites from the Makran accretionary complex (southeast of Iran)*", Kharazmi Journal of Earth Sciences 8 (2) (2023) 236-258. (in Persian). doi. 10.22034/KJES.2023.8.2.105432

[9] Andreev A. A., Rytsk E. Yu., Velikoslavinskii S. D., Tolmacheva E. V., Bogomolov E. S., Lebedeva Y.M., Fedoseenko A. M., "*Age, Composition, and Tectonic Setting of the Formation of Late Neoproterozoic (Late Baikalian) Complexes in the Kichera Zone, Baikal-Vitim Belt, Northern Baikal Area Geological, Geochronological, and Nd Isotope Data*", Petrology 30 (4) (2022) 337-368. https://doi.org/10.1134/S0869591122040026

[10] Zhou Mei-Fu., Robinson Paul T., "*Origin and tectonic environment of podiform chromite deposits*", Economic Geology, 92.2, (1997) 259-262. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.92.2.259

[11] Braud J., "*Geological map of Kermanshah 1/250000 scale*", Tehran, Geological Survey of Iran, (1978).

[12] Stocklin J., "*Geological map of Ajabshir plain*", Geological survey and mineral exploration of Iran, (1968).

[13] McCall G. J. H., "*Mélanges of the Makran, southeastern Iran*", Ophiolitic and related mélanges, 66 (1983) 292-299.

[14] McCall G.J.H., "*The geotectonic history of the makran and adjacent areas of southern Iran*", Journal of Asian Earth Sciences 15 (6) (1997) 517-531. https://doi.org/10.1016/S0743-9547(97)00032-9

[15] McCall G. J. H., "*A Critique of the analogy between Archean and Phanerozoic tectonics based on regional mapping of the Mesozoic-Cenozoic plate convergent zone in the Makran, Iran*", Precambrian Research 127 (1-3) (2003) 5-17. https://doi.org/10.1016/S0301-9268(03)00178-5

[16] Bagheri S., Damani Gol S.D., "*The eastern iranian orocline*", Earth-Science Reviews 210 (2020) 103322. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103322

[17] Samimi Namin M., "*Geological Map of Minab 1:250000 Scale*", Geological Survey of Iran (1983).

[18] Leake B.E., "*Nomenclature of amphiboles*", Mineralogical Magazine 61 (1997) 296-311. https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.405.13

[19] Morimoto N; "*Die nomenklatur von Pyroxenen*", Mineralogy and Petrology 39 (1988) 55-76. https://doi.org/10.1007/BF01226262

[20] Goldsmith J.R., "*Review of the behavior of plagioclase under metamorphic conditions*", American Mineralogist 67(7-8) (1982) 643-652.

[21] Spear F.S., "*Metamorphic phase equilibria and pressure–temperature–time paths*", Mineralogical Society of America Monographs (1993) 352.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

[22] Carlson W., Schwarze E., "*Petrological significance of prograde homogenization of growth zoning in garnet: an example from the Llano Uplift*", Journal of metamorphic Geology 15.5 (1997) 631-644. https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1997.tb00640.x

[23] Carlson W.D., "*Scales of disequilibrium and rates of equilibration during metamorphism*", American Mineralogist 87(2-3) (2002) 185-204. https://doi.org/10.2138/am-2002-2-301

[24] Nyström A.I., Kriegsman L.M., "*Prograde and retrograde reactions, garnet zoning patterns, and accessory phase behaviour in SW Finland migmatites, with implications for geochronology*", Geological Society, London, Special Publications 220(1) (2003) 213-230. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.220.01.13

[25] Caddick M.J., Konopásek J., Thompson A.B., "*Preservation of garnet growth zoning and the duration of prograde metamorphism*", Journal of Petrology 51(11) (2010) 2327-2347. https://doi.org/10.1093/petrology/egq059

[26] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "*An introduction to the rock forming minerals*", Wiley New York (1992) 1–696.

[27] Kowallis B.J., Christiansen E.H., Dorais M.J., Winkel A., Henze P., Franzen L., Mosher H., "*Variation of Fe, Al, and F substitution in titanite (sphene)*", Geosciences 12(6) (2022) 229. https://doi.org/10.3390/geosciences12060229

[28] Armbruster T., Bonazzi P., Akasaka M., Bermanec V., Chopin C., Gieré R., Heuss-Assbichler S., Liebscher A., Menchetti S., Pan Y., Pasero M., "*Recommended nomenclature of epidote-group minerals*", European Journal of Mineralogy 18(5) (2006) 551-567. https://doi.org/10.1127/0935-1221/2006/0018-0551

[29] Holland T., Blundy J., "*Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry*", Contributions to mineralogy and petrology 116 (1994) 433-447. https://doi.org/10.1007/BF00310910

[30] Anderson J.L., Smith D.R., "*The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer*", American mineralogist 80(5-6) (1995) 549-559. https://doi.org/10.2138/am-1995-5-614

[31] Connolly J.A., "*Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation*", Earth and Planetary Science Letters 236(1-2) (2005) 524-541. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.04.033

[32] White R.W., Powell R., Johnson T.E., "*The effect of Mn on mineral stability in metapelites revisited: New a–x relations for manganese bearing minerals*", Journal of Metamorphic Geology 32(8) (2014) 809-828. https://doi.org/10.1111/jmg.12095

[33] Green E.C.R., White R.W., Diener J.F.A., Powell R., Holland T.J.B., Palin R.M., "*Activity–composition relations for the calculation of partial melting equilibria in metabasic rocks*", Journal of Metamorphic Geology 34(9) (2016) 845-869. https://doi.org/10.1111/jmg.12211

[34] Holland, T.J.B., Powell, R., "*An improved and extended internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, involving a new equation of state for solids*", Journal of metamorphic Geology, 29(3), (2011) 333-383. https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2010.00923.x

[35] Holland T., Powell R., "*Activity–composition relations for phases in petrological calculations: an asymmetric multicomponent formulation*", Contributions to Mineralogy and Petrology 145 (2003) 492-501. https://doi.org/10.1007/s00410-003-0464-z

[36] Miri M., Sepahi A.A., "*High-pressure–Low-temperature metamorphic rocks of Iran and their geodynamic significance: A review*", Journal of Geodynamics 157 (2023) 101986. https://doi.org/10.1016/j.jog.2023.101986

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

The study of mineral chemistry and metamorphism condition of the amphibolites in the Hashtbandi area, North Makran zone (southeast of Iran)

Maryam Souri[1], Ahmad Ahmadi Khalaji[1]×, Jiamin Wang[2], Rasoul Esmaeili[2,3], Mohammad Ebrahimi[3], Mirmohammad Miri[4]

1. Department of Geology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran
2. Institute of Geology and Geophysics, Academy of Sciences, Beijing, China
3. Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
4. Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

E-mail addresses: ahmadikhalaj.a@lu.ac.ir Tel: 06633120619

Abstract

The study amphibolites are located in Hashtbandi village (east of Minab). The Makran amphibolites form a part of the metamorphic rocks of northern Makran ophiolitic belt, which are found in massive and orientated forms. Based on the indicator minerals, these rocks include ordinary amphibolite, epidote-garnet amphibolite and garnet-pyroxene amphibolite. The minerals in the ordinary amphibolites include amphibole, plagioclase, zircon apatite, quartz and sphene. In addition to these minerals, garnet and pyroxene are found in the garnet-pyroxene amphibolites, and epidote, garnet and pyroxene in the epidote-garnet amphibolites. Amphiboles in these rocks are calcic type and composition from magnesian to ferrohornblende. The clinopyroxene is calcic type and mostly in the diopside range. Garnets have a compositional range from almandine to grossular, and the trend of changes in composition and elements such Mn, Mg, Ca and Fe^{2+} from the rim to core in this mineral does not show a specific trend and is linear. The lack of clear zoning of elements such Mn, Mg, Ca and Fe^{2+} and their flat patterns in garnet indicate rapid diffusion during progressive metamorphism and at temperatures above 600 °C. The composition of plagioclases is mostly in the albite- labradorite range. The sphene is in the metamorphic/hydrothermal range, and epidote is classified in the epidote subgroup. The hornblende-plagioclase geothermometery and Al-in-hornblende geobarometery result 590 – 690 ºC and 5.5 – 7.9 kbar P for the oriented amphibolites and 550 to 720 ºC and 4–6 kbar for the massive ones. A P-T phase diagram shows that the amphibole + plagioclase + epidote+ sphene assemblage is stable at 450 – 650 ºC T and < 8 kbar P corresponding to the hornblende – plagioclase thermobarometry results. In higher temperatures and pressures, clinopyroxene and garnet occur in the assemblages, respectively. On this basis, the garnet + pyroxene bearing amphibolites endured higher metamorphism degrees, at comparative temperature and pressure of > 650 ºC and > 8 kbar.

Key Words*: clinopyroxene, garnet, mineral chemistry, amphibolite, Makran.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]