

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^۳، محمد ابراهیمی^۳، میرمحمد میری^۴

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- موسسه زمین‌شناسی و زمین‌فیزیک، آکادمی علوم چین

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

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

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۶، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۱/۱۶)

چکیده: آمفیبولیت‌های مورد بررسی در نزدیکی دهستان هشت‌بندی از توابع شهرستان میناب قرار دارند. این آمفیبولیت‌ها بخشی از سنگ‌های دگرگونی کمرند 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 هستند. افزون بر این کانی‌ها، در گارنت-پیروکسن آمفیبولیت‌ها، گارنت و پیروکسن و در اپیدوت-گارنت آمفیبولیت‌ها، اپیدوت، گارنت و پیروکسن نیز دیده می‌شوند. آمفیبول‌ها از نوع کلسیمی هستند و بیشتر ترکیبی در گستره‌ی مگنزیو تا فروهورنبلند دارند. کلینوپیروکسن‌ها از نوع کلسیمی و بیشتر در گستره دیوپسید قرار می‌گیرند. گارنت‌ها گستره ترکیبی آلماندین تا گروسولار دارند و تغییر ترکیب و عناصر Mn، Mg، Ca و Fe^{2+} از لبه به مرکز در آنها روند مشخصی را نشان نمی‌دهد و حالت خطی دارد. نبود منطقه‌بندی مشخص عناصر Mn، Mg، Ca و Fe^{2+} و الگوهای مسطح آنها بیانگر انتشار سریع طی دگرگونی پیش‌رونده و در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است. پلاژیوکلازها در گستره وسیعی از آلبیت تا لابرادوریت قرار دارند. اسفن‌ها در گستره دگرگونی/گرمایی هستند و اپیدوت‌ها در زیرگروه اپیدوت رده بندی می‌شوند. زمین‌دماسنجی هورنبلند- پلاژیوکلاز و زمین‌فشارسنجی Al در هورنبلند دمای ۶۹۰ - ۵۹۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۷/۹ - ۵/۵ کیلو بار را برای آمفیبولیت‌های جهت‌یافته و دمای ۷۲۰ - ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۶ - ۴ کیلو بار را برای آمفیبولیت‌های توده‌ای نشان دادند. نمودار فازی دما-فشار (P-T) نشان می‌دهد که مجموعه آمفیبول + پلاژیوکلاز + اپیدوت + اسفن در دمای ۶۵۰ - ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار کمتر از ۸ کیلو بار پایدار است که با نتایج دما- فشارسنجی هورنبلند - پلاژیوکلاز همخوانی دارد. بر این اساس، آمفیبولیت‌های دارای گارنت + پیروکسن دچار درجه‌های دگرگونی بالاتری شده (با دمای بیشتر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بیش از ۸ کیلو بار).

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

مقدمه

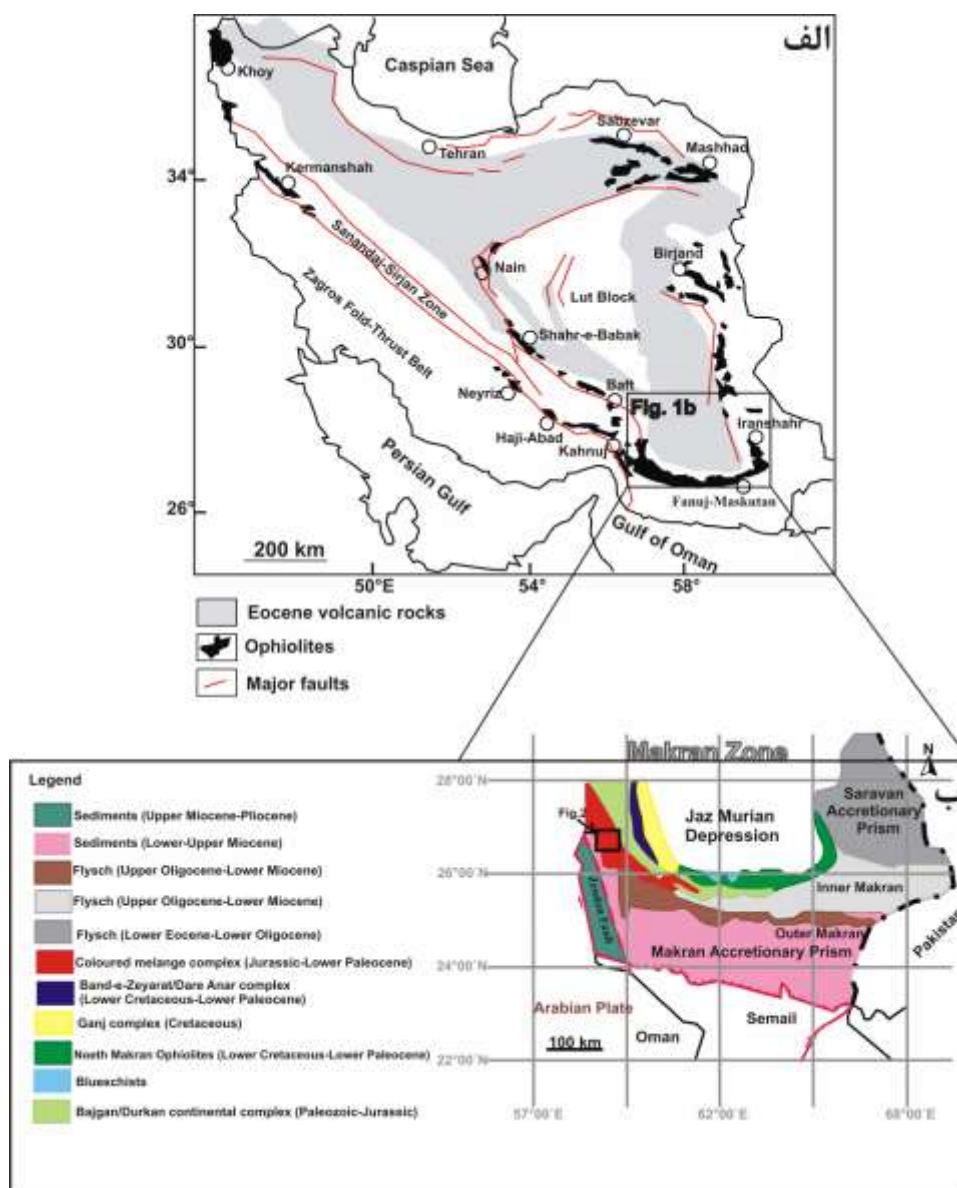
هورنبلند و پلاژیوکلاز هستند و می‌توانند دارای مقادیر فرعی از کانی‌های دیگری همچون گارنت و پیروکسن باشند. از این رو، آنها با توجه به تنوع کانی‌ها، برای تعیین شرایط دگرگونی و

آمفیبولیت‌ها از جمله سنگ‌های دگرگونی هستند که در بیشتر مناطق دگرگونی یافت می‌شوند. این سنگ‌ها اغلب شامل

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۶۶۳۳۱۲۰۶۱۹، پست الکترونیکی: ahmadikhalaj.a@lu.ac.ir

بازسازی زمین پویایی کمرندهای کوهزایی دارد [۹] و ترکیب شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده آنها می‌تواند در شناسایی ماهیت و شرایط تشکیل سنگ‌های دگرگونی موثر باشد [۱۰]، در این پژوهش برای تعیین ترکیب شیمیایی و شرایط دگرگونی مجموعه‌های کانیایی آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی 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 شد.

بررسی تغییرهای دما-فشار دگرگونی طی زمان (P-T-t) استفاده می‌شوند [۴-۱]. آمفیبولیت‌ها را می‌توان براساس سنگ مادر به دو گروه پارامفیبولیت و ارتوامفیبولیت تقسیم کرد. سنگ مادر پارامفیبولیت‌ها، رسوبی و سنگ مادر ارتوامفیبولیت‌ها آذرین مافیک (بیشتر بازالت‌ها و کمتر گابروها) هستند [۵]. بررسی آمفیبولیت‌ها به ویژه ارتوامفیبولیت‌ها از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده است. بررسی زمین شیمی آمفیبولیت‌های مکران نشان می‌دهد که این سنگ‌ها دارای خاستگاه آذرین با ترکیب بازالتی هستند [۶-۸]. از آنجا که بررسی شرایط دگرگونی این نوع سنگ‌ها نقش مهمی در

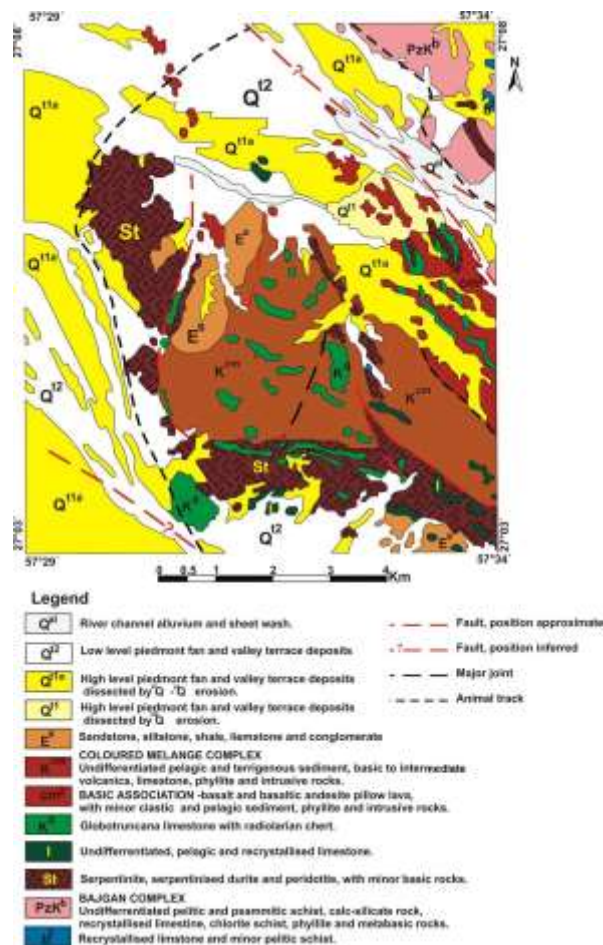


شکل ۱ الف- نقشه افیولیت‌های اصلی ایران که افیولیت مکران در قاب مستطیلی نشان داده شده است [۱۱، ۱۲]. ب- نقشه ساده شده زمین‌شناسی پهنه مکران (اصلاح شده از مرجع [۱۳-۱۶]).

زمین‌شناسی عمومی

آمفیبولیت‌های مورد بررسی از نظر موقعیت جغرافیایی در نزدیکی دهستان هشت‌بندی در فاصله ۶۰ کیلومتری شرق شهر میناب و در منطقه مکران شمالی در مجموعه برافزایشی مکران (MAC) واقع هستند (شکل ۱ ب). در پهنه مکران شمالی در راستای شکستگی‌ها و گسل‌ها، آمیزه‌های رنگی با بیرون‌زدگی‌های گسترده نمایان هستند. قدیمی‌ترین سنگ‌های این پهنه را این آمیزه‌های رنگی تشکیل می‌دهند که مربوط به کرتاسه پسین- پالئوسن هستند. پس از آن، رسوب‌های ضخیم فلیش مانند ائوسن و الیگوسن بوده که تناوبی از ماسه‌سنگ، شیل و مارن هستند و روی این آمیزه‌های رنگی واقع شده‌اند. ترکیب اصلی پوسته اقیانوسی در ارتباط با نفوذتیس شامل گدازه‌های بالشی کرتاسه پیشین، توف‌های آندزیتی کرتاسه پسین، آندزیت‌ها، شیشه‌آواری‌ها، ریوداسیت‌ها، توف‌ها، شیست‌های آبی، آمفیبولیت‌ها، سرپانتینیت‌ها، رادیولاریت‌های کرتاسه پیشین، سنگ آهک‌های گودابه‌ای تا ریفی و

ماسه‌سنگ‌های توریدایتی است (شکل ۲). آمفیبولیت‌ها به صورت عدسی‌هایی به طور ناپیوسته در مرزهای روراندگی با دیگر بخش‌های افیولیتی رخمون دارند [۶، ۷]. بزرگ‌ترین رخمون آمفیبولیت‌ها بیش از چهار کیلومتر طول و یک کیلومتر عرض دارد. این سنگ‌ها دارای دانه‌های متوسط تا درشت با بافت‌های دانه شکفتی و گاهی جهت‌دار هستند. آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی با سرپانتینیت‌های جهت‌دار در ارتباط هستند که نشان دهنده تماس با سایر بخش‌های برش افیولیت است. در برخی نقاط، این آمفیبولیت‌ها با لایه‌ای از سنگ مرمر (کمتر از ۱ متر) به صورت بین لایه‌ای هستند که به احتمال بسیار معادل تغییر یافته توالی سنگ آهک گودابه ای - بازالت را نشان می‌دهد که یک توالی مرمر- آمفیبولیت را تشکیل می‌دهند. این آمفیبولیت‌ها از شمال بر سرپانتینیت‌ها و سایر قطعه‌های آمیزه‌های افیولیتی رانده شده‌اند و از جنوب با رسوب‌های کواترنری هم مرز هستند.



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

روش بررسی

در طی بررسی‌های صحرایی، ۱۶۰ نمونه از انواع آمفیبولیت‌ها نمونه برداری شد. برای انجام کارهای آزمایشگاهی، نخست ۵۵ مقطع نازک میکروسکوپی از این سنگ‌ها تهیه و بررسی گردید. سپس برای بررسی شیمی کانی و شرایط دگرگونی، در ۶ مقطع نازک- صیقلی، کانی‌های شاخص شامل آمفیبول، پیروکسن، گارنت، پلاژیوکلاز، اسفن و اپیدوت با ریزکوالکترونی-Joel Jxa 8100 در موسسه زمین‌شناسی و زمین فیزیک، انجمن علوم چین (IGG-CAS) با ولتاژ 15 kV و شدت جریان 10-20 nA تجزیه نقطه ای شدند. پردازش و تفسیر داده‌ها نیز با

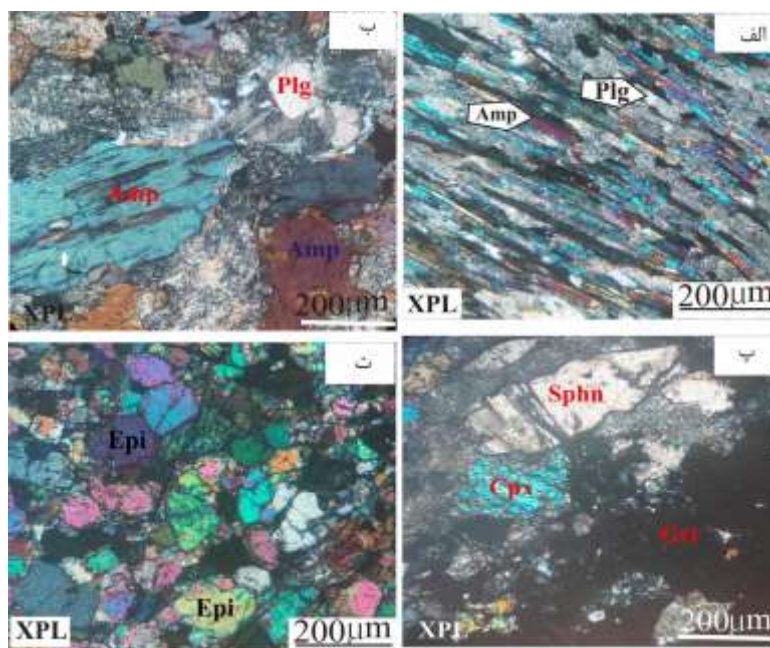
نرم‌افزارهای GCDkit، اکسل و Corel Draw انجام شد.

ویژگی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری

از نظر ساختاری و ظاهری، سنگ‌های آمفیبولیتی مورد بررسی 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 هستند که به دلیل به هم ریختگی براحتی قابل تفکیک نیستند. آمفیبولیت‌های معمولی به رنگ سبز تیره تا تیره گاهی دارای صفحه‌واره با تناوبی از لایه‌های غنی از پلاژیوکلاز و لایه‌های غنی از آمفیبول بوده (شکل ۴ الف) و گاه بدون صفحه‌واره هستند (شکل ۴ ب).



شکل ۳ تصاویر صحرایی آمفیبولیت‌های الف) جهت‌یافته و ب) توده‌ای منطقه هشت‌بندی.



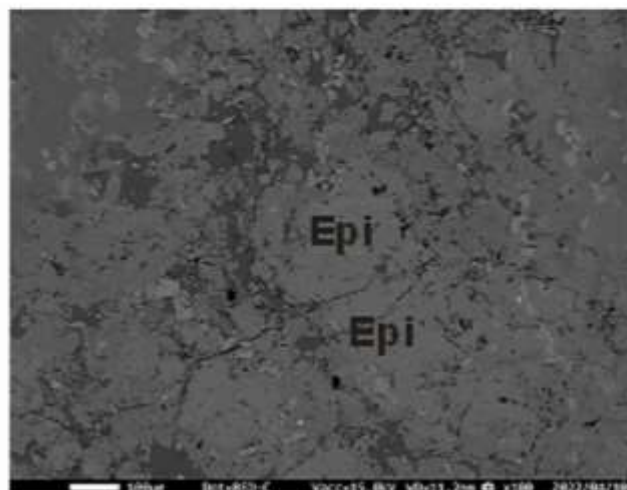
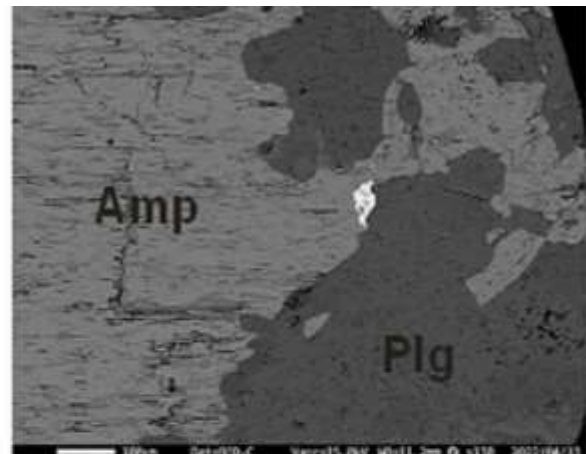
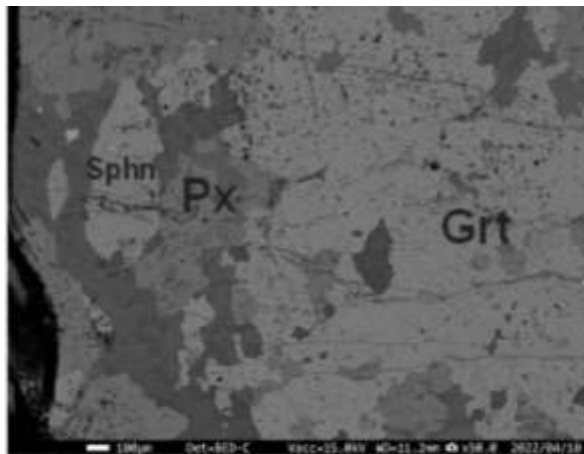
شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی آمفیبولیت‌های هشت‌بندی: الف- آمفیبولیت‌های معمولی جهت‌یافته، ب- آمفیبولیت‌های معمولی توده‌ای، پ- گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌ها و ت- اپیدوت - گارنت آمفیبولیت‌ها. آمفیبول (Amp)، پلاژیوکلاز (Plg)، گارنت (Grt)، اسفن (Sphen)، پیروکسن (Px) و اپیدوت (Epi).

کوارتز و به مقدار کمتر کانی‌های کدر هستند.

شیمی کانی

برای بررسی شیمی کانی و شرایط دگرگونی، در ۶ مقطع نازک-صیقلی، کانی‌های شاخص شامل آمفیبول، پیروکسن، گارنت، پلاژیوکلاز، اسفن و اپیدوت تجزیه نقطه ای شدند (شکل ۵) که نتایج آنها در اینجا بررسی می‌شود. ترکیب شیمیایی و نوع آمفیبول در سنگ‌های آمفیبولیتی مکران بر پایه تجزیه شیمیایی نقطه‌ای کانی آمفیبول در آمفیبولیت‌های معمولی شناسایی شد (جدول ۱). بر این اساس، آمفیبول‌های مورد بررسی در گروه آمفیبول‌های کلسیمی [۱۸] قرار دارند (شکل ۶ الف) و بیشتر دارای گستره ترکیبی منیزوپه‌ورنبلند و فروپه‌ورنبلند هستند [۱۸] (شکل ۶ ب).

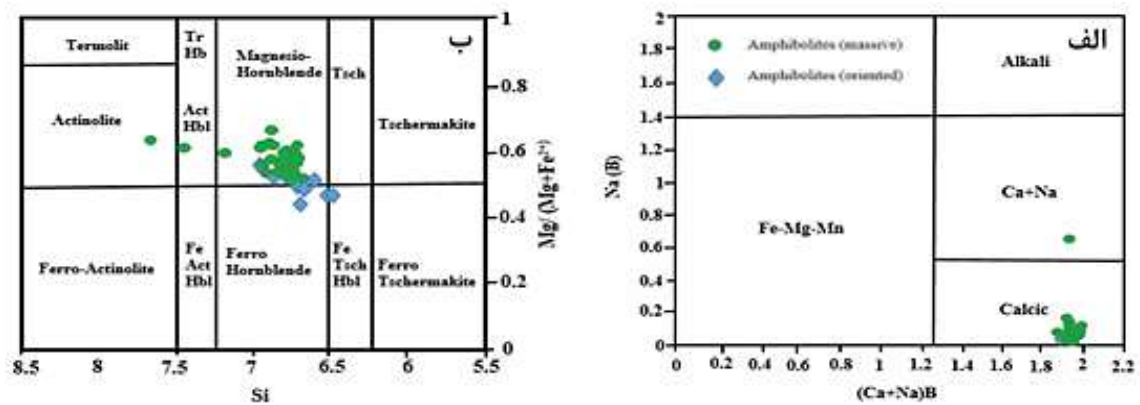
هورنبلند و پلاژیوکلاز مهم‌ترین سازهای این آمفیبولیت‌ها هستند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز، زیرکن، آپاتیت، کوارتز و اسفن هستند (شکل ۴ الف و ب). گارنت-پیروکسن آمفیبولیت به صورت توده‌ای بوده در نمونه‌های دستی به رنگ سبز روشن تا سبز تیره و دارای بافت دانه‌ریز تا دانه‌درشت هستند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل گارنت، پیروکسن، آمفیبول، پلاژیوکلاز، زیرکن، کوارتز، آپاتیت و اسفن هستند (شکل‌های ۴ پ). اپیدوت-گارنت آمفیبولیت‌ها به صورت توده‌ای بوده و در نمونه‌های دستی، به رنگ سبز روشن دیده می‌شوند که این رنگ به دلیل مقدار بالای اپیدوت (۳۰ درصد حجمی سنگ) است (شکل ۴ ت). کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز، اپیدوت، گارنت، پیروکسن،



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

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

نمونه	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	۴۵٫۲۳	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 ₂ O 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	۰٫۲۰	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 ₂ O	۱٫۲۷	۱٫۱۳	۱٫۰۹	۱٫۳۴	۱٫۶۰	۱٫۴۹	۱٫۶۲	۱٫۴۶	۱٫۵۸	۱٫۵۹
K ₂ O	۰٫۳۹	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۳۹	۰٫۳۳	۰٫۳۱	۰٫۵۱	۰٫۴۶	۰٫۵۹	۰٫۶۰
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۱۳	۰٫۰۷
مجموع	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
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
مجموع	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
جایگاه	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
جایگاه	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
جایگاه	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰
Na	۰٫۴۲	۰٫۴۶	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
جایگاه	۰٫۵۰	۰٫۳۳	۰٫۴۲	۰٫۳۸	۰٫۴۸	۰٫۴۵	۰٫۴۹	۰٫۴۰	۰٫۵۰	۰٫۴۸



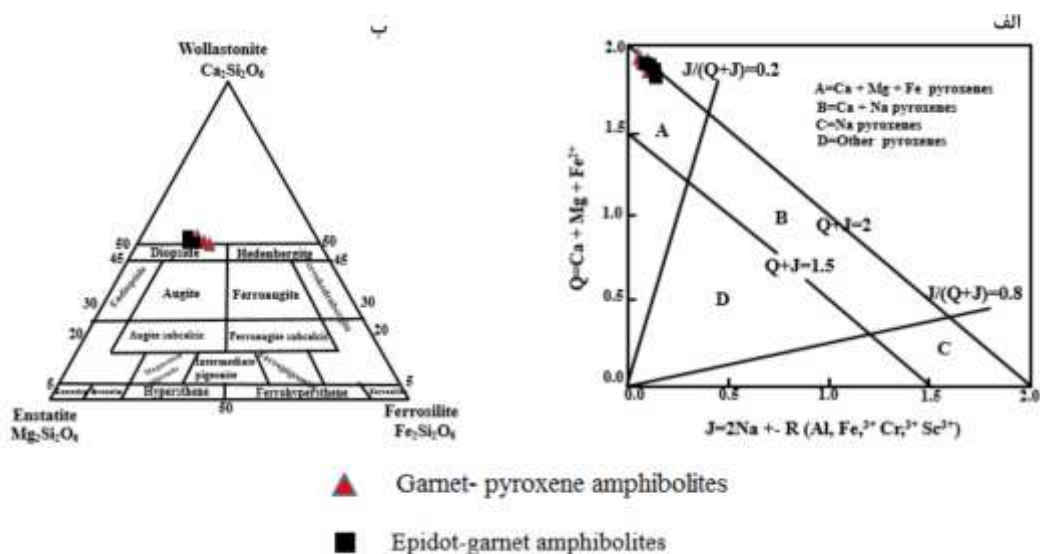
شکل ۶ نمودارهای رده‌بندی آمفیبولیت‌های مورد بررسی بر پایه الف) نوع عناصر در جایگاه B ساختار بلوری [۱۸] و ب) مقدار $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ نسبت به Si [۱۸].

دیوپسید قرار می‌گیرند [۱۹] (شکل ۷).
نتایج تجزیه نقطه‌ای کانی گارنت در دو مقطع از آمفیبولیت‌های گارنت‌دار در جدول ۳ آورده شده است. نمودار سه‌تایی رده‌بندی گارنت‌ها نشان می‌دهد که گارنت‌های تجزیه شده در گستره ترکیبی آلماندین تا گروسولار قرار دارند (شکل ۸).

برای بررسی شیمی کانی پیروکسن در آمفیبولیت‌ها، ۲ نمونه (یک نمونه از گارنت - پیروکسن آمفیبولیت‌ها و یک نمونه از اپیدوت - گارنت آمفیبولیت‌ها) تجزیه نقطه‌ای شدند (جدول ۲). بر این اساس پیروکسن‌های مورد بررسی در گستره‌ی کلینوپروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن‌دار هستند و در گستره

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

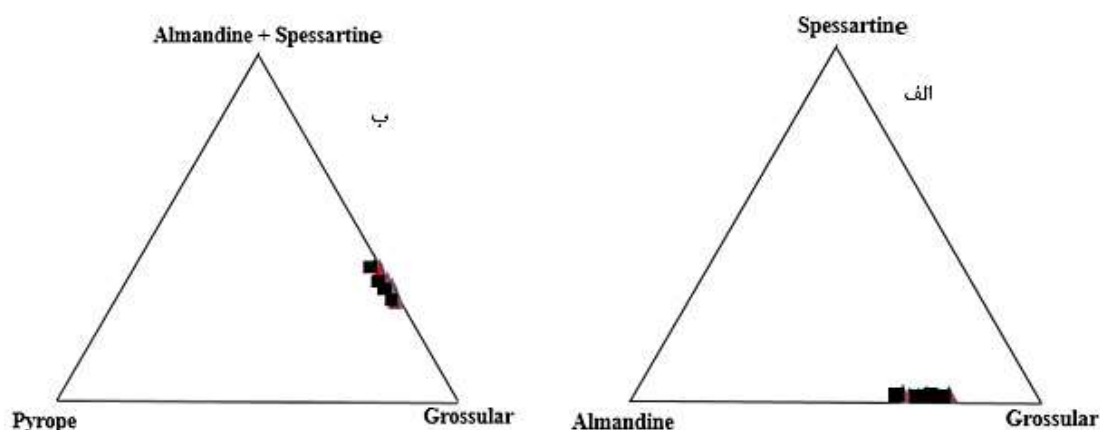
نمونه	S-45-1-	S-45-1-	S-45-1-	S-45-1-	S-45-3-	S-17B-5-	S-17B-5-	S-17B-5-	S-17B-5-	S-17B-5-
SiO ₂	۵۱٫۷۸	۵۲٫۲۸	۵۲٫۱۱	۵۲٫۴۱	۵۰٫۵۶	۵۲٫۲۱	۵۲٫۵۱	۵۱٫۱۷	۵۲٫۳۵	۵۲٫۵۱
TiO ₂	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۱۸	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۵
Al ₂ O ₃	۱٫۷۲	۱٫۳۹	۱٫۵۲	۱٫۹۹	۲٫۶۵	۱٫۵۰	۱٫۶۶	۲٫۱۱	۱٫۹۵	۱٫۱۸
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۰	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 ₂ O	۰٫۵۶	۰٫۵۴	۰٫۴۵	۰٫۶۴	۰٫۵۲	۰٫۸۴	۰٫۶۰	۱٫۰۴	۰٫۹۲	۰٫۹۹
K ₂ O	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱
مجموع	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	۴۷٫۲۸
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



شکل ۷ الف) کالینوپروکسن‌های مورد بررسی در نمودار Q-J در گستره کلینوپروکسن‌های کلسیم-منیزیم- آهن‌دار قرار دارند [۱۹] ب) در نمودار سه تایی En-Wo-Fs، کلینوپروکسن‌های مورد بررسی در گستره دیوپسید قرار می‌گیرند [۱۹]. $Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$, $J = 2 Na \pm R (R: Al, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Sc^{3+})$

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

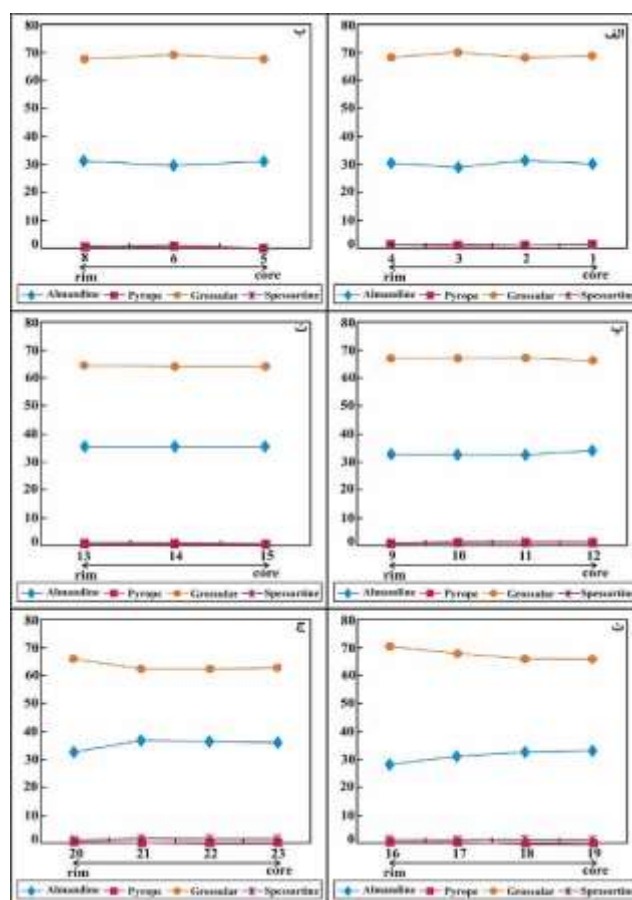
نمونه	S-45-	S-45-	S-45-	S-45-	S-45-	S-17B-1-	S-17B-3-	S-17B-3-	S-17B-3-	S-17B-3-
SiO ₂	۳۷,۲۶	۳۷,۱۶	۳۷,۷۶	۳۷,۸۶	۳۶,۵۳	۳۶,۸۱	۳۶,۳۷	۳۶,۱۲	۳۷,۱۸	۳۶,۸۶
TiO ₂	۱,۳۲	۰,۷۱	۱,۳۷	۱,۲۸	۰,۶۹	۰,۷۸	۰,۶۷	۰,۵۱	۰,۵۴	۰,۵۶
Al ₂ O ₃	۸,۴۰	۸,۳۰	۸,۷۰	۸,۲۲	۷,۷۴	۶,۸۱	۶,۴۷	۴,۴۲	۴,۸۱	۴,۵۷
Cr ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۰	۰,۰۷	۰,۰۹	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
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
آلماندین	۲۹,۵۷	۳۰,۹۳	۲۸,۵۴	۳۰,۲۰	۳۱,۴۵	۳۲,۸۱	۳۲,۶۸	۳۶,۴۰	۳۶,۱۹	۳۵,۸۵
پیروپ	۰,۶۰	۰,۲۹	۰,۵۹	۰,۶۱	۰,۱۱	۰,۳۴	۰,۵۲	۰,۲۵	۰,۳۴	۰,۲۹
گروسولار	۶۸,۹۱	۶۸,۲۱	۷۰,۰۹	۶۸,۵۶	۶۷,۸۸	۶۵,۸۴	۶۵,۸۱	۶۲,۱۷	۶۲,۰۶	۶۲,۵۱
اسپسارتین	۰,۹۲	۰,۵۷	۰,۷۸	۰,۶۳	۰,۵۶	۱,۰۰	۰,۹۹	۱,۱۸	۱,۴۱	۱,۳۵



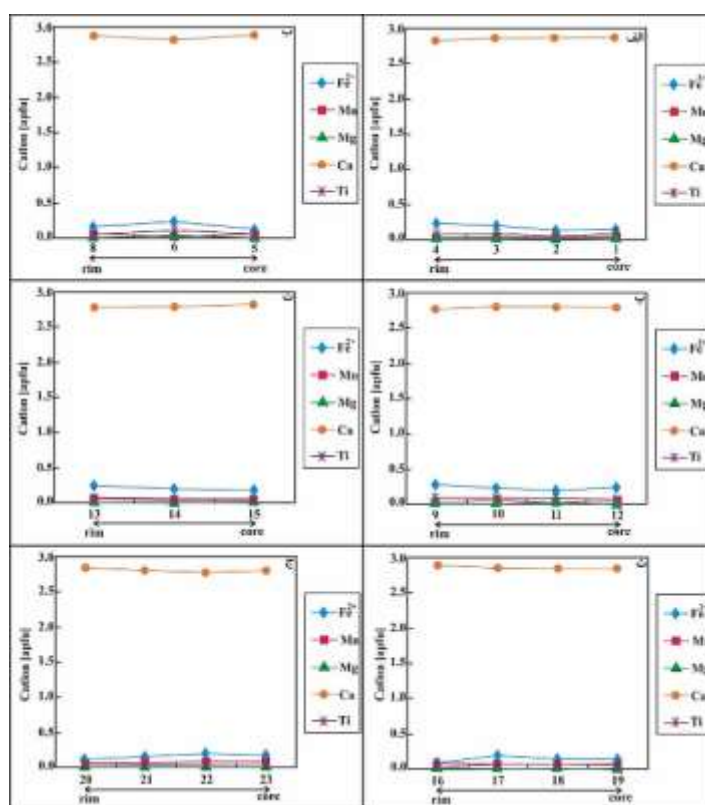
شکل ۸ الف و ب) ترکیب گارنت‌ها در نمودار مثلثی اعضای پایانی اسپسارتین-پروپ-آلماندین-گروسولار [۲۰]. نشانه‌ها مشابه شکل ۷ هستند.

درون آمفیبولیت‌های مورد بررسی بیانگر انتشار سریع طی دگرگونی پیش‌رونده و در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است، زیرا در دماهای بالا (بیش از ۶۰۰ °C) و طی دگرگونی پیش‌رونده، پدیده انتشار موجب همگن شدن گارنت‌ها از نظر شیمیایی می‌شود [۲۱-۲۵].

تغییرهای ترکیب گارنت (شکل ۹) و عناصر Mg ، Mn و Ca و Fe^{2+} (شکل ۱۰) از لبه به مرکز در بلورهای گارنت موجود در آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی روند مشخصی را نشان نمی‌دهند و حالت خطی دارند. نبود منطقه‌بندی مشخص عناصر Mg ، Mn و Ca و Fe^{2+} و الگوهای مسطح آنها در گارنت



شکل ۹ روند تغییرهای ترکیب گارنت از لبه به مرکز در بلورهای گارنت موجود در آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی.



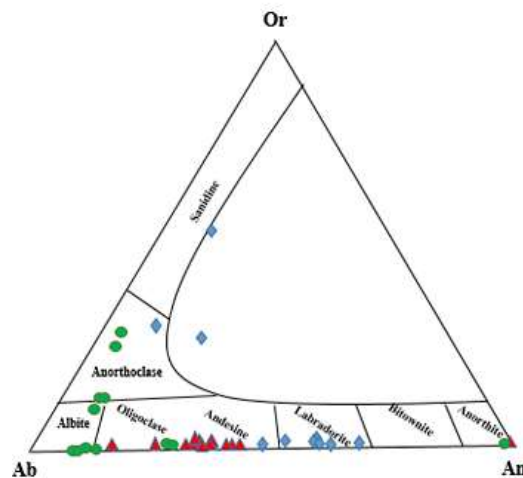
شکل ۱۰ روند تغییرات عناصر اصلی از لبه به مرکز در بلورهای گارنت موجود در آمفیبولیت‌های منطقه هشت‌بندی.

- الیگولاز، در گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌ها بیشتر در گستره الیگولاز- آندزین و در آمفیبولیت‌های جهت‌یافته بیشتر در گستره آندزین- لابرادوریت قرار دارد (شکل ۱۱).

تجزیه نقطه‌ای پلاژیوکلازهای مورد بررسی با انتخاب ۵ مقطع از آمفیبولیت‌ها انجام شد که نتایج آنها در جدول ۴ آمده است. برپایه نمودار مثلثی آلبیت-آنورتیت-اورتوکلاز [۲۶]، ترکیب پلاژیوکلازها در آمفیبولیت‌های توده‌ای بیشتر در گستره آلبیت

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

نمونه	S-45-8-Plg1	S-45-8-	S-28-3-Plg3	S-28-3-	S-38-2-	S-38-3-	S-38-3-	S-38-3-	S-38-3-	S-38-5-	S-08-3-
SiO ₂	۶۰٫۰۶	۵۸٫۷۴	۶۲٫۵۶	۶۱٫۱۷	۵۱٫۳۱	۵۲٫۳۵	۵۵٫۸۳	۵۵٫۳۷	۵۹٫۴۲	۶۵٫۱۶	۶۵٫۱۶
TiO ₂	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al ₂ O ₃	۲۵٫۱۱	۲۵٫۳۷	۲۳٫۰۹	۲۳٫۹۲	۳۰٫۲۹	۲۹٫۸۶	۲۷٫۱۵	۲۸٫۴۰	۲۸٫۲۴	۲۲٫۶۴	۲۲٫۶۴
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	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	۰٫۰۲
MnO	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	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	۰٫۰۰
CaO	۶٫۷۳	۷٫۷۵	۴٫۳۳	۵٫۷۰	۱۳٫۴۵	۱۲٫۴۶	۹٫۵۸	۱۰٫۶۱	۱٫۶۲	۱٫۷۷	۱٫۷۷
Na ₂ O	۷٫۳۲	۶٫۹۲	۸٫۸۳	۷٫۹۲	۳٫۶۵	۴٫۰۷	۵٫۷۳	۵٫۱۷	۵٫۴۹	۹٫۲۴	۹٫۲۴
K ₂ O	۰٫۳۷	۰٫۳۵	۰٫۱۷	۰٫۲۷	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۴٫۸۶	۱٫۳۶	۱٫۳۶
مجموع	۹۹٫۸۲	۹۹٫۳۲	۹۹٫۱۴	۹۹٫۰۱	۹۸٫۹۱	۹۸٫۹۰	۹۸٫۵۲	۹۹٫۷۵	۹۹٫۹۱	۱۰۰٫۲۰	۱۰۰٫۲۰
Si	۲٫۶۹	۲٫۶۵	۲٫۸۰	۲٫۷۵	۲٫۳۶	۲٫۴۰	۲٫۵۵	۲٫۵۱	۲٫۶۶	۲٫۸۷	۲٫۸۷
Ti	۰٫۰۰	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	۱٫۱۸
Cr	۰٫۰۰	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	۰٫۰۰
Mn	۰٫۰۰	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	۰٫۰۰
Ca	۰٫۲۲	۰٫۳۷	۰٫۲۱	۰٫۲۷	۰٫۶۶	۰٫۶۱	۰٫۴۷	۰٫۵۱	۰٫۰۸	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	۰٫۷۹
K	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۲۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸
tot. cat.	۵٫۰۰	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	۸٫۰۳
An	۳۲٫۹۷	۳۷٫۴۶	۲۱٫۱۳	۲۷٫۹۹	۶۶٫۹۵	۶۲٫۶۹	۴۷٫۷۸	۵۲٫۹۶	۹۲٫۴۴	۸٫۷۹	۸٫۷۹
Ab	۶۴٫۸۵	۶۰٫۵۴	۷۷٫۹۲	۷۰٫۴۳	۳۲٫۸۴	۳۷٫۰۲	۵۱٫۷۲	۴۶٫۶۷	۵۷٫۲۲	۸۳٫۱۵	۸۳٫۱۵
Or	۲٫۱۸	۲٫۰۰	۰٫۹۶	۱٫۵۷	۰٫۲۱	۰٫۲۹	۰٫۵۰	۰٫۳۷	۲۳٫۳۴	۸٫۰۶	۸٫۰۶



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

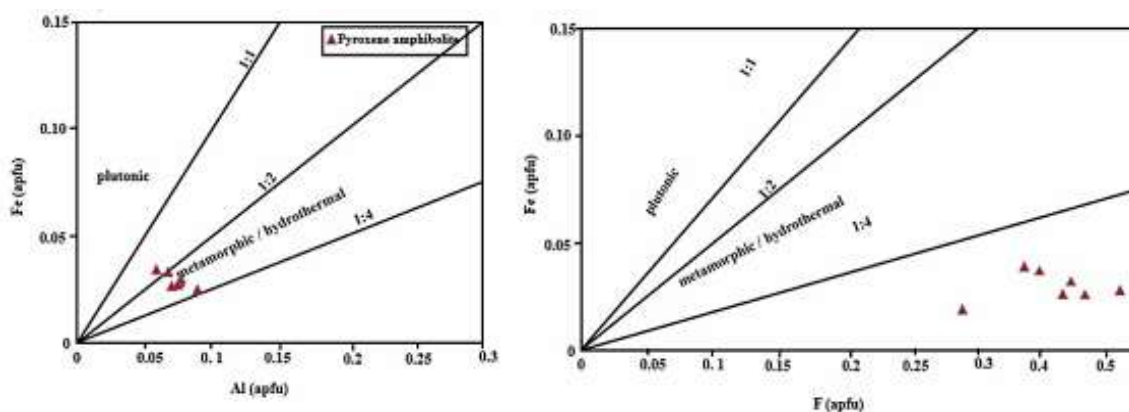
آن در جدول ۶ آورده شده است. همه‌ی آهن در ساختار این کانی‌ها به صورت Fe^{3+} در نظر گرفته شد و مقدار $XPs=Fe^{3+}/Fe^{3+}+Al$ (پیستاسیت) از ۰٫۲۸ تا ۰٫۳۱ در نوسان است (جدول ۶). از این رو، براساس رده‌بندی ارمباستر و همکاران [۲۸] (شکل ۱۳)، اپیدوت‌های تجزیه شده در اپیدوت- گارنت آمفیبولیت‌های مورد بررسی، در زیرگروه اپیدوت رده‌بندی می‌شوند.

نتایج تجزیه‌ی شیمیایی ۷ نقطه از کانی اسفن در گارنت- پیروکسن آمفیبولیت‌های مورد بررسی در جدول ۵ آورده شده است. براساس نمودارهای Fe نسبت به Al و F [۲۷]، اسفن‌های مورد بررسی در گستره دگرگونی/گرمایی قرار دارند (شکل ۱۲).

برای تعیین نوع اپیدوت در اپیدوت- گارنت آمفیبولیت‌های مورد بررسی، ۷ نقطه از این کانی تجزیه نقطه‌ای شد که نتایج

جدول ۵ نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی اسفن در آمفیبولیت‌های هشت‌بندی (برحسب درصد وزنی). تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری اسفن بر اساس ۵ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند.

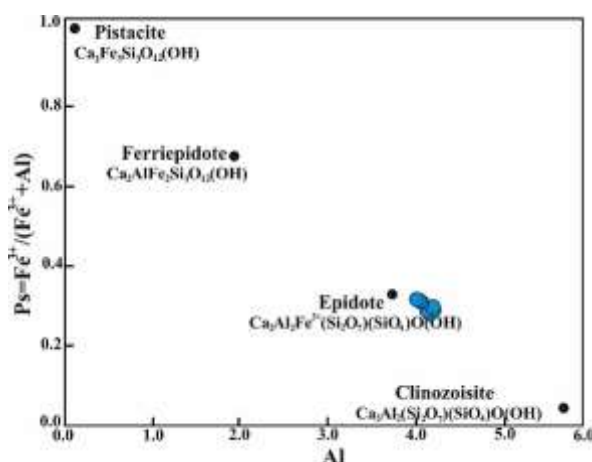
نمونه	S-45-3-Sph1	S-45-3-Sph2	S-45-3-Sph3	S-45-4-Sph1	S-45-4-Sph2	S-45-Sph1	S-45-6-Sph2
SiO ₂	۳۰٫۶۳	۳۰٫۳۹	۳۰٫۷۹	۳۰٫۵۰	۳۰٫۸۱	۳۰٫۱۰	۳۰٫۶۷
TiO ₂	۳۵٫۳۱	۳۵٫۱۱	۳۵٫۴۴	۳۵٫۱۳	۳۵٫۰۴	۳۴٫۶۵	۳۵٫۱۰
Al ₂ O ₃	۱٫۹۷	۲٫۰۲	۱٫۸۳	۱٫۵۵	۱٫۸۶	۲٫۲۳	۲٫۰۲
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
FeO	۱٫۰۱	۱٫۰۹	۰٫۹۸	۱٫۳۲	۱٫۳۰	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 ₂ O	۰٫۰۴	۰٫۳۰	۰٫۰۸	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۴۳	۰٫۰۶
K ₂ O	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 ₂ O 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
مجموع	۹۸٫۲۷	۹۷٫۹۸	۹۸٫۳۱	۹۷٫۱۶	۹۷٫۶۵	۹۶٫۹۳	۹۷٫۹۷
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 نسبت به Al و F [۲۷] اسفن در گارنت - پروکسن آمفیبولیت‌های هشت‌بندی.

جدول ۶ نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی اپیدوت در اپیدوت- گارنت آمفیبولیت‌های هشت‌بندی (برحسب درصد وزنی). 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 ₂ O ₃	۲۱٫۵۰	۲۱٫۷۶	۲۱٫۹۴	۲۲٫۰۶	۲۰٫۹۱	۲۲٫۶۴	۲۳٫۱۴
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 ₂ O	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۳۹	۰٫۷۶	۰٫۰۴	۰٫۱۷
K ₂ O	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۱۱	۰٫۱۹	۰٫۰۲	۰٫۰۷
مجموع	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 بررسی. نام‌گذاری اعضای تک میل آهن و آلومینیم‌دار گروه اپیدوت بر اساس مقدار پیستاسیت [۲۸] است.

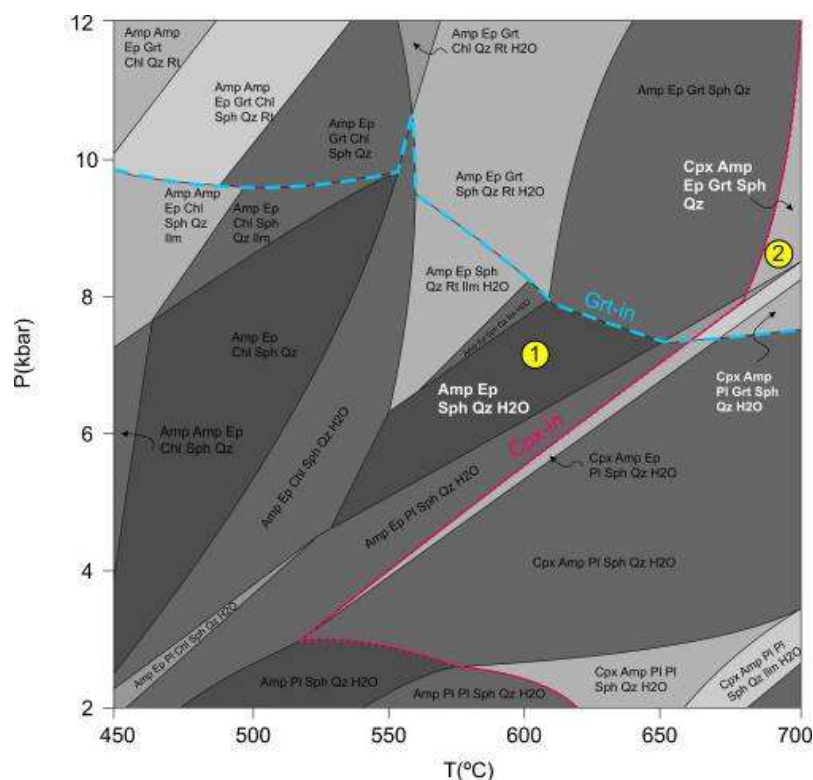
دگرگونی و شرایط دما-فشار

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 بررسی، از دما-فشارسنجی معمولی و مدل‌سازی نمودار فازی (شبه مقطع) استفاده شد.

از زمین‌دماسنجی هورنبلند- پلاژیوکلاز [۲۹] و زمین فشارسنجی Al در هورنبلند [۳۰]، دمای ۵۹۰ - ۶۹۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۷/۹ - ۵/۵ کیلو بار را برای آمفیبولیت‌های جهت‌یافته و دمای ۷۲۰ - ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۴-۶ کیلو بار را برای آمفیبولیت‌های توده‌ای به دست آمد.

یک نمودار فازی دما-فشار (شکل ۱۴) برای ترکیب متوسط نمونه‌ها (با در نظر گرفتن یک سنگ مادر بازالتی شبیه بازالت پشته‌های میان اقیانوسی، MORB) با نرم افزار *Perple_X* v. 7.1 [۳۱] محاسبه شد. نمودار تعادل فازی در سامانه شیمیایی $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{FeO}^*-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ در ارتباط با پایگاه داده ترموپویایی

hp62ver.dat محاسبه شد. در محاسبه‌ها مواد فرار، (LOI) به عنوان یک سیال H_2O خالص در نظر گرفته شد. مدل‌های محلول جامد: 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] استفاده شدند. نمودار نشان می‌دهد که مجموعه آمفیبول + پلاژیوکلاز + اپیدوت + اسفن در دمای ۴۵۰ - ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار کمتر از ۸ کیلو بار پایدار است که با نتایج دما-فشارسنجی هورنبلند - پلاژیوکلاز همخوانی دارد. در دماها و فشارهای بالاتر، به ترتیب کلینوپیروکسن و گارنت در مجموعه‌ها ایجاد می‌شوند. بر این اساس، آمفیبولیت‌های دارای گارنت + پیروکسن دچار دگرگونی درجه‌های بالاتری شده‌اند (دما بیشتر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بیش از ۸ کیلو بار). سپاهی و میری [۳۶] نیز نتایج مشابهی برای متابازیت‌های منشور برافزایشی مکران بر پایه مدل‌سازی نمودار فازی گزارش کرده‌اند.



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 بررسی است.

برداشت

قدردانی

از حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه لرستان تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [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-albite-chlorite-epidote-quartz geothermobarometer in the system S-A-F-M-C-N-H₂O 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
- [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 W.L., 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>

- 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-پروکسن آمفیبولیت و اپیدوت-گارنت آمفیبولیت هستند.

- براساس نتایج تجزیه به روش ریزکالوکترونی، ترکیب آمفیبول بیشتر مگنزیت تا فروهورنبلند و از نوع کلسیمی است. پروکسن در نمونه سنگ‌های اپیدوت - گارنت آمفیبولیت‌ها و گارنت-پروکسن آمفیبولیت‌ها در گستره‌ی کلینوپروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن‌دار قرار می‌گیرند و از نوع دیوپسید هستند. گارنت‌ها در گستره ترکیبی آلماندین تا گروسولار قرار دارند.

تغییرهای ترکیب گارنت و عناصر Ca, Mg, Mn و Fe²⁺ از لبه به مرکز در بلورهای آن روند مشخصی را نشان نمی‌دهند و حالت خطی دارند. نبود منطقه‌بندی مشخص عناصر Mg, Mn, Fe²⁺ و Ca و الگوهای مسطح آنها بیانگر انتشار سریع طی دگرگونی پیش‌رونده و در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است. ترکیب پلاژیوکلازها در آمفیبولیت‌های توده‌ای بیشتر در گستره آلبیت - الیگوکلاز، در گارنت-پروکسن آمفیبولیت‌ها بیشتر در گستره الیگوکلاز-آندزین و در آمفیبولیت‌های جهت‌یافته بیشتر در گستره آندزین-لابرادوریت قرار می‌گیرد. اسفن‌ها در گارنت-پروکسن آمفیبولیت‌ها در گستره دگرگونی/گرمایی قرار دارد و اپیدوت در اپیدوت-گارنت آمفیبولیت‌های مورد بررسی، در زیرگروه اپیدوت رده‌بندی می‌شود.

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

- نمودار فازی دما-فشار (P-T) نشان می‌دهد که مجموعه آمفیبول + پلاژیوکلاز + اپیدوت + اسفن در دمای ۶۵۰ - ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار کمتر از ۸ کیلو بار پایدار است که با نتایج دما-فشارسنجی هورنبلند - پلاژیوکلاز همخوانی دارد. بر این اساس، آمفیبولیت‌های دارای گارنت + پروکسن دچار دگرگونی درجه‌های بالاتری شده‌اند (دما بیشتر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بیش از ۸ کیلو بار).

- [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.
- [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>
- [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](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](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>

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>

[30] Anderson J.L., Smith D.R., "The effects of temperature and f_{O_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