تحولات دگرگونی شیست‌های پلیتی فشاربالا واقع در شمال‌غرب شهر نهاوند از نواردگرگونی سنندج- سیرجان، ایران

مهسا طهماسبی[۱]، جواد ایزدیار*[۱]، علی اصغر سپاهی[۲]، صادق درخش[۱]
۱. دانشگاه زنجان، دانشکدهٔ علوم، گروه زمین‌شناسی
۲. دانشگاه بوعلی سینا، دانشکدهٔ علوم پایه، گروه زمین‌شناسی

دریافت ۹۸/۱۰/۲۴ پذیرش ۹۹/۰۶/۰۱

چکیده

شیست‌های پلیتی که دارای مجموعه کانیایی فشار بالا هستند، در شمال‌غربی شهر نهاوند از نوار دگرگونی سنندج - سیرجان واقع در غرب ایران یافت شدند. مشاهدات پتروفابریکی و نتایج تجزیهٔ شیمیایی کانی‌ها نشان می‌دهد که شیست‌های پلیتی منطقه نهاوند دو مرحله دگرگونی را ثبت کرده‌اند. مرحلهٔ قدیمی‌تر (M1) با بقایای پیروکسن امفاسیتی تبدیل‌شده به کلریت، ادخال‌های گلوکوفانی و میکای سفید فنژیتی واقع در مرکز پلاژیوکلاز آلبیتی، ساختار منطقه‌بندی شیمیایی در آمفیبول‌ها با مرکز وینچیتی و در میکای سفید با مرکز فنژیتی مشخص می‌شود. این در حالی است که در مرحلهٔ دوم دگرگونی (M2) آمفیبول‌های ترمولیتی، کلریت‌های از نوع کلینوکلر و میکای سفید از نوع موسکوویت که تشکیل‌دهندهٔ شیستوزیته اصلی هستند و یا در حاشیهٔ فشارشی پلاژیوکلازهای آلبیتی دیده می‌شوند، شناخته می‌شود. محاسبه و تخمین شرایط فشار-دمای مراحل دگرگونی M1 و M2 با استفاده از دما-فشارسنج‌های استاندارد و نرم‌افزار ترموکالک نشان می‌دهد که مرحلهٔ M1 در شرایط میانگین P=۱۵ /۵kbar و T=۵۷۵ °C و مرحلهٔ M2 در شرایط میانگین P=۴/۵kbar و T=۶۰۰°C تشکیل شده‌اند. الگوی فشار- دمای حاصل‌شده نشان‌گر مسیری ساعت‌گرد است که در آن دگرگونی فشار بالا (مرحلهٔ M1) با یک دگرگونی بازگشتی فشار پایین (مرحلهٔ M2) دنبال می‌شود. این الگوی فشار-دما در منطقه نهاوند می‌تواند بر اثر فرورانش صفحه اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه ایران ایجاد شده باشد.

واژه‌های کلیدی: شیست‌های پلیتی فشار بالا، نهاوند، نوار دگرگونی سنندج -سیرجان

مقدمه

سرزمین ایران از بزرگ‌ترین نواحی تکتونیکی درجنوب غرب آسیا است که به‌صورت یک‌پارچه‌ای نیست، بلکه از قطعه‌های تکتونیکی قاره‌ای متعددی تشکیل شده که در حال حاضر به‌وسیلهٔ نوارهای افیولیتی غیرپیوسته از یک‌دیگر جدا شده‌اند [۱]، [۲]. نوار دگرگونی سنندج- سیرجان یکی از این قطعه‌های تکتونیکی قاره‌ای است که میان قطعه‌های ایران مرکزی و زاگرس قرار گرفته است. قطعهٔ زاگرس به‌صورت یک نوار تراستی و چین‌خورده در حاشیهٔ شمال شرقی صفحهٔ عربی واقع شده است [۱]-[۵]. این نوار دگرگونی با طول وعرض تقریبی ۱۵۰۰ و ۲۰۰ کیلومترداری روند شمال غربی- جنوب شرقی است [۶] و عمدتاً از سنگ‌های دگرگونی مزوزوئیک تشکیل شده است (شکل ۱ آ) [۷]. اعتقاد براین بوده است که نواردگرگونی سنندج- سیرجان متحمل دگرگونی درحد رخساره آمفیبولیت شده است [۷]، [۸] اما شواهد متعددی از دگرگونی فشار بالا در بخش‌های مختلفی از این نوار وجود دارد. به‌عنوان مثال داودیان و همکاران [۹] اکلوژیت‌های شمال شهرکرد را گزارش کردندکه تا ۲۴ کیلوبار فشار را متحمل شده‌اند. آگارد و همکاران [۱۰] در

*نویسنده مسئول izadyar@znu.ac.ir

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

منطقهٔ حاجی‌آباد، شیست‌های آبی گزارش کردند که تحت تأثیر ۱۸ کیلوبار فشار قرار گرفته است. هم‌چنین ایزدیار و همکاران و ایزدیار و اسکندری [۱۱]، [۱۲] کوارتز شیست‌ها و مرمرها را دربخش‌های مختلف نواردگرگونی سنندج-سیرجان معرفی کردند که متحمل دگرگونی فشار بالا شده‌اند. در هنگام پژوهش‌های سنگ‌شناسی در منطقه نهاوند، شیست‌های پلیتی با مجموعه کانیایی فشار بالا مشاهده شد که در این مقاله مجموعه کانیایی، فابریک و شیمی کانی‌ها آنها توصیف می‌شود و شرایط ترمودینامیکی تشکیل آنها موردبحث قرار می گیرد.

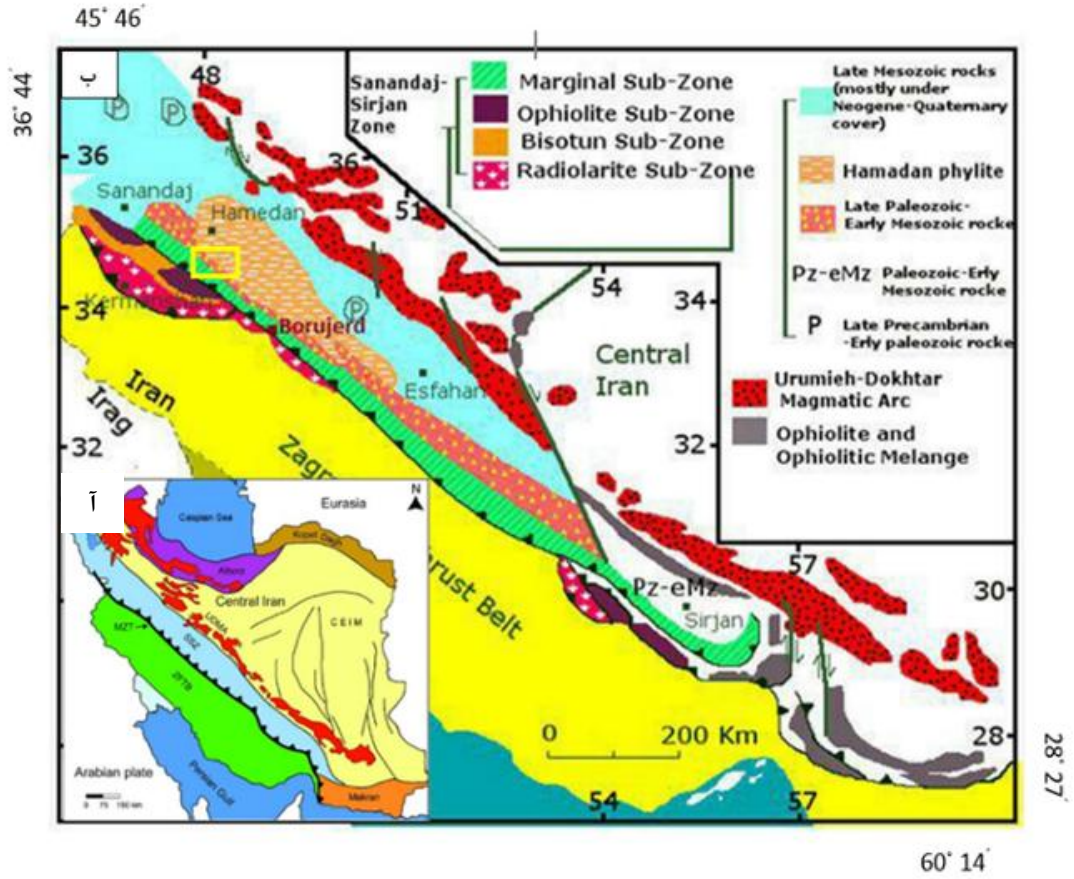
روش پژوهش

پس از جمع‌آوری نمونه‌ها در پژوهش‌های صحرایی از شمال نهاوند، مقاطع تهیه شده در آزمایشگاه پتروگرافی دانشگاه زنجان بررسی و مطالعه شدند. شیمی شیست‌های پلیتی برای تجزیه الکترون میکروپروب به دانشگاه تورنتو کشور کانادا ارسال و به‌وسیلهٔ دستگاه الکترون میکروپروب Cameca SX 50، با سه کانال WDS بررسی شد. شتاب ولتاژ 15kv و شدت اشعه 10 nA، هنگام تجزیه استفاده شد. اصلاح نتایج به‌وسیلهٔ روش ZAF یا Phi-Rho-z مطابق روش آرمسترنگ [۱۳] انجام شد. محاسبهٔ مجدد تجزیه‌ها، محاسبه مقادیر Fe^{3+} و اجزای نهایی کانی‌ها، به‌وسیلهٔ نرم‌افزار AX هلند و پاول [۱۴]،[۱۵] انجام پذیرفت. نام اختصاری کانی‌ها از و یتنی و اوانز [۱۶] گرفته شده است.

زمین‌شناسی

از جنوب غرب به طرف شمال شرقی، پهنه سنندج- سیرجان از زیر پهنه‌های طویل متعددی با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی تشکیل شده است که عبارتند از: ۱. زیرپهنه رادیولاریتی که عمدتاً از رادیولاریت‌های مناطق عمیق دریایی و سنگ آهک‌های مناطق کم‌عمق با سن تریاس-کرتاسه تشکیل شده، ۲. زیرپهنهٔ بیستون که از سنگ آهک‌های تریاس تشکیل شده، ۳. زیرپهنهٔ افیولیتی که نشان‌گر مرز برخورد است، ۴. زیرپهنهٔ حاشیه‌ای که عمدتاً ازسنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک بالایی-کرتاسه پائینی همراه با رسوبات کرتاسه نواحی کم‌عمق دریایی تشکیل شده است و بالاخره ۵. زیرپهنهٔ به‌شدت تغییرشکل یافته که از انواع شیست، مرمر، آمفیبولیت و سایر انواع سنگ‌های دگرگونی تشکیل شده است (شکل۱ ب) [۷]. منطقهٔ نهاوند در زیرپهنهٔ تغییر شکل یافته و نزدیک به راندگی اصلی زاگرس قراردارد (شکل۱ ب). به‌غیر از واحد نازک افیولیتی، واحدهای سنگی منطقه نهاوند را می‌توان در دو گروه سنگ‌های دگرگون شده و دگرگون نشده طبقه‌بندی کرد (شکل۲) [۱۷]. سنگ‌های دگرگونی شامل پنج واحد مختلف هستند که عموماً با واحدهای بالایی و پائینی خود دارای مرزگسله هستند. قدیمی‌ترین واحد (PTrm) تناوبی از مرمرهای ضخیم با سن پرمین-تریاس است که به‌ویژه در مرز با سنگ‌های بالایی به‌شدت خرد شده و میلونیتی هستند. واحد بعدی (TrJmv) تناوبی است از گدازهٔ دگرگون شده بازالتی و آندزیتی- بازالتی که دارای میان لایه‌هایی از مرمر و اسلیت است. توده‌های کوچکی از گابروهای دگرگون شده نیز درون این مجموعه نفوذ کرده است [۱۷]. واحد سوم (TrJm) تناوبی از مرمرهای فسیل‌دار با سن تریاس بالایی-ژوراسیک پائینی است. واحد چهارم (Jsv) تناوبی است از اسلیت، فیلیت و متاگری وک با میان لایه‌هایی از مرمر و سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده در بخش‌های پائینی و در نهایت واحد پنجم (Jh) تناوبی است از هورنفلس‌های کردیریت‌دار که در نتیجه نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی کرتاسه بالایی ایجاد شده‌اند [۱۷] (شکل۲). در این پژوهش واحد Jsv از نظر صحرایی دقیق‌تر بررسی شد. این واحد در شمال غرب نهاوند رخنمون دارد و عمدتاً تناوبی از شیست‌های پلیتی، کوارتز شیست و مرمر با سن ژوراسیک پایینی است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

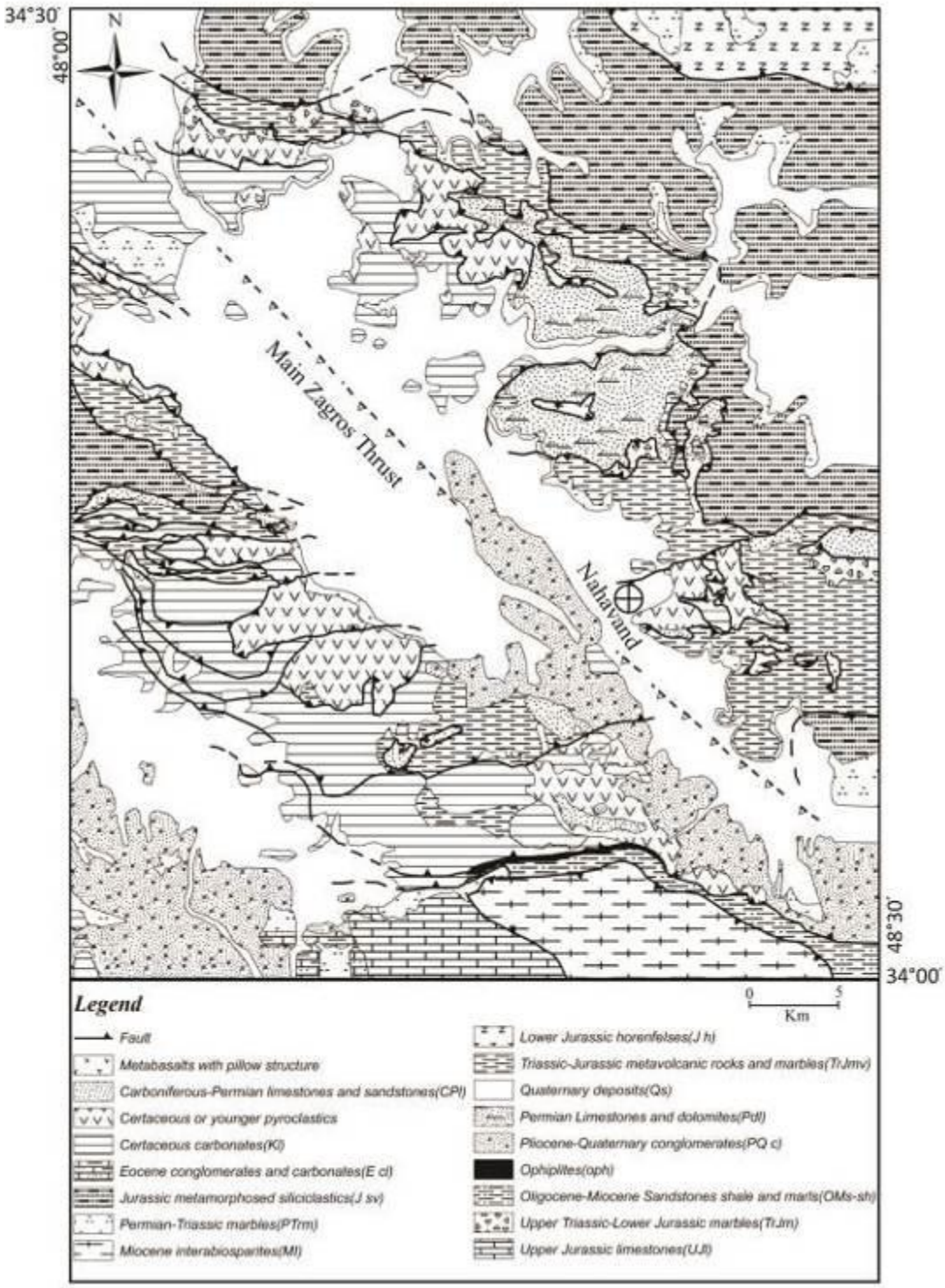


شکل۱. آ) نقشهٔ زمین‌شناسی ساده شده ایران، ب) نقشهٔ تکتونیکی نوارسنندج- سیرجان (اقتباس و ساده شده از [۷])

مرمرها در بخش جنوب‌غربی و کوارتز شیست‌ها در بخش میانی دارای گسترش بوده است در حالی که بخش بزرگی از محدودهٔ بررسی شده تناوبی از شیست‌های پلیتی و کوارتز شیست‌ها است (شکل ۳). شیست‌های پلیتی عموماً دارای ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر ضخامت است و در تناوبی از لایه‌های نازک‌تر کوارتز شیستی با ضخامت ۳۰ تا ۵۰ متر قرار گرفته‌اند (شکل ۴ آ). در بعضی از مناطق تناوب نازک لایه از شیست‌های پلیتی و کوارتز شیست در مقیاس سانتی‌متری مشاهده می‌شود (شکل ۴ ب). بر اساس مشاهدات صحرایی تناوب شیست‌های پلیتی و کوارتز شیست متحمل دگرشکلی شده‌اند. مهم‌ترین دگر شکلی مشاهده شده به‌صورت چین‌های ماکروسوپی و مزوسکوپی بسته با جهت‌گیری سطح محوری NW-SE تا W-E و شیستوزیته سطح محوری همراه آنها است (شکل ۴ پ). هم‌جهتی تورق مشاهده شده در شیست‌های پلیتی و کوارتز شیست‌ها با سمت‌گیری سطح محوری چین‌ها نشان می‌دهد که بر اثر عملکرد این دگرشکلی ایجاد شده‌اند (شکل ۴ ت).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

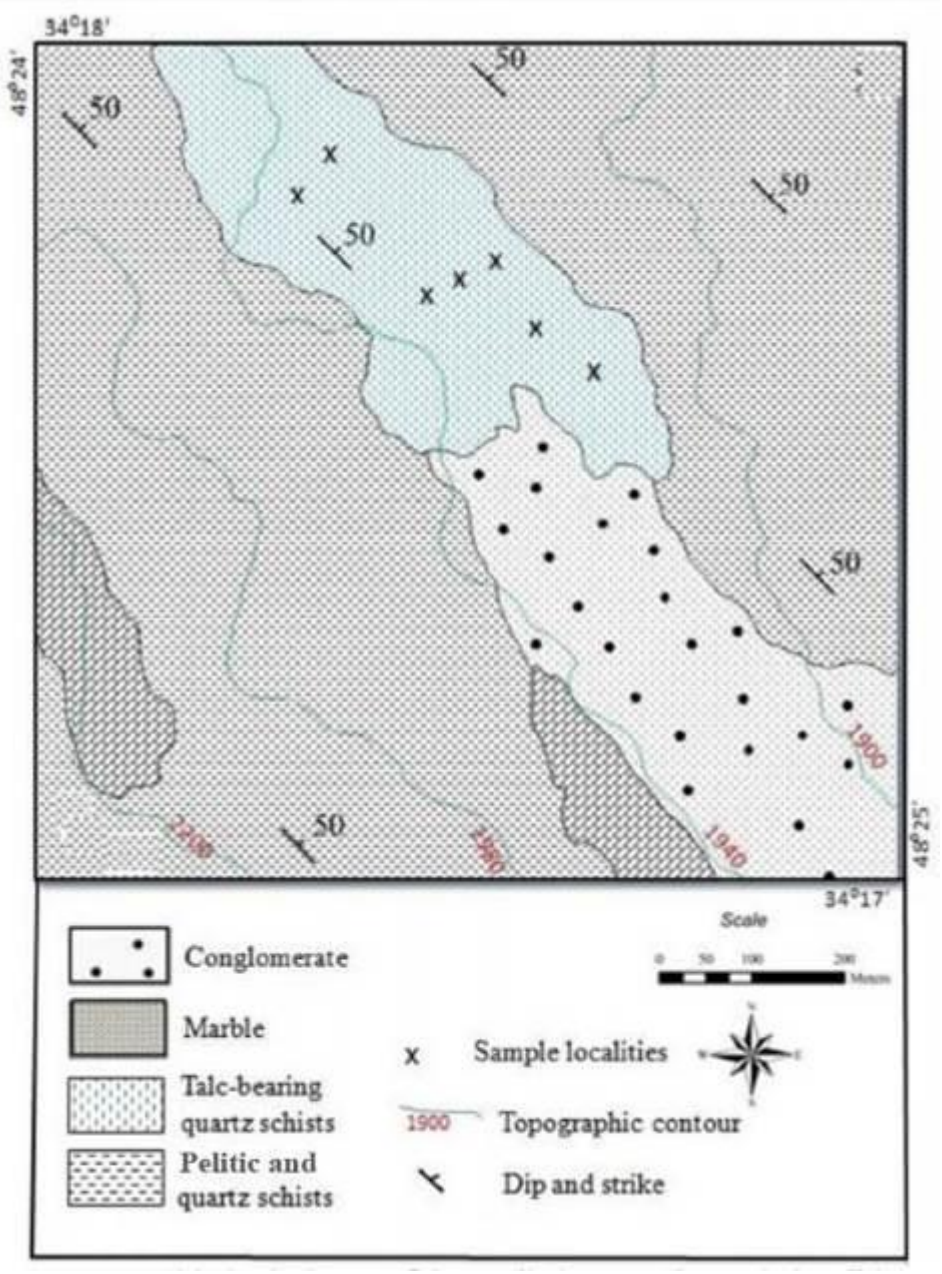
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]



شکل۲. نقشهٔ زمین‌شناسی نهاوند (اقتباس و ساده شده از [۱۷]

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]



شکل۳. نقشهٔ سنگ‌ساختاری منطقهٔ بررسی شده و محل نمونه برداری

سنگ‌نگاری

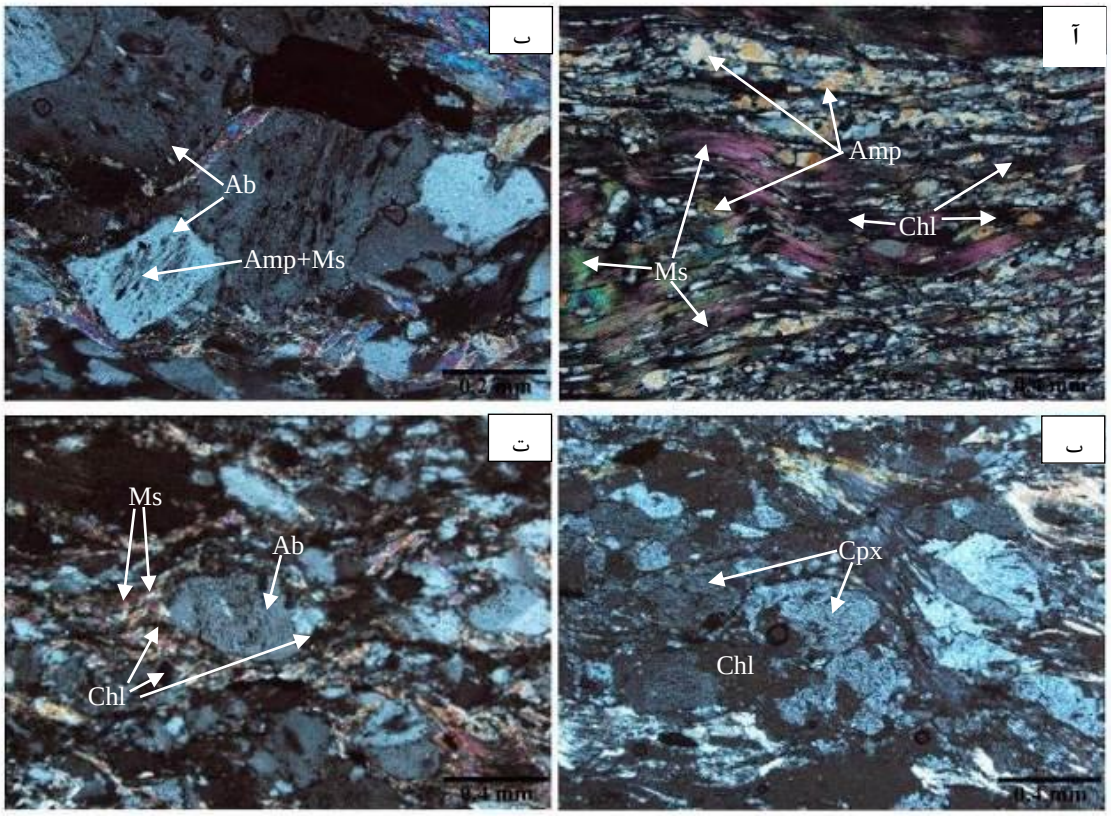
نمونه‌های شیستی برای بررسی سنگ‌نگاری از بخش تناوب شیست‌های پلیتی و کوارتز شیستی از واحد (Jsv) برداشت شدند. بررسی سنگ‌نگاری و مشاهدات کانیایی نشان می‌دهد که سنگ اولیه ترکیب نیمه‌پلیتی داشته، از این‌رو، کانی‌های شاخص دگرگونی پلیت‌ها در آنها دیده نمی‌شود. این شیست‌ها دارای فابریک پورفیروپویی-کیلونماتولپیدوبلاستیک هستند و عمدتاً از پلاژیوکلاز سدیک، آمفیبول سدیک و کلسیک، پیروکسن سدیک، میکای سفید فنژیتی و موسکوویتی، کلریت و کوارتز تشکیل شده‌اند. کلریت، موسکوویت و آمفیبول کلسیک تشکیل‌دهندهٔ شیستوزیته اصلی است که گاهی به‌وسیلهٔ ریزچین‌ها تحت تؤثیر قرار می‌گیرند ولی مشاهدات میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانی جدیدی دگرگونی در امتداد ریزچین‌ها تشکیل نشده است (شکل ۵ آ). پلاژیوکلاز عموماً به‌صورت

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

پورفیروپویی کیلوبلاست دیده می‌شود و دارای ادخال‌های از آمفیبول و میکای سفید است که عموماً در مرکز آنها قرار گرفته‌اند درحالی که حاشیه بلاست‌های پلاژیوکلاز فاقد ادخال هستند (شکل ۵ ب). آمفیبول‌ها در دو موقعیت متفاوت فابریکی وجود دارند. گروه اول آمفیبول‌های سدیک هستند که به‌صورت ادخال در مرکز پویی کیلوبلاست‌های پلاژیوکلاز و گروه دوم آمفیبول‌های کلسیک که همراه با موسکویت و کلریت تشکیل‌دهندهٔ شیستوزیته غالب یا اصلی است (شکل ۵ آ و ب). پیروکسن‌های سدیک عموماً تبدیل‌شدگی وسیع و شدید به کلریت دارند که تشخیص میکروسکوپی آنها را مشکل می‌کند (شکل ۵ پ). میکای سفید در سه موقعیت متفاوت فابریکی قابل مشاهده است. موقعیت اول حضور میکای سفید فنژیتی در مرکز بلاست‌های پلاژیوکلاز، موقعیت دوم میکای سفید موسکوویتی همراه با کلریت و آمفیبول در شیستوزیته اصلی و موقعیت سوم موسکوویت همراه با کلریت در حاشیه فشارشی اطراف بلاست‌های پلاژیوکلاز (شکل ۵ آ، ب و ت). کلریت در دو موقعیت متفاوت فابریکی دیده می‌شود. گروهی از آنها تشکیل‌دهنده اصلی شکل‌های شیستوزیته هستند درحالی که گروه دیگر در حاشیهٔ فشارشی بلاست‌های پلاژیوکلاز وجود دارند (شکل ۵ آ، ب و ت).

شکل ۴. تصاویر صحرایی از شیست‌های پلیتی و کوارتز شیست‌های واحد Jsv. آ)تناوب شیست‌های پلیتی و کوارتز شیست‌ها. شیست‌های پلیتی به‌رنگ تیره و کوارتز شیست‌ها به‌رنگ روشن دیده می‌شوند، ب) تناوب نازک لایه از شیست‌های پلیتی (رنگ تیره) و کوارتز شیست‌ها (رنگ روشن)، پ) چین‌های غالب مشاهده شده در شیست‌های پلیتی، ت) تورق غالب در شیست‌های پلیتی ناشی از شیستوزیته سطح محوری چین‌های نشان داده شده در شکل ۴ پ

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی ازشیست‌های پلیتی منطقهٔ نهاوند. آ) کانی‌های تشکیل‌دهندهٔ شیستوزیته اصلی (کلریت، موسکویت، آمفیبول) همراه باریزچین‌ها (نورمتقاطع)، ب)پورفیروپویی کیلوبلاست‌های پلاژیوکلاز که دارای ادخال‌های آمفیبول و موسکویت در مرکز و حاشیه بدون ادخال هستند (نور متقاطع)، پ) بلاست‌های پیروکسن با تبدیل‌شدگی شدید به کلریت (نورمتقاطع)، **ت) فابریک پیچیده و حاشیهٔ فشارشی در اطراف پورفیروبلاست‌های پلاژیوکلاز، میکای سفید و کلریت مهم‌ترین کانی‌های تشکیل‌دهندهٔ حاشیهٔ فشارشی هستند (نورمتقاطع).**

شیمی کانی‌ها

پیروکسن

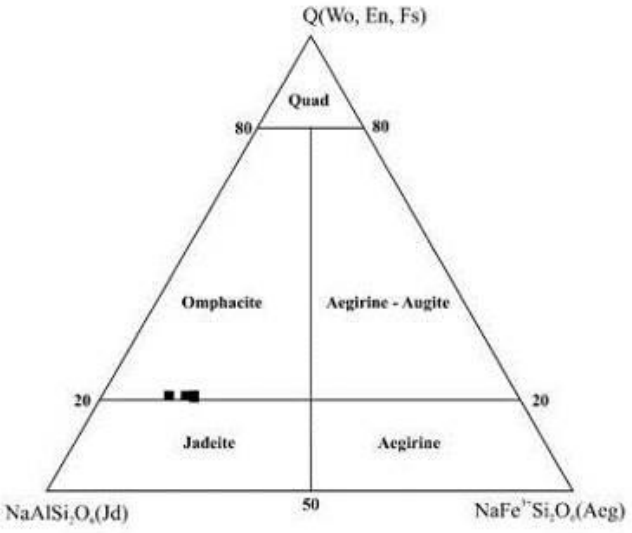
پیروکسن‌های مشاهده شده عموماً دارای تبدیل‌شدگی شدید از حاشیه به کلریت بودند. برای طبقه‌بندی و نام‌گذاری پیروکسن‌ها بر اساس تجزیه میکروپروب آن‌ها از روش توصیه شده موریموتو و همکاران [۱۸] استفاده شد. بر این اساس پیروکسن‌ها در گروه پیروکسن‌های سدیک-کلسیک قرار گرفته و از نوع امفاسیت است (شکل۶) (جدول۱).

آمفیبول

برای طبقه‌بندی و نام‌گذاری آمفیبول‌ها بر اساس تجزیه میکروپروب آنها ازروش هاتورن و همکاران [۲۰] استفاده شد. بر این اساس آمفیبول‌ها در سه گروه اصلی سدیک، سدیک- کلسیک و کلسیک قرار می‌گیرند. آمفیبول‌هایی که در مرکز پلاژیوکلازها به‌صورت ادخال حفظ شده‌اند، در گروه سدیک قرارگرفته و از نوع گلوکوفان است. درحالی‌که آمفیبول‌هایی که تشکیل‌دهندهٔ شیستوزیته اصلی به‌همراه موسکویت و کلریت هستند اغلب از نوع ترمولیت است و گاهی اوقات ساختار منطقه‌بندی شیمیایی نشان می‌دهند که بر این اساس مرکز آنها سدیک- کلسیک از نوع وینچیت

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

بوده است در حالی‌که حاشیهٔ آنها در گروه آمفیبول‌های کلسیک قرار می‌گیرد و ترکیب ترمولیتی دارند (شکل ۷ آ، ب و پ) (جدول۲).



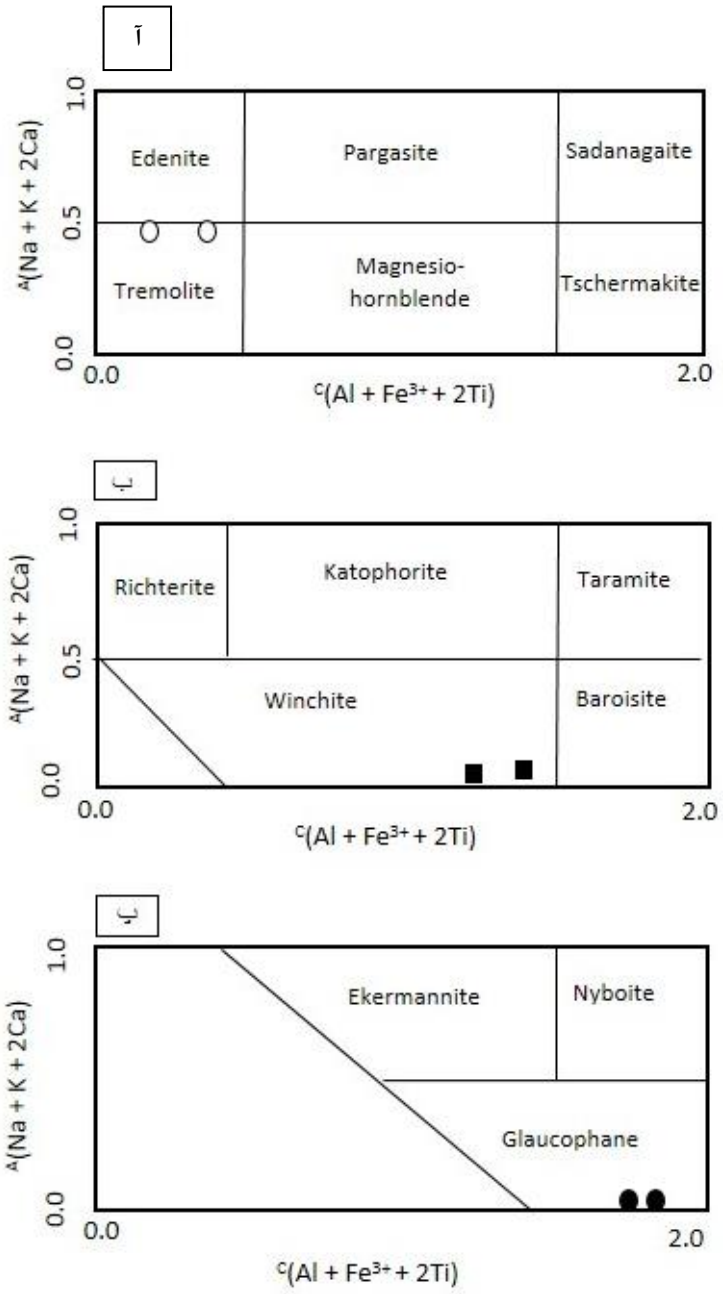
شکل۶. ترکیب شیمیایی پیروکسن روی نمودار Q(Wo+En+Fs), Jd and Ae [۱۸]

جدول۱. نتایج تجزیهٔ الکترون میکروپروب پیروکسن. مقادیر کاتیونی ومقدار Fe^{3+} و مقادیر فعالیت اعضائ نهایی با استفاده از نرم افزار AX[۱۹] **محاسبه شده‌اند.**

شمارهٔ نقطه	۱	۲	۳	۴
SiO_2	۵۰/۲۱	۵۰/۱۴	۵۰/۸۳	۵۰/۶۱
TiO_2	۱/۱۰	۱/۰۳	۱/۱۲	۱/۱۳
Al_2O_3	۵/۰۲	۴/۸۶	۳/۸۸	۴/۱۲
Fe_2O_3	۳/۲۳	۱/۸۴	۲/۴۰	۲/۷۵
FeO	۳/۱۱	۳/۹۶	۳/۸۷	۳/۳۷
MnO	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۹
MgO	۱۶/۱۲	۱۵/۸۱	۱۶/۱۳	۱۵/۹۸
CaO	۱۸/۵۶	۱۹/۱۲	۱۸/۶۱	۱۹/۰۱
Na_2O	۳/۱۰	۳/۲۰	۲/۹۰	۲/۸۰
K_2O	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳
مجموع	۱۰۰/۷۷	۱۰۱/۱۹	۱۰۰/۲۳	۱۰۰/۳۸
$No.O_X$		O = ۶		
Si	۱/۸۳۵	۱/۸۵۹	۱/۸۷۱	۱/۸۶۲
Ti	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱
Al	۰/۲۱۶	۰/۲۰۸	۰/۱۶۸	۰/۱۷۹
Fe^{3+}	۰/۰۸۹	۰/۰۵۰	۰/۰۶۶	۰/۰۷۶
Fe^{2+}	۰/۰۹۵	۰/۱۲۰	۰/۱۱۹	۰/۱۰۴
Mn	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
Mg	۰/۸۷۸	۰/۸۵۶	۰/۸۸۵	۰/۸۷۶
Ca	۰/۷۲۷	۰/۷۴۵	۰/۷۳۴	۰/۷۴۹
Na	۰/۲۲۰	۰/۲۲۶	۰/۲۰۷	۰/۲۰۰
K	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Total	۴/۰۹۳	۴/۰۹۷	۴/۰۸۵	۴/۰۸۰
Di	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۶۲
Hd	۰/۰۸۸	۰/۱۰۹	۰/۱۱۰	۰/۰۹۹
Cats	۰/۰۹۴	۰/۱۲۹	۰/۰۸۱	۰/۰۸۲
Jd	۰/۱۴۷	۰/۲۲۵	۰/۱۲۹۱	۰/۱۲۲۹
Acm	۰/۱۵۳	۰/۱۱۵	۰/۱۲۵	۰/۱۴۰

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]



شکل۷. نمودارهای ترکیب شیمیایی برای آمفیبول‌های کلسیک، آ) سدیک - کلسیک، ب) و سدیک، پ). دایره پر نمایان‌گر آمفیبول‌های موجود در مرکز بلاست‌های پلاژیوکلاز. مربع سیاه نشان‌گر مرکز آمفیبول‌های موجود در شیستوزیته اصلی. دایره توخالی نشان‌گر حاشیهٔ آمفیبول‌های موجود در شیستوزیته اصلی

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

جدول۲. نتایج تجزیهٔ الکترون میکروپروب آمفیبول. مقادیر کاتیونی ومقدار Fe^{3+} و مقادیر فعالیت اعضائ نهایی با استفاده از نرم‌افزار AX[۱۹] محاسبه شده‌اند.

موقعیت	در آلبیت		در شیستوزیته			
مرکز/حاشیه	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	حاشیه	حاشیه
شماره نقطه	۱	۲	۱	۲	۳	۴
SiO_2	۵۷/۴۶	۵۸/۰۱	۵۶/۸۶	۵۷/۰۱	۵۵/۶۱	۵۴/۵۳
TiO_2	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۲۱
Al_2O_3	۱۰/۹۸	۹/۸۶	۸/۸۳	۹/۱۲	۲/۵۱	۳/۱۲
Fe_2O_3	۰/۶۵	۱/۵۸	۰/۰۰	۱/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰
FeO	۹/۴۲	۸/۵۱	۱۰/۳۵	۹/۹۵	۱۰/۷۷	۱۰/۶۱
MnO	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۶
MgO	۱۱/۱۲	۱۲/۳۱	۱۳/۱۴	۱۲/۵۱	۱۴/۶۱	۱۴/۷۳
CaO	۱/۳۷	۲/۰۱	۳/۰۵	۳/۱۵	۱۳/۱۲	۱۲/۸۶
Na_2O	۶/۴۱	۶/۲۵	۴/۶۳	۵/۳۳	۲/۰۱	۱/۶۵
K_2O	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۰۱	۰/۰۵
مجموع	۹۷/۷۳	۹۸/۹۵	۹۷/۴۸	۹۸/۸۸	۹۸/۹۱	۹۷/۹۲
$No.O_X$			O = ۲۳			
Si	۷/۸۹	۷/۸۸	۷/۸۷۹	۷/۸۲۶	۷/۸۵۸	۷/۷۷۷
Ti	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۲۳
Al	۱/۷۷۷	۱/۵۷۹	۱/۴۴۳	۱/۴۷۶	۰/۴۱۸	۰/۵۲۵
Fe^{3+}	۰/۰۶۷	۰/۱۶۲	۰/۰۰	۰/۱۲۷	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe^{2+}	۱/۰۸۲	۰/۹۶۷	۱/۲۰	۱/۱۴۲	۱/۲۷۳	۱/۲۶۶
Mn	۰/۰۱۳	۰/۰۲۴	۰/۰۳۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۹
Mg	۲/۲۷۶	۲/۴۹۲	۲/۷۱۴	۲/۵۵۹	۳/۰۷۷	۳/۱۳۱
Ca	۰/۲۰۲	۰/۲۹۳	۰/۴۵۳	۰/۴۶۳	۱/۹۸۶	۱/۹۶۵
Na	۱/۷۰۷	۱/۶۴۶	۱/۲۴۴	۱/۴۱۹	۰/۵۵۱	۰/۴۵۶
K	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۸	۰/۰۵۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹
Total	۱۵/۰۴۳	۱۵/۰۷۲	۱۵/۰۰۸	۱۵/۰۹۶	۱۵/۱۹۵	۱۵/۱۷۱
Tr	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۱۳۸	۰/۱۶۳
Rbk	۰/۰۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۱۶۹	-	۰/۰۰۰۰۹۳	-	-
Fac	-	-	-	-	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸
Ts	-	-	-	-	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۴
Prg	-	-	-	-	۰/۱۳۷۸	۰/۱۱۶۰
Gln	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۶۱	۰/۰۶۳	۰/۰۷۰۵۷	۰/۰۵۱۵۷
Fgl	۰/۰۲۹	۰/۰۱۳۸	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۹۸	-	-

پلاژیوکلاز

مشاهدات فابریکی نشان داد که پلاژیوکلازها با توجه به نحوهٔ قرارگرفتن ادخال‌ها دارای منطقه‌بندی هستند به‌صورتی‌که ادخال‌های آمفیبول و میکای سفید بیش‌تر در مرکز آنها قرارگرفته، در حالی‌که حاشیهٔ آنها فاقد ادخال است. این ساختار منطقه‌بندی فابریکی با نتایج تجزیه‌های میکروپروب انطباق دارد به‌صورتی‌که مرکز پلاژیوکلازها دارای X_{Na} بیش‌تر و X_{Ca} کم‌تری نسبت به حاشیهٔ آنها است (مقایسه کنید ترکیب میانگین مرکز X_{Na}=0.60 و X_{Ca}=0.33 با ترکیب میانگین حاشیه X_{Na}=0.42 و X_{Ca}=0.49) (جدول ۳).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

جدول۳. نتایج تجزیهٔ الکترون میکروپروب پلاژیوکلاز. مقادیر کاتیونی و مقادیر فعالیت اعضائ نهایی با استفاده از نرم افزار AX[۱۹] محاسبه شده‌اند.

مرکز/حاشیه	مرکز	مرکز	مرکز	حاشیه	حاشیه	حاشیه
شماره نقطه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
SiO_2	۵۸/۴۱	۵۷/۸۱	۵۸/۵۲	۵۶/۶۳	۵۶/۵۱	۵۷/۰۱
TiO_2	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al_2O_3	۲۶/۱۲	۲۶/۸۶	۲۶/۲۵	۲۸/۶۱	۲۸/۵۶	۲۸/۳۱
CaO	۹/۱۲	۸/۸۵	۸/۳۱	۱۰/۱۴	۱۰/۹۸	۱۰/۱
Na_2O	۶/۳۱	۷/۱۲	۷/۰۲	۵/۳۱	۴/۲۸	۵/۰۱
K_2O	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۰
مجموع	۱۰۰/۰۶	۱۰۰/۷۹	۱۰۰/۲۳	۱۰۰/۸۸	۱۰۰/۴۲	۱۰۰/۴۴
$No.O_X$	O = ۱۱					
Si	۲/۶۱۱	۲/۵۷۵	۲/۶۱۲	۲/۵۱۷	۲/۵۱۹	۲/۵۳۸
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۱/۳۷۷	۱/۴۱۱	۱/۳۸۱	۱/۴۹۹	۱/۵۰۱	۱/۴۸۶
Ca	۰/۴۳۷	۰/۴۲۲	۰/۳۹۷	۰/۴۸۳	۰/۵۲۴	۰/۴۷۷
Na	۰/۵۴۷	۰/۶۱۵	۰/۶۰۷	۰/۴۵۸	۰/۳۷۰	۰/۴۳۲
K	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
مجموع	۴/۹۷۷	۵/۰۳۱	۵/۰۰۵	۴/۹۶۵	۴/۹۱۹	۴/۹۳۹
An	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۳
Ab	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۵

میکای سفید

میکای سفید در موقعیت‌های متفاوت فابریکی مشاهده شدند و بر اساس نتایج تجزیهٔ میکروپروب منطقه‌بندی شیمیایی دارند. میکای سفیدی که در مرکز پلاژیوکلاز به‌صورت ادخال به‌همراه آمفیبول مشاهده شد، دارای ترکیب فنژیتی بوده است و ترکیب آن از عضو نهایی موسکویت با جانشینی چرماکیتی ($Mg\ Si\ Al_{-1}\ \ Al_{-1}$) به‌سمت عضو نهایی سلادونیت تغییر می‌کند. میکاهای سفیدی که تشکیل‌دهندهٔ اصلی شیستوزیته هستند نیز گاهی ساختار منطقه‌بندی شیمیایی نشان می‌دهند، که بر این اساس مرکز آنها دارای ترکیب فنژیتی بوده است درحالی‌که حاشیهٔ آنها نزدیک به عضو نهایی موسکویت است (شکل ۸ آ) (جدول۴).

کلریت

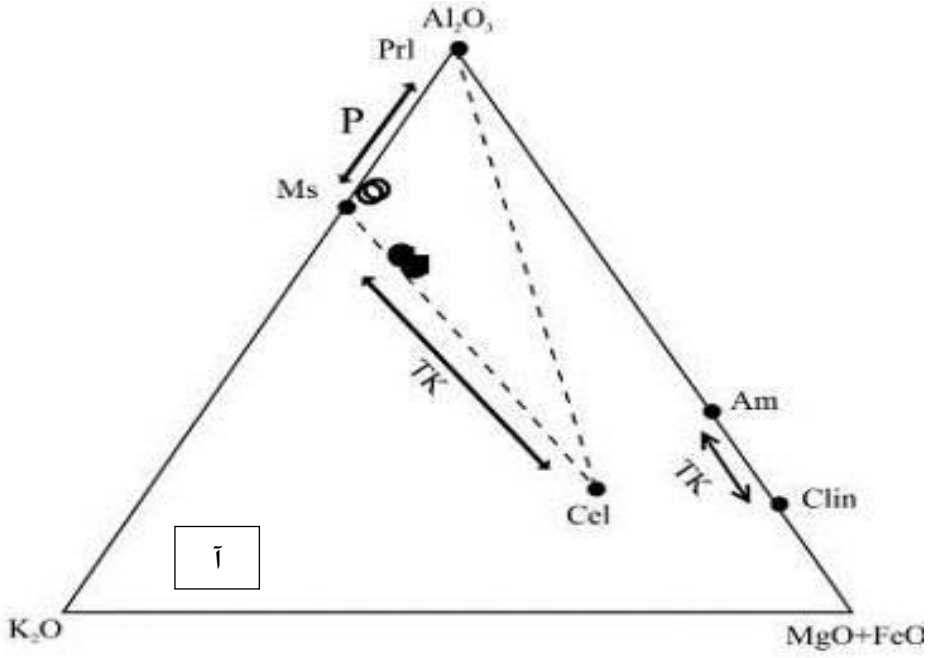
کلریت‌ها عموماً ترکیب شیمیایی نزدیک به عضو نهایی کلینوکلر دارند اما تغییراتی در ترکیب شیمیایی آنها از طریق جانشینی چرماکیتی ($Mg\ Si\ Al_{-1}\ \ Al_{-1}$) به‌سمت آمسیت، از طریق جانشینی $Mg_{-1}\ \ Fe^{2+}$ به‌سمت دافنیت و از طریق جانشینی دی/تری‌اکتائدری $Al_{-2}\ \ \square$ ($Mg\ Fe^{2+})_3$ به‌سمت سودوئیت دارند (شکل ۸ ب) (جدول ۵). مقایسهٔ ترکیب شیمیایی کلریت‌ها در موقعیت‌های متفاوت فابریکی از قبیل کلریت‌های تشکیل‌دهندهٔ شیستوزیته اصلی، کلریت‌های تشکیل شده در حاشیهٔ فشارشی تفاوت معنی‌دار شیمیایی ندارند.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

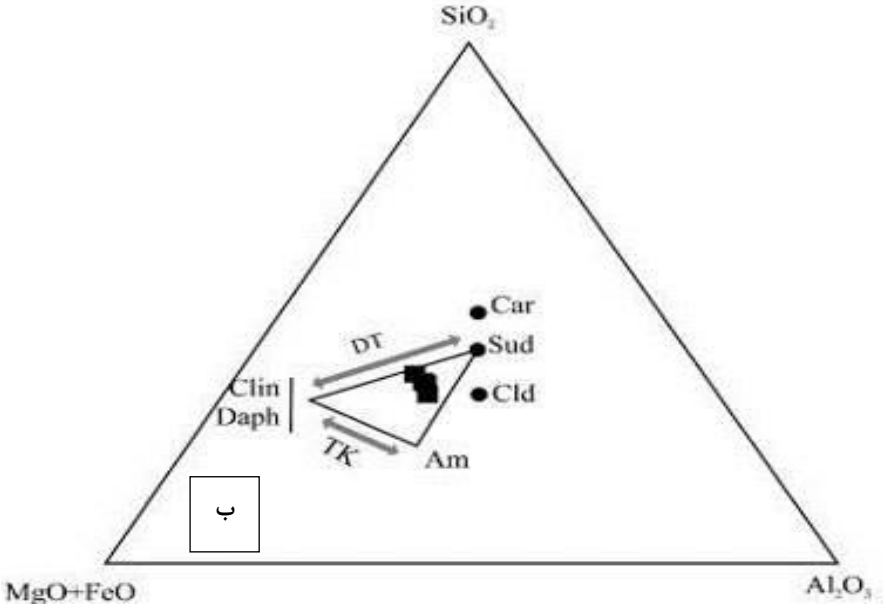
جدول۴. نتایج تجزیهٔ الکترومیکروپروب میکای سفید. مقادیر کاتیونی ومقدار Fe^{3+} و مقادیر فعالیت اعضائ نهایی با استفاده از نرم‌افزار AX[۱۹] محاسبه شده‌اند.

موقعیت	در آلبیت		در شیستوزیته			
مرکز/حاشیه	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	حاشیه	حاشیه
شماره نقطه	۱	۲	۱	۲	۳	۴
SiO_2	۵۰/۰۱	۴۸/۹۳	۴۸/۶۱	۴۸/۷۴	۴۵/۷۶	۴۵/۸۳
TiO_2	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۱۳
Al_2O_3	۲۷/۰۱	۲۶/۸۹	۲۷/۱۳	۲۶/۹۵	۳۶/۶۱	۳۷/۰۲
Fe_2O_3	۳/۳۸	۳/۹۸	۳/۴۳	۳/۳۵	۰/۴۰	۰/۰۰
FeO	۱/۳۰	۱/۵۴	۱/۳۲	۱/۲۹	۰/۶۶	۰/۹۸
MgO	۴/۱۲	۴/۶۳	۵/۱۳	۴/۱۳	۱/۲۰	۰/۸۶
CaO	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۲۱
Na_2O	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۸۱	۰/۷۸
K_2O	۱۰/۱	۱۰/۰۲	۹/۸۶	۱۰/۰۱	۱۰/۲۰	۹/۸۶
مجموع	۹۶/۷۲	۹۶/۸۷	۹۶/۴۱	۹۵/۴۴	۹۵/۸۵	۹۵/۶۷
$No.O_X$			O = ۱۱			
Si	۳/۳۱۲	۳/۲۵۴	۳/۲۳۸	۳/۲۷۷	۳/۰۲۱	۳/۰۲۴
Ti	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
Al	۲/۱۰۹	۲/۱۰۸	۲/۱۳۱	۲/۱۳۶	۲/۸۵	۲/۸۸۰
Fe^{3+}	۰/۱۶۸	۰/۱۹۹	۰/۱۷۲	۰/۱۶۹	۰/۰۲۰	۰/۰۰
Fe^{2+}	۰/۰۷۲	۰/۰۸۶	۰/۰۷۴	۰/۰۷۳	۰/۰۳۶	۰/۰۵۴
Mg	۰/۴۰۷	۰/۴۵۹	۰/۵۰۹	۰/۴۱۴	۰/۱۱۸	۰/۰۸۵
Ca	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵
Na	۰/۰۷۲	۰/۰۸۱	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۱۰۴	۰/۱۰۰
K	۰/۸۵۳	۰/۸۵۰	۰/۸۳۸	۰/۸۵۹	۰/۸۵۹	۰/۸۳۰
مجموع	۷/۰۰۸	۷/۰۵۲	۷/۰۵۹	۷/۰۳۱	۷/۰۲۱	۶/۹۹۵
Ms	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۷۳	۰/۷۴
Cel	۰/۱۰۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۱۰۳	۰/۰۱۵۸	۰/۰۰۹۴
Fcel	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۶۰
Pg	۰/۲۸۳	۰/۲۲۲	۰/۱۹۹	۰/۳۰۶	۰/۳۳۵	۰/۳۱۸



[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]



شکل ۸. آ) ترکیب شیمیایی میکای سفید روی نمودار $MgO+FeO, Al_2O_3, K_2O$ [۲۱]. دایره توپر نشان‌گر میکای سفید موجود در مرکز بلاست‌های پلاژیوکلاز. مربع توپر نشان‌گرمرکز میکای سفید موجود درشیستوزیته اصلی. دایره توخالی نشان‌گر حاشیه میکای سفید موجود در شیستوزیته اصلی، ب)ترکیب شیمیایی کلریت روی نمودار $SiO_2, MgO+FeO, Al_2O_3$ [۲۱]

جدول۵. نتایج تجزیه الکترون میکروپروب کلریت. مقادیر کاتیونی و مقادیر فعالیت اعضائ نهایی با استفاده از نرم‌افزار AX[۱۹] محاسبه شده‌اند.

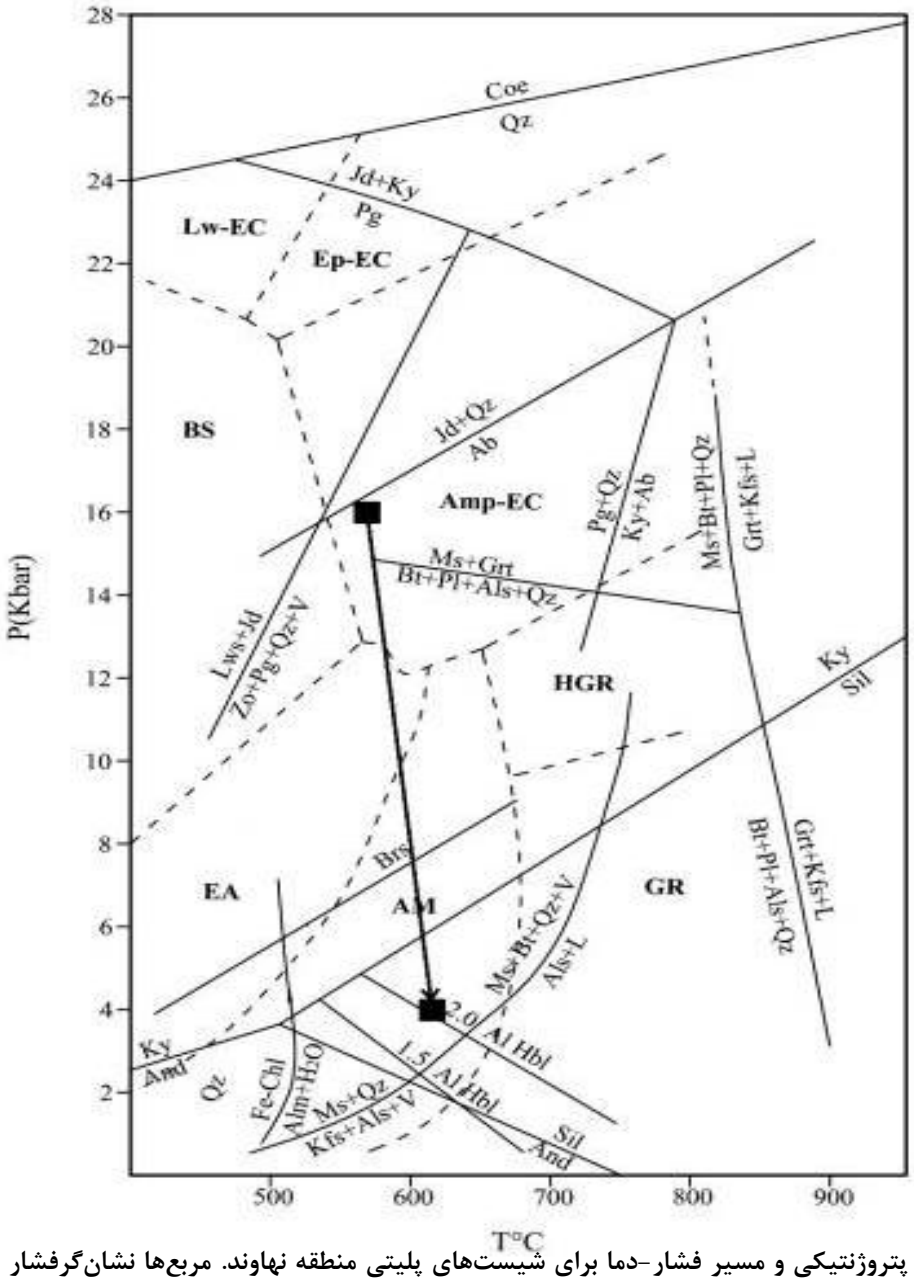
شماره نقطه	۱	۲	۳	۴
SiO_2	۲۹/۰۱	۲۸/۸۶	۲۸/۵۳	۲۹/۱۲
TiO_2	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۱۰
Al_2O_3	۲۳/۱۲	۲۲/۸۶	۲۱/۹۸	۲۰/۸۳
FeO	۲۵/۰۲	۲۵/۶۳	۲۵/۵۵	۲۵/۱۲
MnO	۰/۴۱	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۱۰
MgO	۷/۱۲	۶/۸۳	۸/۰۱	۷/۸۶
CaO	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰
Na_2O	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۸
K_2O	۰/۶۱	۰/۵۶	۱/۱۲	۱/۰۱
مجموع	۸۵/۶۰	۸۵/۳۷	۸۵/۸۲	۸۴/۳۲
$No.O_X$	O = ۱۴			
Si	۳/۰۸۷	۳/۰۹۰	۳/۰۵۷	۳/۱۶۴
Ti	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰۸
Al	۲/۹۰۱	۲/۸۸۵	۲/۷۷۶	۲/۶۶۸
Fe^{2+}	۲/۲۲۷	۲/۲۹۵	۲/۲۹۰	۲/۲۸۲
Mn	۰/۰۳۷	۰/۰۲۸	۰/۰۱۹	۰/۰۰۹
Mg	۱/۱۲۹	۱/۰۹۰	۱/۲۷۹	۱/۲۷۳
Ca	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲
Na	۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷
K	۰/۰۸۳	۰/۰۷۶	۰/۱۵۳	۰/۱۴۰
مجموع	۹/۵۰۴	۹/۵۰۵	۹/۶۲۴	۹/۵۷۳
Clc	-	-	۰/۰۰۳۳۳	۰/۰۰۳۳۰
Dph	-	-	۰/۰۵۹۸	۰/۰۵۹۷
Ame	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۵

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

بحث و نتیجه‌گیری

مشاهدات پتروفابریکی و نتایج تجزیهٔ شیمیایی کانی‌ها نشان داد که: الف) شیستوزیته اصلی و هم‌چنین حاشیهٔ فشارشی پلاژیو کلازها از آمفیبول‌های ترمولیتی، کلریت‌های کلینوکلری و میکای سفید موسکوویتی به‌همراه کوارتز تشکیل شده است، ب) آمفیبول‌ها و میکاهای سفید موجود در شیستوزیته اصلی گاهی دارای منطقه‌بندی شیمیایی هستند که در آن آمفیبول‌ها با مرکز وینچیتی و میکای سفید با مرکز فنژیتی مشخص می‌شود. در حالی‌که حاشیهٔ آنها به‌ترتیب دارای ترکیب ترمولیتی و موسکویتی است، پ) پلاژیوکلازها دارای منطقه‌بندی ساختاری و شیمیایی هستند. مرکز پلاژیوکلازها دارای ادخال‌های فراوان از آمفیبول‌های وینچیتی و میکای سفید فنژیتی در جهت خلاف شیسوزیته اصلی بوده است و هم‌چنین دارای ترکیب آلبیتی هستند در حالی‌که حاشیهٔ آنها بدون ادخال است و ترکیب آندزین دارد، ت) پیروکسن‌ها دارای ترکیب امفاسیتی است که از حاشیه دارای تبدیل‌شدگی به کلریت‌های کلینوکلری است. از این‌رو، شیست‌های پلیتی منطقه نهاوند دو مرحله دگرگونی به‌ترتیب زمانی M1 و M2 را ثبت کرده‌اند. مرحلهٔ قدیمی‌تر (M1) با بقایای پیروکسن امفاسیتی، ادخال‌های آمفیبول‌های وینچیتی و میکای سفید فنژیتی در مرکز پلاژیوکلازهای آلبیتی در جهت مخالف شیستوزیته اصلی، ساختار منطقه‌بندی شیمیایی در آمفیبول‌ها با مرکز وینچیتی و در میکای سفید با مرکز فنژیتی و حاشیهٔ فشارشی اطراف پلاژیوکلازها مشخص می‌شود. این درحالی است که مرحلهٔ دوم دگرگونی(M2) با آمفیبول‌های ترمولیتی، کلریت‌های کلینوکلری، میکای سفید موسکویتی تشکیل‌دهندهٔ شیستوزیته اصلی و در حاشیهٔ فشارشی پلاژیوکلازها، حاشیهٔ ترمولیتی و موسکوویتی در آمفیبول‌ها و میکاهای سفید دارای منطقه‌بندی شیمیایی و حاشیهٔ بدون ادخال پورفیروبلاست‌های پلاژیوکلاز که ترکیب آلبیتی نیز دارند، مشخص می‌شود. به‌منظور تعیین شرایط فشار- دمای که به‌وسیلهٔ شیست‌های پلیتی در مراحل دگرگونی M1 و M2 ثبت شده است، از دما فشارسنج‌های استاندارد و نرم‌افزار ترموکالک۳/۲۶ [۱۴] استفاده شد. برای محاسبهٔ فشار- دما با استفاده از نرم‌افزار ترموکالک، فعالیت اعضاء نهایی با استفاده از نرم‌افزار AX [۱۴] برای کانی‌های مشاهده شده در هریک از مراحل M1 وM2 محاسبه شد. براین اساس پیروکسن با میانگین فعالیت اعضاء نهایی(Di=0.7, Hd=0.06, Ts=0.176, Jd=0.014, Acm=0.01)، آمفیبول با میانگین فعالیت اعضاء نهایی (Gln=0.16, Fgln=0.03, Rbk=0.0004)، میکای سفید با میانگین فعالیت اعضاء نهایی (Ms=0.36, Cel=0.08, Fcel=0.019, Pg=0.275) و پلاژیوکلاز با میانگین فعالیت اعضاء نهایی (Ab=6.0,An=0.62) به‌همراه کوارتز و آب به‌عنوان فازهای اضافی برای محاسبه فشار دمای مرحلهٔ M1 استفاده شدند. نتایج محاسبه نشان داد که مرحلهٔ M1 در شرایط P=۱۵/۶ $\pm$ ۱ kbar و T=۵۷۰ $\pm$ ۶۱ °C تشکیل شده است. واکنش Ab=Jd+Qz می‌تواند برای تعیین فشار تشکیل مرحلهٔ M1 استفاده شود به این دلیل که پیروکسن امفاسیتی، پلاژیوکلاز آلبیتی و کوارتز در این مرحله دگرگونی پایدار هستند. با استفاده از این واکنش که به‌وسیلهٔ هولند[۲۲] استاندارد شده است و فرض دمای میانگین ۵۷۰°C که از محاسبه با نرم‌افزار ترموکالک برای مرحلهٔ M1 حاصل شده، فشار معادل ۱۶/۵kbar برای مرحلهٔ M1 به‌دست می‌آید. برای همین مرحله با استفاده از فشارسنج فنژیت [۲۳] با فرض مقدارSi=3.5 در واحد فرمولی میکای سفید فنژیتی و میانگین دمای ۵۷۰°C حاصل از نرم‌افزار ترموکالک،فشاری معادل ۱۵kbar برای مرحلهٔ M1 به‌دست می‌آید. دمای مرحلهٔ M1 با استفاده از دماسنج آمفیبول-پلاژیوکلاز [۲۴] با فرض فشار ۱۵/۶kbar حاصل‌شده از نرم‌افزار ترموکالک برای مرحلهٔ M1 معادل ۵۸۰ $\pm$ °C حاصل می‌شود. برای محاسبه فشار- دمای مرحلهٔ دوم دگرگونی با استفاده از نرم‌افزار ترموکالک، آمفیبول با میانگین فعالیت اعضاء نهایی (Tr=0.138, Fact=0.0006, Ts=0.0005, Prg=0.137)؛ میکای‌سفید با میانگین فعالیت اعضاء نهایی (Ms=0.73, Cel=0.016, Fcel=0.005, Pg=0.335)؛ پلاژیوکلاز با میانگین فعالیت اعضاء نهایی (Ab=0.53, An=0.7) و کلریت با ترکیب میانگین فعالیت اعضاء نهایی (Clic=0.00295, Dph=0.0598, Ame=0.0012) به‌همراه فازهای اضافی

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]
[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]



شکل ۹. شبکه پتروژنتیکی و مسیر فشار-دما برای شیست‌های پلیتی منطقه نهاوند. مربع‌ها نشان‌گرفشار و دمای محاسبه شده برای مراحل دگرگونی M1 و M2 هستند. بردار سیاه نمایان‌گر مسیر P-T برای شیست‌های پلیتی منطقهٔ نهاوند است . Ab=Jd+Qtz از[۲۲] اقتباس شده است. نقطه سه گانه آلومینوسیلیکات‌ها از[۲۷] گرفته شده است. منحنی Coesite=quartz از [۲۸] و محدودهٔ پایداری بارورویست از [۲۹] برداشت شده است. واکنش‌های Ms+Qtz=KFs+AlS+V و Ms+Bt+Qtz+V=AlS+L از [۳۰] گرفته شده‌اند. واکنش‌های Ms+Grt=Bt+Pl+AlS+Qtz و Ms+Bt+Pl+Qtz=Grt+KFs+L و Bt+Pl+AlS+Qtz=Grt+KFs+L اقتباس شده از [۳۱] هستند. واکنش‌های Jd+Ky=Py و Pg+Qtz=Ky+Ab از [۳۲] گرفته شده‌اند. واکنش FeChl+Qtz=Al+H_2 O از [۳۳] و واکنش Lws+Jd=Eo+Pg+Qtz+V از [۳۴] برداشت شده‌اند. محدودهٔ رخساره‌های دگرگونی از [۳۵] اقتباس شده است. نام‌های اختصاری رخساره‌های دگرگونی عبارتند از:

Am p-Ec=Amphibolite-Eclogite; Am=Amphibolite; Bs=BlueSchist; EA=Epidote Amphibolite; Ep-Ec=Epidote-Eclogite; Gr=Sillimanite Granulite; HGR=Kyanite-Granulite; Lw-Ec=Lawsonite-Eclogite.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

کوارتز و آب استفاده شد. نتایج محاسبه نشان داد که مرحلهٔ M2 در شرایط P= ۴ ± ۰/۵ kbar و T=۶۱۰ ± ۵۰ °C تشکیل شده است. دمای مرحلهٔ M2 با استفاده از دماسنج آمفیبول-پلاژیوکلاز [۲۴] با فرض فشار ۶kbar به‌دست آمده از نرم‌افزار ترموکالک برای مرحلهٔ دگرگونی M2، معادل ۵۹۵ ± ۴۰ °C به‌دست می‌آید. با استفاده از فشارسنج توزیع Al –Si میان آمفیبول و پلاژیوکلاز [۲۵] با فرض دمای ۶۱۰°C حاصل از نرم‌افزار ترموکالک، فشاری معادل ۵kbar برای مرحلهٔ دگرگونی M2 حاصل می‌شود. اگر چنان‌چه حداکثر فشار ثبت شده برای مرحلهٔ دگرگونی M1 (۱۶kbar) فقط مربوط به فشارلیتواستاتیک باشد، بنابراین می‌توان تخمین زد که شیست‌های پلیتی منطقه نهاوند به عمقی حداقل ۶۴km رسیده‌اند. از طرف دیگر محاسبات فشار- دماسنجی نشان می‌دهدکه شیست‌های پلیتی منطقه نهاوند بعد از رسیدن به شرایط حداکثر فشاری در حد فاسیس آمفیبولیت-اکلوژیت (مرحلهٔ دگرگونی M1) در شرایط تقریباً ایزوباریک به سطح رسیده و تحت تأثیر دگرگونی بازگشتی در حد فاسیس آمفیبولیت (مرحلهٔ دگرگونی M2) قرار گرفته‌اند (شکل۹).

بسیاری از الگوهای P-T نواحی فرورانش یک مسیرساعت‌گرد را نشان می‌دهند، که در آن دگرگونی فشار زیاد و دما کم در حد رخساره اکلوژیت و شیست آبی در حداکثر شرایط فشاری دگرگونی در زون فرورانش با یک دگرگونی بازگشتی فشار کم (درحد رخساره شیست سبز و آمفیبولیت) دنبال می‌شود[۲۶]. چنان‌که نشان داده شد، این الگوی فشار-دما درشیست‌های پلیتی منطقهٔ نهاوند جنوبی ثبت شده است. بنابراین مجموعه کانیایی فشار زیاد مشاهده شده در شیست‌های پلیتی منطقه می‌تواند بر اثر فرورانش صفحه اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحهٔ ایران ایجاد شده باشد. این تفسیر از تحولات دگرگونی شیست‌های پلیتی منطقه نهاوند با نتایج ارائه شده به‌وسیلهٔ[۲]-[۹] انطباق دارد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه زنجان که حمایت مالی از انجام این پژوهش را برعهده داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌کنم.

منابع

1. Stöcklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review", American Association of Petroleum Geology Bulletin 52 (1968) 1229-1258.
2. Berberian M., King G. C., "Towards a Paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal of Earth Sciences (1981) 210-265.
3. Alavi M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations", Tectonophysics 229 (1994) 211-238.
4. Berberian M., "Blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics", Tectonophysics 241 (1995) 193-224.
5. Ghasemi A., Talbot C. J., "A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran)", Journal of Asian Earth Sciences 26 (2006) 683-693.
6. Berberian M., "Maximum intensity, isoseismal and intensity zone maps of Iran", Geological Survey of Iran 40 (1977) 101-119.
7. Mohajjel M, Fergusson C. L, Sahandi M. R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran", Journal of Asian Earth Sciences 21 (2003) 397-412.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

8. Şengör A. M. C., Natal'in B. A., "Paleotectonics of Asia: fragments of a synthesis. In: The tectonics evolution of Asia, Yin, A., Harrison, T.M. (eds)", Cambridge University Press (1996) 486-640.
9. Davoudian A. R., Genser J., Dachs E., Shabanian N., "Petrology of eclogites from north of Shahrekord, Sanandaj-Sirjan Zone, Iran", Mineralogy and Petrology 92 (2008) 393-413.
10. Agard P., Monié P., Gerber W., Omrani J., Molinaro M., Meyer B., Yamato P., "Transient, synobduction exhumation of Zagros blueschists inferred from P-T, deformation, time, and kinematic constraints: Implications for Neotethyan wedge dynamics", Journal of Geophysical Research Solid Earth 111 (2006) 1-28.
11. Izadyar J., Mousavizadeh M., Eram M., "Metamorphic evolution of high-pressure Quartz Schists in the Chadegan metamorphic complex, Sanandaj-Sirjan zone, Iran", Geopersia 3 (2013) 1-20.
12. Izadyar J., Skandari N., "High-Pressure Marbles from the Nahavand Area in the Sanandaj-Sirjan Metamorphic Belt, Iran", Journal of Sciences 26 (2015) 139-151.
13. Armstrong J. T., "Quantitative analysis of silicate and oxide materials: comparison of Monte Carlo, ZAF, and ψ (ρz) procedures", Microbeam Analysis (1988) 239-246.
14. Powell R, Holland T. J. B, Worley B., "Calculating phase diagrams with THERMOCALC: methods and examples", Journal of Metamorphic Geology 6 (1998) 173-204.
15. Holland T. J. B., Powell R., "An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest", Journal of Metamorphic Geology 16 (1998) 309-343.
16. Whitney D. L., Evans B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.
17. Alavi M., Mahdavi M. A., "Stratigraphy and structures of the Nahavand region in western Iran, and their implications for the Zagros tectonics", Geological Magazine 131 (1994) 43-47.
18. Morimoto N, Fabries J, Ferguson A. K, Ginzburg I. V, Ross M, Seifert F. A, Zussman J, Aoki K., Gottardi G., "Nomenclature of pyroxenes", American Mineralogist 73 (1988) 1123-1133.
19. Holland T. J. B., Powell R., "An internally-consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: the system Na_2O-K_2O-CaO-MgO-MnO-FeO-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-TiO_2-CH_2-O_2", Journal of Metamorphic Geology 8 (1990) 89-124.
20. Hawthorne F. C., Oberti R., Harlow G. E., Maresch W. V., Martine R. F., Schumacher J. C., Welch M. D., "Nomenclature of amphibole supergroup". American Mineralogist 97 (2012) 2031 -2048.
21. Vidal O., Parra T., "Exhumation paths of high-pressure metapelites obtained from local equilibria for chlorite-phengite assemblage", Geological Journal 35 (2000) 139-161.
22. Holland T. J. B., "The reaction albite= jadeite+quartz determined experimentally in the range 600–1200 C", American Mineralogist 65 (1980) 129-134.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]

23. Massonne H. J., Schreyer W., "Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite, and quartz", Contributions to Mineralogy and Petrology 96 (1987) 212-224.
24. Holland T. J. B., Blundy J. D., "Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry" Mineralogy and Petrology 76 (1994) 127-147.
25. Molina J. F., Moreno J. A., Castro A., Rodríguez C., Fershtater G. B., "Calcic amphibole thermobarometry in metamorphic and igneous rocks: New calibrations based on plagioclase/amphibole Al-Si partitioning and amphibole/liquid Mg partitioning", Lithos 232 (2015) 286-305.
26. Ernst W. G., "Tectonic history of subduction zones inferred from retrograde blueschist PT paths", Geology 16 (1988) 1081-1084.
27. Holdaway M. J., "Stability of andalusite and the aluminum silicate phase diagram", American Journal Science 271 (1971) 97-131.
28. Bohlen S. R., Boettcher A. L., "The quartz⇆ coesite transformation: a precise determination and the effects of other components", Journal of Geophysical Research Solid Earth 87 (1982) 7073-7078.
29. Ernst W. G., "Coexisting sodic and calcic amphiboles from high-pressure metamorphic belts and the stability of barroisitic amphibole", Mineralogical Magazine 43 (1979) 269-278.
30. Vielzeuf D., Holloway J. R., "Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the pelitic system", Contribution to Mineralogy and Petrology 98 (1988) 257-276.
31. Vielzeuf D., Schmidt M., "Melting relations in hydrous system revisited: application to metapelites, metagreywackes and metabasalts", Contribution to Mineralogy and Petrology 141 (2001) 251-267.
32. Holland T. J. B., "Experimental determination of the reaction paragonite= jadeite+ kyanite+ H_2O, and internally consistent thermodynamic data for part of the system Na_2O− Al_2O_3− SiO_2-H_2O, with applications to eclogites and blueschists", Contributions to Mineralogy and Petrology 68 (1979) 293-301.
33. Hsu L. C., "Selected phase relationships in the system Al-Mn-Fe-Si-OH: A model for garnet equilibria", Journal of Petrology 9 (1968) 40-83.
34. Heinrich W., Althaus E., "Experimental determination of the reactions 4 lawsonite + albite = paragonite + 2zoisite + 2quartz +6H_2O", Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte 11 (1988) 516-528.
35. Ernst W. G., "Preservation/exhumation of ultrahigh-pressure subduction complex", Lithos 92 (2006) 321-325.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-11-27]

[DOI: 10.52547/gnf.6.1.183]