

سنگنگاری، شیمی کانی و دما- فشارسنجدی آمفیبولیت‌های مجموعه‌ی ال‌لهمارلو، استان اردبیل- شمال‌غرب ایران

زهره سلیمی*، محسن موذن، رباب حاجی علی اوغلی

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(دريافت مقاله: ۹۸/۱/۲۸، نسخه نهایی: ۹۸/۵/۱)

چکیده: مجموعه افیولیتی- دگرگونی ال‌لهمارلو منسوب به پیش از کرتاسه در مرکز تاقدیس ال‌لهمارلو در شمال غرب ایران و شمال شرق مشگین شهر رخنمون دارد. این مجموعه شامل انواع سنگ‌های دگرگونی چون شیست، گنیس، آمفیبولیت و متادیاباز به همراه قطعه‌هایی از سرپانتینیت و برش‌های زمین‌ساختی گابرو، دونیت، مرمر و دیاباز است. آمفیبولیت‌های این مجموعه شامل آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت هستند. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده‌ی آمفیبولیت‌ها شامل هورنبلند و پلاژیوکلاز هستند و تیتانیت، زیرکن، کلسیت، اپیدوت و اکسیدهای آهن به عنوان کانی‌های فرعی حضور دارند. در گارنت آمفیبولیت‌ها، افزون بر این کانی‌ها، گارنت نیز حضور دارد. بافت‌های شکفتی بلوری و نخ شکفتی از بافت‌های معمول در این سنگ‌هاست. بر اساس نتایج تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی در آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبول‌ها دارای گستره ترکیبی منزیو هورنبلند و چرم‌کیت، ترکیب پلاژیوکلاز دارای گستره آندزین و آلبیت است و در گارنت آمفیبولیت‌ها، گارنت ترکیب غنی از آلماندین دارد. بر اساس تغییرات مقدار عنصر Ti به Al، آمفیبول‌های مورد بررسی در آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی ال‌لهمارلو، از آمفیبول‌های فشار متوسط هستند. نتایج دما- فشارسنجدی این سنگ‌ها بر اساس شیمی آمفیبول، گارنت و پلاژیوکلاز بیانگر فشار (p) حدود ۸ کیلوبار و دما (T) حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد است. بنابراین با روند دگرگونی بارووین P/T متوسط که نشانگر مناطق ضخیم شدگی پوسته‌ای (جزایر قوسی و یا قوس آتشفسانی) و یا مناطق برخوردي است همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: شیمی کانی؛ دما- فشارسنجدی؛ آمفیبولیت؛ ال‌لهمارلو؛ شمال‌غرب ایران.

ترکیه قرار دارد. برخی پژوهشگران مجموعه ال‌لهمارلو را بعنوان آمیزه افیولیتی در نظر می‌گیرند. آنها عمدهاً این سنگ‌ها را بیشتر بعنوان ادامه جنوبی کمربند افیولیتی سوان آکرا از قفقاز کوچک در نظر می‌گیرند [۷-۲]. در حالی که برخی [۸] مجموعه ال‌لهمارلو را بعنوان ادامه افیولیت مشهد [۹] و شاندرمن و مجموعه ماسوله [۱۰، ۱۱] در راستای زمین درز پالئوتیس در شمال ایران در نظر می‌گیرند. برخی اجزای افیولیتی (چون بازلت‌های بالشتی و دایک‌های صفحه‌ای) در این مجموعه دیده نمی‌شوند و پریدوتیت‌های سرپانتینیتی شده رخنمون محدودی دارند. سنگ‌های دگرگونی روی آمیزه افیولیتی رانده شده‌اند.

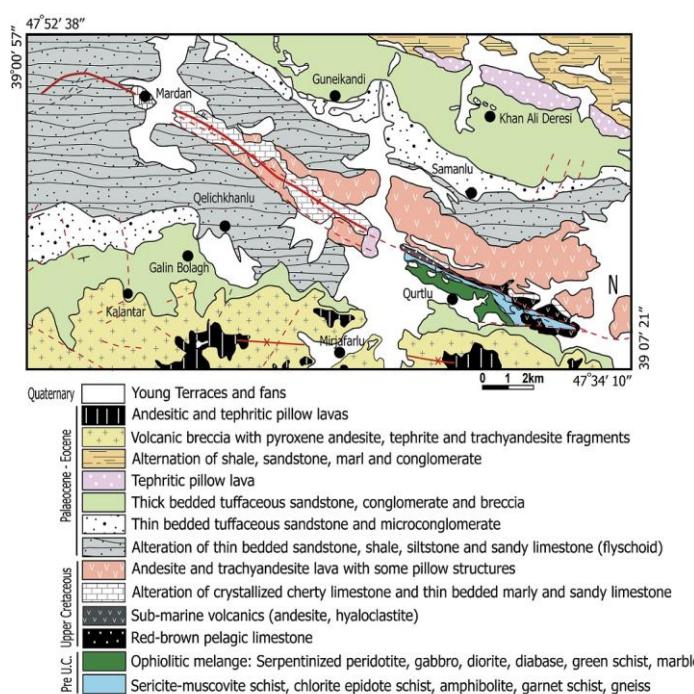
مقدمه

رخنمون به نسبت کوچکی از سنگ‌های دگرگونی با ترکیب سنگ مادر اولیه رسی، نیمه رسی و مافیک همراه با هارزبورزیت سرپانتینی شده، گابرو و دیاباز بر سطح فرسایش یافته در محور تاقدیسی با روند NW-SE در منطقه ال‌لهمارلو در شمال غرب ایران بروزد دارد که به عنوان مجموعه ال‌لهمارلو شناخته شده است [۱]. این سنگ‌های پیش از کرتاسه بوسیله واحدهای آهکی و آتشفسانی کرتاسه پوشیده شده‌اند. این مجموعه در مکانی مهم از نظر با جایگاه زمین درزهای پالئوتیس و نشووتیس در شمال غربی ایران، قفقاز و شرق

بازخوانی دگرگونی و تکامل پوسته کمک می‌کنند [۱۶، ۱۷]. در این پژوهش، سنگنگاری، شیمی کانی‌ها و دما فشارسنگی سنگ‌های آمفیبولیتی این مجموعه بررسی شده است. هدف از این پژوهش تعیین دما و فشار دگرگونی و در نتیجه مشخص کردن شیب دگرگونی و محیط زمین‌ساختی تشکیل آمفیبولیت‌ها با استفاده از شیمی کانی‌هاست.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی به دلیل قرارگیری در محل ظاهری تلاقي زمین درز پالوتیس و نتوتیس، دارای پیچیدگی بسیار نسبت به سایر مناطق زمین‌ساختی ایران است. منطقه اللهیارلو در شمال غرب ایران بین کمریند کوه‌زایی قفقاز به طرف شمال و کمریند کوه‌زایی زاگرس به سمت جنوب قرار دارد. افیولیت‌های کمریند کوه‌زایی با روئین از کوه‌زایی زاگرس به سمت جنوب قرار دارد. افیولیت رو به شمال صفحه عربی، در حال فشردگی است [۱۸]. کهن‌ترین سنگ‌های منطقه مورد بررسی مجموعه افیولیتی اللهیارلو با سن پیش از کرتاسه است که بروند آن در مرکز تاقدیس اللهیارلو با روند شمال غرب-جنوب شرق رخنمون یافته است (شکل ۱). مجموعه افیولیتی (سرپانتینیت، گابرو، متاگابرو و دیاباز) و دگرگونی (شیست‌ها، گنیس‌ها، آمفیبولیت و کوارتزیت) منسوب به پیش از کرتاسه در راستای گسل‌های بزرگی در مرکز تاقدیس اللهیارلو رخنمون یافته‌اند (شکل ۱).



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه اللهیارلو برگرفته از نقشه لاهرود [۱].

هیچ گزارشی در مورد سنگ‌شناسی زمین گاه‌شناسی سنگ‌های افیولیتی و سنگ‌های دگرگونی این منطقه موجود نیست. با باخانی و ناظر [۱] فاز کوه‌زایی سیمیرین پیشین را برای دگرگونی در منطقه در نظر می‌گیرند. استمپلی و همکارش [۱۲] یک نوار شامل سنگ‌های پوسته قاره‌ای با سن سیمیرین از گندونا طی پرمین پسین در نظر گرفتند که طی تریاس پسین با اوراسیا برخورد کرده و افیولیت‌های نئوتیس در شمال ایران را تشکیل داده است. در حالی که یافته‌های دیگر نشان می‌دهد که قطعات قاره‌ای سیمیرین در راستای زمین درز ازمیر-آنکارا-ارزنجان در منطقه رفاهیه در شرق ترکیه وجود ندارد [۱۳]، که به احتمال زیاد ادامه زمین درز در شمال غرب ایران است [۱۴] که توسط افیولیت‌های نئوتیس مشخص شده است. با باخانی و ناظر [۱] چین خوردگی رسوب‌های کرتاسه و به دنبال آن فعالیت ماقمایی منطقه را به کوه‌زایی لaramid نسبت دادند و بزرگ و پورکرمانی [۱۵] چین خوردگی پالئوسن به اؤسن ماسه سنگ و کنگلومرا در منطقه را به عنوان نتیجه کوه‌زایی آپین پسین در نظر می‌گیرند. سنگ‌های دگرگونی قدیمی‌ترین واحدهای منطقه اللهیارلو هستند. که تا رخساره آمفیبولیت دگرگون شده‌اند. با بررسی شرایط دگرگونی آمفیبولیت‌ها می‌توان رخدادهای زمین دینامیکی پیش آمده برای قسمتی از پوسته زمین را مشخص کرد. آمفیبولیت‌ها به

هستند.

روش پژوهش

پس از بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های سنگنگاری، تجزیه‌های شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده آمفیبولیت‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی JEOL JXA-8530F با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ KV، جریان پرتو ۱۵nA و زمان شمارش ۱۰ ثانیه برای اوج و ۵ ثانیه برای پس زمینه، به جز Na و K با زمان ۵ ثانیه برای اوج و ۲/۵ ثانیه برای پس زمینه، در موسسه پژوهشی زمین‌شناسی مانستر کشور آلمان انجام شد. داده‌های معرف تجزیه ریزپردازش کانی‌ها در جدول‌های ۱ تا ۳ آمده است. قطر پرتو برای کانی‌های پلازیوکلاز و آمفیبول ۵ میکرون بود. استانداردهای طبیعی و مصنوعی برای واسنجی دستگاه بکار گرفته شدند. داده‌های خام با نرم افزار ZAF پردازش شدند. عالیم اختصاری به کار رفته برای اسامی کانی‌ها برگفته از مرجع [۱۹] است. نسبت یونی عناصر $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ در ساختار کانی‌ها، با استفاده از روش عنصرسننجی [۲۰] محاسبه شده است.

آمفیبولیت‌ها، سنگ‌های آتشفسانی و سنگ‌های رسوبی دیگر که در رخساره شیست سیز دگرگون شده‌اند احتمالاً در انتقال و فرارانش افیولیت تشکیل شده‌اند. سن فرارانش افیولیت در منطقه اللهیارلو بر اساس آهک‌های ریفی کنیاسین کرتاسه پسین فرض می‌شود [۱]. واحدهای دگرگونی منطقه شامل - مجموعه‌ای از سنگ‌های مسکویت شیست، کلریت- اپیدوت شیست، گنیس، آمفیبولیت، کوارتزیت و متادیاباز است. این سنگ‌ها به احتمال زیاد از قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه محسوب می‌شوند [۱]. این سنگ‌های پیش از کرتاسه بطور ناپیوسته بوسیله سنگ‌های آهکی و واحدهای آتشفسانی پوشیده شده‌اند. آمفیبولیت‌ها به صورت پراکنده در مجموعه دگرگونی رخمنون دارند. رخمنون آمفیبولیت‌ها به صورت عدسی شکل و نیز کشیده شده است. خطوارگی فراگیر توسط تنابوی از سطوح تیره غنی از آمفیبول و سطوح روشن غنی از پلازیوکلاز و کمتر کوارتز مشخص می‌شود. این سنگ‌ها از نظر داشتن مقادیر زیادی آمفیبول و پلازیوکلاز و مقادیر کم کوارتز و نداشتن کانی‌های رسوبی مانند کلسیت دارای خاستگاه آذرین

جدول ۱ داده‌های تجزیه ریزپردازشی و محاسبه‌ی فرمول ساختمانی آمفیبول‌ها بر اساس ۲۳ اکسیژن.

ZS-1-14	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۴۱,۵۴	۴۱,۹۸	۴۱,۱۹	۴۲,۲۹	۴۱,۵۷	۴۴,۲۵	۴۵,۱۸	۴۲,۳۴	۴۵,۷۴	۴۲,۱۸
TiO_2	۰,۵۳	۰,۶۱	۰,۴۸	۰,۵۱	۰,۶۰	۰,۴۰	۰,۴۲	۰,۵۸	۰,۳۷	۰,۵۸
Al_2O_3	۱۶,۶۴	۱۶,۰۶	۱۶,۸۱	۱۵,۱۶	۱۶,۲۴	۱۲,۹۲	۱۰,۹۳	۱۵,۵۸	۱۰,۵۶	۱۶,۰۸
FeO	۱۶,۰۵	۱۶,۷۱	۱۶,۸۵	۱۶,۳۰	۱۶,۷۳	۱۶,۱۳	۱۵,۲۱	۱۶,۳۰	۱۴,۵۸	۱۵,۸۷
MnO	۰,۷۷	۰,۲۶	۰,۲۰	۰,۳۰	۰,۲۶	۰,۲۹	۰,۳۰	۰,۳۹	۰,۳۳	۰,۲۳
MgO	۷,۸۴	۸,۱۳	۷,۸۴	۸,۳۸	۷,۶۶	۹,۷۶	۱۰,۷۰	۸,۵۱	۱۰,۳۶	۸,۱۰
CaO	۱۰,۹۶	۱۱,۴۲	۱۱,۳۶	۱۱,۳۶	۱۱,۳۳	۱۱,۵۹	۱۱,۷۷	۱۱,۵۲	۱۱,۴۱	۱۱,۵۹
Na_2O	۱,۳۲	۱,۲۵	۱,۳۰	۱,۱۷	۱,۱۰	۱,۰۲	۰,۸۹	۱,۲۰	۰,۹۱	۱,۲۱
K_2O	۰,۶۳	۰,۵۵	۰,۶۹	۰,۶۶	۰,۶۷	۰,۴۳	۰,۳۲	۰,۶۸	۰,۲۸	۰,۶۶
Cr_2O_3	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۱	۰,۰۰
NiO	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۰
مجموع	۹۸,۲۸	۹۹,۴۷	۹۹,۲۲	۹۸,۶۲	۹۸,۵۹	۹۹,۳۸	۹۸,۰۱	۹۹,۷۱	۹۷,۴۷	۹۸,۸۱
Si	۶,۲۱	۶,۲۲	۶,۱۳	۶,۳۲	۶,۲۳	۶,۵۳	۶,۷۲	۶,۲۶	۶,۸۳	۶,۲۹
Al iv	۱,۷۹	۱,۷۸	۱,۸۷	۱,۶۸	۱,۷۷	۱,۴۷	۱,۲۸	۱,۷۴	۱,۱۷	۱,۷۱
Al	۲,۹۳	۲,۸۱	۲,۹۵	۲,۶۷	۲,۸۷	۲,۲۵	۱,۹۲	۲,۷۲	۱,۸۶	۲,۸۳
Al vi	۱,۱۵	۱,۰۳	۱,۰۸	۰,۹۹	۱,۰۹	۰,۷۸	۰,۶۴	۰,۹۸	۰,۶۹	۱,۱۲
Ti	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۷
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱
Fe^{3+}	۰,۵۱	۰,۵۲	۰,۵۴	۰,۴۶	۰,۴۶	۰,۵۶	۰,۶۰	۰,۵۰	۰,۴۲	۰,۴۷
Fe^{2+}	۱,۵۰	۱,۵۵	۱,۵۵	۱,۵۸	۱,۶۳	۱,۴۳	۱,۲۹	۱,۵۲	۱,۴۴	۱,۷۱
Mn	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۳
Mg	۱,۷۵	۱,۸۰	۱,۷۴	۱,۸۷	۱,۷۱	۲,۱۵	۲,۳۷	۱,۸۸	۲,۳۷	۱,۸۰
Ni	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰
Ca	۱,۷۶	۱,۸۱	۱,۸۱	۱,۸۲	۱,۸۲	۱,۸۲	۱,۸۱	۱,۸۳	۱,۸۳	۱,۸۵
Na	۰,۳۸	۰,۳۶	۰,۳۸	۰,۳۴	۰,۳۲	۰,۲۹	۰,۲۶	۰,۳۴	۰,۲۶	۰,۳۵
K	۰,۱۲	۰,۱۰	۰,۱۳	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۱۳	۰,۰۵	۰,۱۳

ادامه جدول ۱

ZS-3B	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO ₂	۴۳.۹۶	۳۹.۸۳	۴۲.۳۳	۴۳.۷۱	۴۲.۶۴	۴۳.۶۰	۴۱.۳۴	۴۳.۰۵	۳۸.۶۶	۴۰.۹۶
TiO ₂	۰.۲۶	۰.۵۷	۰.۴۲	۰.۲۶	۰.۴۹	۰.۳۱	۰.۴۷	۰.۳۸	۰.۶۰	۰.۶۴
Al ₂ O ₃	۱۰.۲۷	۱۳.۵۷	۱۱.۶۱	۱۱.۰۱	۱۲.۱۱	۱۰.۹۹	۱۴.۰۹	۱۲.۱۸	۱۴.۴۳	۱۳.۹۷
FeO	۱۸.۳۹	۲۰.۵۹	۱۹.۲۵	۱۹.۷۲	۱۹.۱۷	۱۹.۵۳	۲۰.۶۰	۱۹.۲۸	۲۳.۴۱	۱۹.۹۹
MnO	۰.۳۱	۰.۲۹	۰.۳۱	۰.۳۸	۰.۲۹	۰.۲۲	۰.۳۵	۰.۳۵	۰.۲۳	۰.۳۰
MgO	۹.۶۴	۷.۳۹	۸.۵۷	۸.۳۶	۸.۲۶	۸.۰۵	۷.۲۰	۸.۱۹	۵.۲۷	۷.۰۰
CaO	۱۱.۳۸	۱۰.۹۳	۱۰.۳۴	۱۱.۰۶	۱۱.۱۱	۱۰.۹۹	۱۱.۰۴	۱۱.۳۹	۱۱.۰۴	۱۱.۰۰
Na ₂ O	۲.۷۵	۲.۱۵	۲.۷۵	۲.۸۲	۲.۹۰	۲.۹۲	۲.۱۹	۲.۷۷	۳.۵۵	۳.۲۵
K ₂ O	۰.۱۸	۰.۳۴	۰.۲۶	۰.۲۵	۰.۱۷	۰.۴۴	۰.۲۳	۰.۲۵	۰.۳۸	۰.۲۸
Cr ₂ O _۳	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱
NiO	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۸	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۰۰	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۰۲
مجموع	۹۹.۴۵	۹۹.۱۴	۹۹.۵۰	۱۰۰.۰۱	۹۹.۴۳	۹۹.۹۱	۱۰۰.۰۳	۱۰۰.۱۲	۹۹.۸۹	۹۹.۶۲
Si	۶.۶۲	۶.۱۱	۶.۵۱	۶.۵۹	۶.۴۵	۶.۵۸	۶.۲۱	۶.۴۸	۶.۰۰	۶.۲۴
Al(iv)	۱.۳۸	۱.۸۹	۱.۴۹	۱.۴۱	۱.۰۵	۱.۴۲	۱.۷۹	۱.۵۲	۲.۰۰	۱.۷۶
Al	۱.۸۲	۲.۴۵	۲.۰۷	۱.۹۶	۲.۱۶	۱.۹۶	۲.۴۹	۲.۱۶	۲.۶۴	۲.۵۱
Al vi	۰.۴۵	۰.۵۶	۰.۵۷	۰.۵۴	۰.۶۱	۰.۵۴	۰.۷۰	۰.۶۴	۰.۶۴	۰.۷۵
Ti	۰.۰۳	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۰۷
Cr	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Fe ^{۳+}	۰.۱۶	۰.۶۰	۰.۶۴	۰.۱۸	۰.۱۳	۰.۲۲	۰.۱۶	۰.۲۷	۰.۴۱	۰.۲۶
Fe ^{۲+}	۱.۹۶	۲.۰۵	۱.۷۷	۲.۱۳	۲.۰۹	۲.۱۵	۲.۱۳	۲.۱۶	۲.۶۳	۲.۲۹
Mn	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۴
Mg	۲.۱۷	۱.۶۹	۱.۹۲	۱.۸۸	۱.۸۶	۱.۹۲	۱.۶۱	۱.۸۴	۱.۲۲	۱.۰۹
Ni	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰
Ca	۱.۸۴	۱.۸۰	۱.۶۶	۱.۷۹	۱.۸۰	۱.۷۸	۱.۷۸	۱.۸۴	۱.۸۴	۱.۸۰
Na	۰.۸۰	۰.۹۴	۰.۸۰	۰.۸۲	۰.۸۵	۰.۸۵	۰.۹۳	۰.۸۱	۱.۰۷	۰.۹۶
K	۰.۰۳	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۰۵

ادامه جدول ۱

Zs-X43	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO ₂	۴۵.۲۶	۴۵.۰۹	۴۵.۴۵	۴۵.۸۴	۴۵.۲۵	۴۷.۳۹	۴۷.۸۰	۴۴.۷۷	۴۵.۲۹	۴۷.۸۹
TiO ₂	۰.۴۸	۰.۵۹	۰.۳۵	۰.۴۳	۰.۶۱	۰.۳۱	۰.۲۸	۰.۶۶	۰.۴۵	۰.۳۵
Al ₂ O _۳	۱۲.۰۱	۱۲.۰۷	۱۱.۶۵	۱۱.۲۵	۱۱.۶۷	۹.۰۱	۹.۴۴	۱۲.۰۹	۱۲.۰۰	۹.۰۵
FeO	۱۶.۵۳	۱۶.۲۸	۱۶.۶۳	۱۶.۹۰	۱۶.۳۰	۱۵.۲۶	۱۵.۱۸	۱۶.۰۰	۱۶.۳۲	۱۴.۸۳
MnO	۰.۲۵	۰.۲۹	۰.۳۴	۰.۲۸	۰.۳۸	۰.۲۲	۰.۳۱	۰.۳۲	۱.۰۲	۰.۳۰
MgO	۹.۶۲	۹.۵۷	۱۰.۰۸	۱۰.۱۶	۹.۶۸	۱۰.۸۷	۱۱.۵۶	۹.۷۴	۹.۷۵	۱۱.۳۸
CaO	۱۱.۶۲	۱۱.۵۴	۱۱.۹۷	۱۱.۷۰	۱۱.۷۲	۱۲.۰۹	۱۲.۲۳	۱۱.۷۰	۱۱.۶۷	۱۲.۰۲
Na ₂ O	۱.۱۲	۱.۳۱	۱.۲۶	۰.۹۵	۱.۲۲	۰.۹۲	۰.۸۰	۱.۲۸	۱.۲۸	۰.۸۵
K ₂ O	۰.۵۷	۰.۷۳	۰.۶۴	۰.۴۱	۰.۶۴	۰.۲۷	۰.۴۳	۰.۷۲	۰.۵۹	۰.۳۸
Cr ₂ O _۳	۰.۰۳	۰.۱۵	۰.۱۲	۰.۱۸	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۸	۰.۰۳	۰.۰۵
NiO	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۵	۰.۰۰	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۶	۰.۰۰	۰.۱۰	۰.۰۰
مجموع	۹۹.۶۶	۱۰۰.۰۲	۱۰۱.۰۰	۱۰۰.۶۲	۹۹.۷۸	۹۹.۲۰	۱۰۰.۴۵	۱۰۰.۳۲	۹۹.۹۰	۹۹.۴۵
Si	۶.۶۷	۶.۶۶	۶.۶۶	۶.۷۰	۶.۶۹	۶.۹۹	۶.۹۵	۶.۶۰	۶.۶۸	۷.۰۳
Al iv	۱.۳۳	۱.۳۴	۱.۳۴	۱.۳۰	۱.۳۱	۱.۰۱	۱.۰۵	۱.۴۰	۱.۳۲	۰.۹۷
Al	۲.۱۰	۲.۱۰	۲.۰۱	۱.۹۴	۲.۰۳	۱.۶۵	۱.۶۲	۲.۱۰	۲.۰۹	۱.۵۷
Al vi	۰.۷۶	۰.۷۶	۰.۶۷	۰.۶۳	۰.۷۳	۰.۶۵	۰.۵۷	۰.۷۰	۰.۷۶	۰.۶۰
Ti	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۴
Cr	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱
Fe ^{۳+}	۰.۳۶	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۵۵	۰.۲۵	۰.۱۵	۰.۲۹	۰.۳۴	۰.۲۹	۰.۱۹
Fe ^{۲+}	۱.۸۷	۱.۷۶	۱.۷۰	۱.۵۱	۱.۷۷	۱.۷۴	۱.۵۶	۱.۶۹	۱.۷۳	۱.۶۳
Mn	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۴
Mg	۲.۱۱	۲.۱۱	۲.۲۰	۲.۲۱	۲.۱۳	۲.۳۹	۲.۵۱	۲.۱۴	۲.۱۴	۲.۴۹
Ni	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱
Ca	۱.۸۳	۱.۸۲	۱.۸۸	۱.۸۳	۱.۸۶	۱.۹۱	۰.۹۱	۱.۸۵	۱.۸۴	۱.۸۹
Na	۰.۳۲	۰.۳۷	۰.۳۶	۰.۲۷	۰.۳۵	۰.۲۸	۰.۲۳	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۲۴
K	۰.۱۱	۰.۱۴	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۱۳	۰.۱۱	۰.۰۷

جدول ۲ داده‌های معرف تجزیه ریزپردازش و محاسبه‌ی فرمول ساختمانی گارنت بر اساس ۱۲ اکسیژن.

Zs-1-14	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO₂	۳۷,۷۴	۳۷,۹۵	۳۷,۶۶	۳۷,۸۷	۳۷,۷۹	۳۷,۷۳	۳۷,۶۷	۳۷,۵۹	۳۷,۴۱	۳۷,۵۱
TiO₂	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۲۰	۰,۱۲	۰,۱۹	۰,۱۶	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۵	۰,۲۰
Al₂O₃	۲۱,۶۹	۲۱,۸۴	۲۱,۶۲	۲۱,۷۱	۲۱,۶۸	۲۱,۴۹	۲۱,۶۴	۲۱,۶۰	۲۱,۶۷	۲۱,۴۸
Cr₂O₃	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱
FeO	۲۷,۰۱	۲۷,۰۱	۲۶,۷۷	۲۷,۱۶	۲۷,۱۴	۲۶,۶۹	۲۷,۳۰	۲۷,۰۹	۲۷,۴۱	۲۶,۵۸
MnO	۲,۶۶	۱,۱۳	۱,۵۸	۱,۲۷	۱,۶۵	۲,۹۱	۱,۱۷	۱,۸۱	۱,۹۱	۱,۹۹
MgO	۲,۶۴	۳,۲۶	۳,۰۹	۳,۲۲	۲,۷۹	۲,۵۳	۳,۱۸	۲,۹۴	۲,۸۷	۲,۷۸
CaO	۸,۸۷	۹,۶۴	۹,۴۶	۹,۱۴	۹,۳۹	۸,۷۵	۹,۲۶	۸,۷۷	۸,۸۶	۹,۲۵
مجموع	۱۰۰,۷۶	۱۰۰,۹۳	۱۰۰,۴۰	۱۰۰,۴۹	۱۰۰,۶۳	۱۰۰,۲۷	۱۰۰,۳۵	۹۹,۹۱	۱۰۰,۲۸	۹۹,۸۰
Si	۲,۹۷	۲,۹۶	۲,۹۶	۲,۹۷	۲,۹۷	۲,۹۹	۲,۹۶	۲,۹۷	۲,۹۵	۲,۹۷
Ti	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
Al	۲,۰۱	۲,۰۱	۲,۰۰	۲,۰۱	۲,۰۱	۲,۰۰	۲,۰۱	۲,۰۱	۲,۰۲	۲,۰۱
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe³⁺	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۰۶	۰,۰۲
Fe²⁺	۱,۷۴	۱,۷۱	۱,۷۱	۱,۷۵	۱,۷۵	۱,۷۶	۱,۷۴	۱,۷۷	۱,۷۵	۱,۷۴
Mn	۰,۱۸	۰,۰۷	۰,۱۱	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۲۰	۰,۰۸	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۲
Mg	۰,۳۱	۰,۳۸	۰,۳۶	۰,۳۸	۰,۳۳	۰,۳۰	۰,۳۷	۰,۳۵	۰,۳۴	۰,۳۳
Ca	۰,۷۵	۰,۸۱	۰,۸۰	۰,۷۷	۰,۷۹	۰,۷۴	۰,۷۸	۰,۷۴	۰,۷۵	۰,۷۹
Alm	۵۸,۵۳	۵۷,۵۵	۵۷,۴۷	۵۸,۷۱	۵۸,۸۳	۵۸,۷۶	۵۸,۰۴	۵۹,۳۵	۵۸,۹۹	۵۸,۲۰
Sps	۵,۹۵	۲,۵۱	۳,۵۴	۲,۸۴	۳,۶۴	۶,۵۱	۲,۶۲	۴,۰۷	۴,۳۱	۴,۴۸
Prp	۱۰,۴۰	۱۲,۷۸	۱۲,۱۸	۱۲,۶۵	۱۰,۹۶	۹,۹۶	۱۲,۵۶	۱۱,۶۳	۱۱,۴۰	۱۱,۰۱
Grs	۲۴,۶۸	۲۶,۴۴	۲۶,۱۱	۲۵,۳۷	۲۶,۱۳	۲۴,۶۹	۲۵,۰۴	۲۴,۶۶	۲۴,۵۴	۲۵,۹۹
Adr	۰,۴۳	۰,۷۲	۰,۶۸	۰,۴۳	۰,۳۹	۰,۰۸	۰,۷۳	۰,۲۹	۰,۷۶	۰,۳۲

جدول ۳ داده‌های تجزیه ریزپردازشی و محاسبه‌ی فرمول ساختمانی پلازیوکلазها بر اساس ۱۲ اکسیژن.

Zs-1-14	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO₂	۵۹,۴۸	۵۸,۲۳	۵۹,۴۸	۶۰,۷۳	۵۹,۱۶	۵۸,۴۳	۵۹,۲۹	۵۸,۹۳	۵۸,۵۰	۵۷,۷۶
TiO₂	۰,۰۰	۰,۱۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Al₂O₃	۲۵,۱۶	۲۵,۸۱	۲۵,۳۸	۲۴,۳۹	۲۴,۵۸	۲۵,۰۳	۲۴,۹۴	۲۵,۲۴	۲۵,۲۱	۲۵,۵۸
Cr₂O₃	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۶
Fe₂O₃	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۶	۰,۱۶	۰,۱۴	۰,۱۵	۰,۰۹	۰,۰۲
FeO	۰,۰۰	۰,۰۸	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
MnO	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۶
MgO	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۶	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰
CaO	۶,۷۲	۷,۹۹	۷,۰۴	۶,۱۸	۷,۱۷	۷,۴۱	۶,۶۹	۷,۲۴	۷,۴۲	۷,۹۸
Na₂O	۷,۸۶	۷,۰۱	۷,۳۴	۸,۰۷	۷,۶۰	۷,۵۶	۷,۷۰	۷,۵۴	۷,۳۴	۷,۴۶
K₂O	۰,۱۲	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۹	۰,۱۳	۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۱۱	۰,۰۳	۰,۰۴
مجموع	۹۹,۴۱	۹۹,۳۶	۹۹,۳۰	۹۹,۶۱	۹۸,۷۲	۹۸,۹۶	۹۹,۲۱	۹۹,۲۶	۹۸,۶۳	۹۸,۹۶
Si	۲,۶۶	۲,۶۲	۲,۶۷	۲,۷۱	۲,۶۷	۲,۶۳	۲,۶۶	۲,۶۵	۲,۶۵	۲,۶۰
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Al	۱,۳۳	۱,۳۷	۱,۳۴	۱,۲۸	۱,۳۱	۱,۳۴	۱,۳۲	۱,۳۴	۱,۳۴	۱,۳۶
Fe₃₊	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۰۲۳	۰,۰۰۰۵۵	۰,۰۰۰۵۰	۰,۰۰۰۵۲	۰,۰۰۰۳۲	۰,۰۰۰۷
Fe₂₊	۰,۰۰	۰,۰۰۰۳۲	۰,۰۰	۰,۰۰۰۱۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Ca	۰,۳۲	۰,۳۹	۰,۳۴	۰,۳۰	۰,۳۵	۰,۳۶	۰,۳۴	۰,۳۵	۰,۳۶	۰,۳۸
Na	۰,۶۸	۰,۶۱	۰,۶۴	۰,۷۰	۰,۶۷	۰,۶۶	۰,۶۷	۰,۶۶	۰,۶۵	۰,۶۵
K	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰
An	۳۱,۸۷	۳۸,۵۳	۳۴,۵۴	۲۹,۵۹	۳۴,۰۱	۳۵,۰۵	۳۳,۲۸	۳۴,۴۵	۳۵,۶۵	۳۷,۰۷
Ab	۶۷,۴۵	۶۱,۱۷	۶۵,۱۶	۶۹,۹۲	۶۵,۲۴	۶۴,۷۰	۶۶,۳۴	۶۴,۹۳	۶۴,۱۷	۶۲,۷۲
Or	۰,۶۸	۰,۳۱	۰,۳۰	۰,۴۹	۰,۷۵	۰,۲۵	۰,۳۸	۰,۶۱	۰,۱۸	۰,۲۱

ادامه جدول ۳

Zs-3B	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO ₂	۶۵,۷۹	۶۹,۲۰	۶۸,۴۶	۶۵,۳۰	۶۹,۲۷	۶۹,۰۶	۶۶,۱۱	۶۷,۵۹	۶۶,۵۷	۶۵,۵۵
TiO ₂	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۴	۰,۱۰	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۷	۰,۱۷	۰,۰۵	۰,۰۰
Al ₂ O ₃	۲۱,۲۳	۱۸,۹۹	۱۹,۶۷	۲۱,۰۷	۱۹,۷۷	۱۹,۲۳	۲۱,۲۴	۲۰,۸۹	۲۱,۱۷	۲۱,۹۹
Cr ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰
Fe ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۳۹	۰,۷۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
FeO	۰,۴۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۴۴	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۲۲	۰,۱۶	۰,۲۹	۰,۴۷
MnO	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۳
MgO	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۰
CaO	۲,۲۸	۰,۲۲	۰,۲۷	۲,۱۳	۰,۲۵	۰,۳۹	۲,۱۵	۱,۶۱	۲,۰۹	۳,۲۲
Na ₂ O	۱۰,۰۵	۱۲,۳۲	۱۱,۶۶	۹,۷۷	۱۱,۵۳	۱۱,۱۹	۹,۸۹	۱۰,۴۰	۱۰,۲۴	۹,۸۹
K ₂ O	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۱۷	۰,۰۳	۰,۰۸	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰
مجموع	۹۹,۸۷	۱۰,۱,۲۵	۱۰,۱,۰۷	۹۹,۱۰	۱۰,۱,۵۲	۱۰,۰,۵۸	۹۹,۷۵	۱۰,۰,۸۶	۱۰,۰,۴۸	۱۰,۰,۱۵
Si	۲,۹۱	۲,۹۸	۲,۹۷	۲,۹۱	۲,۹۹	۲,۰۲	۲,۹۳	۲,۹۵	۲,۹۲	۲,۸۶
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰
Al	۱,۱۱	۰,۹۶	۱,۰۰	۱,۱۱	۱,۰۱	۰,۹۹	۱,۱۱	۱,۰۸	۱,۰۹	۱,۱۳
Fe ³⁺	۰,۰۰۰۰	۰,۰۱۳۰	۰,۰۲۴۸	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰
Fe ²⁺	۰,۰۱۴۹	۰,۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۱۶۶	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۰۰۰	۰,۰۱۷۱
Ca	۰,۱۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۱۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۱۵
Na	۰,۸۶	۱,۰۳	۰,۹۸	۰,۸۴	۰,۹۷	۰,۹۷	۰,۸۵	۰,۸۸	۰,۸۷	۰,۸۴
K	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
An	۱۱,۱۱	۰,۹۹	۱,۲۷	۱,۰۸۵	۱,۲۰	۱,۸۶	۱۰,۷۱	۷,۸۸	۱۰,۱۲	۱۰,۲۵
Ab	۸۸,۶۴	۹۸,۷۹	۹۸,۵۳	۸۸,۳۷	۹۸,۶۵	۹۷,۶۶	۸۹,۱۶	۹۲,۱۲	۸۹,۷۲	۸۴,۷۵
Or	۰,۲۵	۰,۲۲	۰,۲۰	۰,۹۹	۰,۱۸	۰,۱۴۸	۰,۱۲	۰,۰۰	۰,۱۶	۰,۰۱

ادامه جدول ۳

Zs-43	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO ₂	۶۰,۷۵	۶۸,۴۱	۶۰,۱۴	۶۱,۳۶	۶۸,۰۴	۶۰,۳۵	۶۰,۶۱	۶۱,۱۸	۶۰,۹۰	۶۰,۳۵
TiO ₂	۰,۱۵	۰,۰۰	۰,۰۹	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳
Al ₂ O ₃	۲۴,۷۲	۲۰,۰۲	۲۴,۹۳	۲۴,۷۵	۱۹,۸۶	۲۴,۸۴	۲۴,۹۷	۲۴,۳۹	۲۴,۹۶	۲۴,۶۶
Cr ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۴
Fe ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
FeO	۰,۰۵	۰,۲۹	۰,۲۴	۰,۲۰	۰,۲۴	۰,۱۹	۰,۱۵	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۲۵
MnO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰
MgO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰
CaO	۶,۶۳	۰,۷۲	۶,۷۲	۶,۳۵	۱,۰۲	۶,۷۴	۶,۷۷	۶,۵۶	۶,۸۴	۶,۸۵
Na ₂ O	۷,۹۴	۱۱,۱۱	۷,۵۰	۸,۱۰	۱۰,۹۸	۷,۵۹	۷,۴۵	۷,۵۷	۷,۷۸	۷,۴۶
K ₂ O	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۱	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۳	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۱۶
مجموع	۱۰۰,۳۶	۱۰۰,۶۷	۹۹,۷۹	۱۰۰,۹۸	۱۰۰,۲۹	۹۹,۸۵	۱۰۰,۱۶	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۸۲	۹۹,۸۱
Si	۲,۷۰	۲,۹۸	۲,۶۹	۲,۷۰	۲,۹۸	۲,۷۰	۲,۷۰	۲,۷۳	۲,۶۹	۲,۷۰
Ti	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Al	۱,۲۹	۱,۰۳	۱,۳۱	۱,۲۹	۱,۰۲	۱,۳۱	۱,۳۱	۱,۲۸	۱,۳۰	۱,۳۰
Fe ³⁺	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe ²⁺	۰,۰۰۲۰	۰,۰۱۰۷	۰,۰۰۹۰	۰,۰۰۷۵	۰,۰۰۸۷	۰,۰۰۶۹	۰,۰۰۵۵	۰,۰۰۶۸	۰,۰۰۷۰	۰,۰۰۹۴
Ca	۰,۳۲	۰,۰۳	۰,۳۲	۰,۳۰	۰,۰۵	۰,۳۲	۰,۳۲	۰,۳۱	۰,۳۲	۰,۳۳
Na	۰,۶۸	۰,۹۴	۰,۶۵	۰,۶۹	۰,۹۲	۰,۶۶	۰,۶۴	۰,۶۶	۰,۶۷	۰,۶۵
K	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
An	۳۱,۳۸	۳,۴۱	۳۲,۹۰	۳۰,۰۰	۴,۸۴	۳۲,۷۳	۳۳,۱۷	۳۲,۲۱	۳۲,۵۲	۳۳,۳۶
Ab	۶۸,۰۰	۹۵,۹۲	۶۶,۴۴	۶۹,۲۵	۹۴,۰۶	۶۶,۶۹	۶۶,۰۶	۶۷,۲۶	۶۶,۹۴	۶۵,۷۴
Or	۰,۶۲	۰,۶۷	۰,۶۶	۰,۷۵	۰,۶۰	۰,۵۸	۰,۷۷	۰,۶۴	۰,۵۵	۰,۹۱

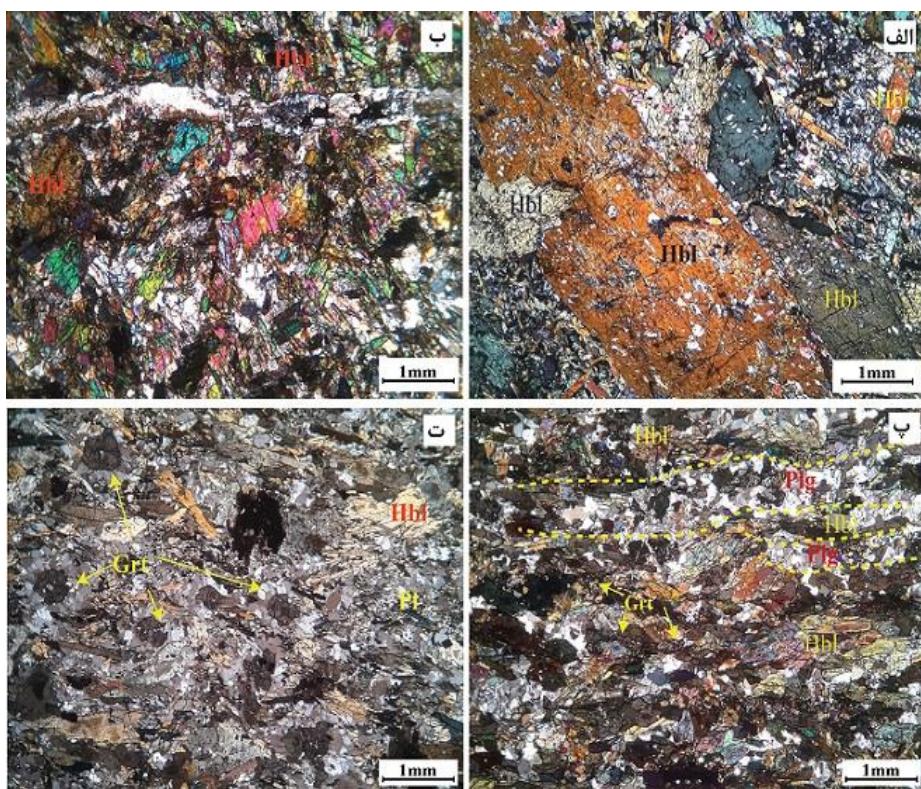
می‌شوند (شکل ۲ پ). خطوارگی و نوارهای غنی از آمفیبول و پلازیوکلاز در این نمونه‌ها وجود دارد (شکل ۲ ت) و بافت‌های نخ‌شکفتی و شکفته بلوری از معمول‌ترین بافت‌های موجود در این سنگ‌های دگرگونی مافیک هستند.

آمفیبول: فرمول ساختاری آمفیبول بر پایه $23\text{CaSi}_3\text{O}_{10}$ و $13\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ کاتیون محاسبه شده است و نتایج تجزیه نقطه‌ای این کانی در جدول‌های ۱ آورده شده است. مقدار کلسیم در آمفیبول‌ها حدود ۰.۹۱ تا 0.7a.p.f.u و مقدار سدیم 0.24a.p.f.u است. رده بندی آمفیبول‌ها بر اساس روش مرجع [۲۱] که آمفیبول‌ها را با توجه به نوع عناصر در جایگاه B ساختار بلوری به چهار دسته تقسیم کرده است، انجام شد. آمفیبول‌های مورد بررسی در گروه آمفیبول‌های کلسیمی قرار دارند (شکل ۳ الف). نام گذاری دقیق آمفیبول‌ها، بر پایه نمودار $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ نسبت به Si در جایگاه چاروچهی انجام شده است [۲۱]. چنان‌که در این نمودار (شکل ۳ ب) دیده می‌شود ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی دارای گستره ترکیبی منیزیو هورنبلند و چرماکیت است.

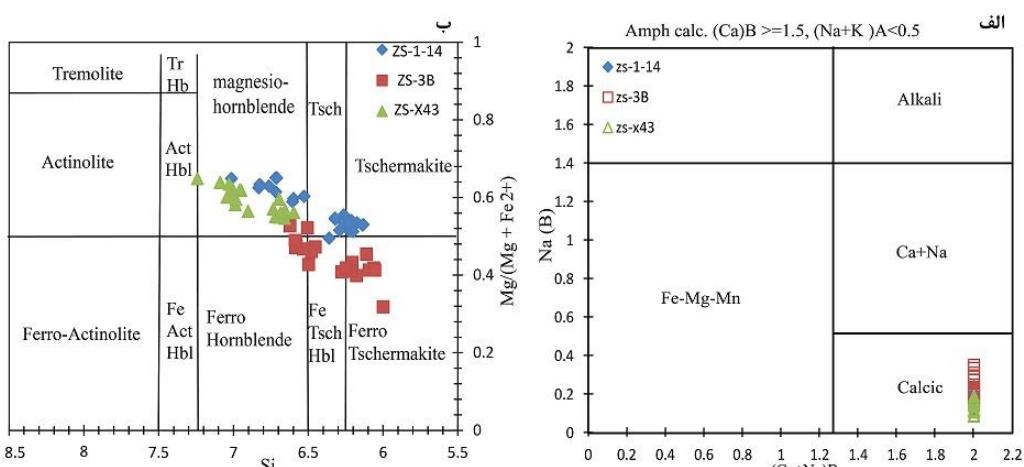
بحث و بررسی سنگنگاری و شیمی کانی

آمفیبولیت‌ها: هورنبلند و پلازیوکلاز کانی‌های اصلی در این سنگ‌ها هستند. تیتانیت، زیرکن، کلسیت، اپیدوت و اکسیدهای آهن در مقادیر فرعی حضور دارند. هورنبلند سبز تا قهوه‌ای در اندازه‌های کوچک و بزرگ (در حد ۴ میلی‌متر) در این سنگ‌ها حضور دارد (شکل ۲ الف). پلازیوکلاز در برخی از نمونه‌ها به کلسیت و اپیدوت ثانویه دگرسان شده است. در آمفیبولیت‌ها، پیشترین مقدار مود سنگ را پلازیوکلاز (تا ۴۰٪) دارد. هورنبلند سبز تا قهوه‌ای رنگ به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل با میانبارهای فراوان اپیدوت و پلازیوکلاز در این نمونه‌ها قابل تشخیص است. در برخی نمونه‌ها، رگه‌هایی از کلسیت و کوارتز به صورت ثانویه دیده می‌شود (شکل ۲ ب).

گارنت آمفیبولیت‌ها: کانی‌های تشکیل دهنده اصلی در این سنگ‌ها شامل پلازیوکلاز، هورنبلند، گارنت هستند و کانی‌های زیرکن، اکسیدهای آهن و بیوتیت در مقادیر فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. کانی ثانویه مهم تیتانیت است که در لبه روتیل تشکیل شده و نشان دهنده بافت کاوش فشار است. گارنت‌ها بصورت ریزبلور و انباشتی همراه با آمفیبول‌ها دیده



شکل ۲ ف) هورنبلندهای شکل‌دار و منشوری درشت در متن هورنبلندهای ریز و پلازیوکلاز، ب) رگه‌ای از کلسیت و کوارتز، پ) جهت یافته‌گی و نوارهای غنی از آمفیبول و پلازیوکلاز، ت) گارنت‌ها بصورت ریزبلور انباشتی همراه با هورنبلند (در نور، قطبیده متقاطع XPL).



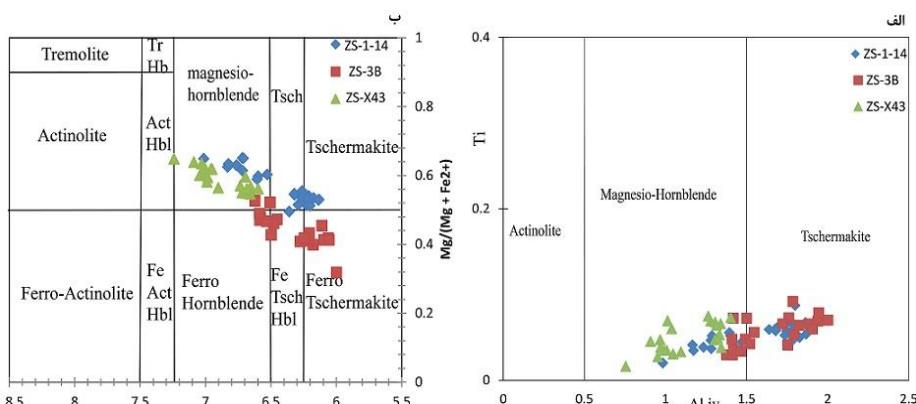
شکل ۳ آمفیبول در نمودارهای مرجع [۲۲]: (الف) نمودار $\text{Na}(\text{B})$ نسبت به $(\text{Ca}+\text{Na})\text{B}$ و (ب) نمودار $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ نسبت به Si .

جدول ۲ آورده شده است. براین اساس داده‌های فرمول ساختاری در گارنت آمفیبولیت‌های مورد بررسی بصورت (۲۶-۵۱/۵۱)، Grs (۲۶/۴۴ - ۲۴/۵۴)، Prp (۱۰/۴۰ - ۱۲/۶۵)، Fe Act Hbl (۵۱/۵۱)، Sps (۵۹/۳۵ - ۵۷/۴۷)، Alm (۵۹/۳۵) است.

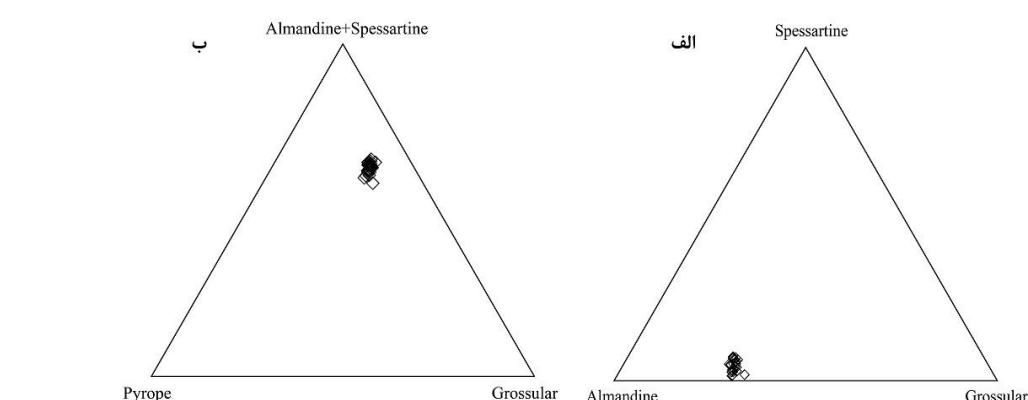
نمودار سه تایی رده‌بندی گارنت‌ها [۲۳] نشان می‌دهد که گارنت‌های تجزیه شده همه ترکیب غنی از آلماندین دارند (شکل ۵).

ترکیب آمفیبول‌ها در نمودار Al^{IV} نسبت به Ti [۲۱] دارای گستره ترکیبی منیزیو هورنبلند و چرماتیت است (شکل ۴). همچنین ترکیب آمفیبول‌ها بر پایه نمودار $(\text{K}+\text{Na})/\text{Si}$ نسبت به Al^{IV} دارای ترکیب هورنبلند و چرماتیت است و یک نمونه نیز ادنایت را نشان می‌دهد (شکل ۴ ب).

گارنت: نتایج برآمده از تجزیه نقطه‌ای این کانی به همراه محاسبه‌ی فرمول ساختاری برپایه ۸ کاتیون و ۱۲ اکسیژن در



شکل ۴ رده بندی آمفیبول‌ها بر پایه (الف) در نمودار Al^{IV} نسبت به Ti و (ب) نمودار $(\text{K}+\text{Na})/\text{Si}$ نسبت به Al^{IV} .



شکل ۵ (الف و ب) ترکیب گارنت‌های مورد بررسی در نمودارهای مثلثی اعضاء نهایی اسپسارتین-پیروپ-آلمندین-گروسولار [۲۴].

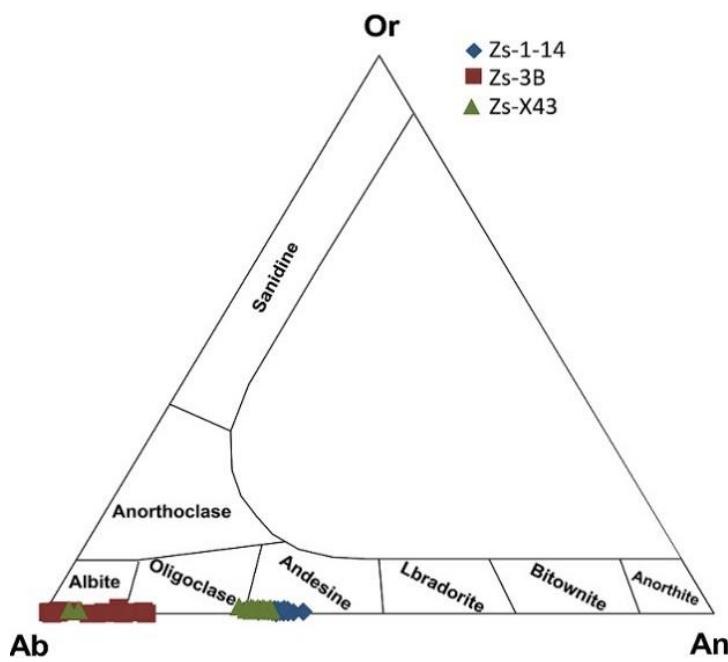
برآورد دما و فشار تشکیل آمفیبولیت‌ها

هورنبلند، گارنت و پلازیوکلاز از کانی‌های اصلی در تعادل بافتی در آمفیبولیت‌های مورد بررسی هستند. چند دما-فشارسنجدی برای این سنگ‌ها استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

دما-سنجدی با استفاده از دما-سنجدی هورنبلند-پلازیوکلاز؛ دما-سنجدی بوسیلهٔ زوج کانی هورنبلند-پلازیوکلاز همزیست از متداول-ترین روش‌های محاسبهٔ دما در متابازیت‌ها به شمار می‌رود. یکی از روش‌های ارائه شده برای زوج کانی هورنبلند و پلازیوکلاز، بر اساس جانشینی ادنیتی و چرم‌اکیتی در ترکیب آمفیبول‌هاست [۲۶]. این روش سپس دوباره واسنجی شد و با توجه به واکنش‌های (الف) آلبیت + ترمولیت = کوارتز + ادنیت و (ب) رشیتیریت = آلبیت + ادنیت + آنورتیت دو دما-سنجد مستقل را برای سنگ‌های کوارتزدار و بدون کوارتز ارائه داد [۲۷]. از آنجاکه کوارتز در نمونه‌های متابازیت مجموعهٔ بسیار کم است، از معادلهٔ ب، در محاسبات استفاده شد. با استفاده از این روش، بیشینه و کمینهٔ دماهای بدست آمده در فشار ۲ کیلوبار، ۵۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در فشار ۸ کیلوبار، ۵۴۷ درجهٔ سانتی‌گراد بود. بنابراین با توجه به اینکه در تغییرات فشاری، دما تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد، تغییرات دما مستقل از فشار و قابل قبول است.

پلازیوکلاز: نتایج تجزیه نقطه‌ای پلازیوکلاز بر پایه ۱۲ اکسیژن در جدول‌های ۳ آورده شده است. نتایج تجزیه نقطه‌ای پلازیوکلاز در آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها بیانگر ترکیب آلبیت تا آندزین آنهاست. درصد و نوع سازنده‌های فلدسپار برای نمونه گارنت آمفیبولیت ($An_{29.59-38.53} Ab_{61.17-}$) ZS-1-14، نمونه آمفیبولیت ($Or_{0.00-0.99} Ab_{0.18-0.75}$) ZS-3B، در نمونه آمفیبولیت ($Or_{0.99-15.25} Ab_{98.79-84.75}$) ZS-X43 از آmfیبولیت ($Or_{0.55-} Ab_{95.92-65.74} An_{3.41-33.36}$) درصد ۰.۹۱ است. با توجه به نزدیکی نمونه‌های برداشت شده در صحراء در نتیجه درجه دگرگونی یکسان آنها، تفاوت ترکیب شیمیایی پلازیوکلاز در این سنگ‌ها را نمی‌توان به تفاوت در درجه دگرگونی نسبت داد. همچنین با توجه به سالم بودن پلازیوکلاز در نمونه‌های مورد بررسی، تفاوت شیمیایی در اثر دگرسانی بعدی نیست (کیفیت داده‌های ریزپردازشی و مجموع اکسیدهای اصلی نیز این مطلب را تایید می‌کند). به نظر می‌رسد که شیمی سنگ کل و ماهیت متفاوت سنگ مادر موجب تفاوت شیمی پلازیوکلاز در این سنگ‌ها شده است.

مقدار آنورتیت و آلبیت در ترکیب پلازیوکلاز وابسته به ترکیب شیمیایی سنگ و تغییرات دماس است [۲۴]. گستره ترکیبی پلازیوکلازها از Or تا Ab متغیر است. ترکیب پلازیوکلازها در نمودار مثلثی آلبیت - آنورتیت - ارتوکلاز [۲۵] در گستره آندزین و آلبیت قرار دارد (شکل ۶).



شکل ۶ موقعیت ترکیبی پلازیوکلازها در نمودار آلبیت-آنورتیت-ارتوکلاز [۲۵].

جدول ۴ دمافارسنجی‌های مختلف در آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت‌ها.

Zs-1-14	Zs-3B	ZS-X43
گارنت آمفیبولیت	آمفیبولیت	آمفیبولیت
زمین دماسنچ		
[۲۸] Grt-Plg [۲۹] T=580.50 T= 513.16 °C		
5<P<16kbar, 515<T(°C)<1025 [۳۰] Grt-Hbl		
T (°C)=599.97 T (°C)=601.33		
[۲۶] Hbl-Plg p=3kbar T=861.89 °C	[۲۶] Amp-Plg p=3kbar T= 800.33 °C	[۲۶] Amp-Plg p=3kbar T= 600.92 °C
[۲۶] Hbl-Plg p=5kbar T= 829.16 °C	[۲۶] Amp-Plg p=5kbar T= 769.38 °C	[۲۶] Amp-Plg p=5kbar T= 669.92 °C
Ti in Amp Otten (1984)		
T<970°C T (°C) = 1204*(Ti)+545		
T (°C) = 617.24	T (°C) = 581.12	T (°C) = 605.2
زمین فشارسنج		
Al in Hbl		
P (± 3 kbar) = 10.82 [۳۱]	P (± 3 kbar) = 8.40 [۳۱]	P (± 3 kbar) = 6.64 [۳۱]
P (± 1 kbar)=11.77 [۳۲]	P (± 1 kbar)=9.06 [۳۲]	P (± 1 kbar)=7.08 [۳۲]
[۳۳] P av (kbar)=8.93 P max (kbar)=9.55 P min (kbar)= 8.31	[۳۳] P av (kbar)=6.90 P max (kbar)=7.46 P min (kbar)= 6.35	[۳۳] P av (kbar)=5.42 P max (kbar)=5.94 P min (kbar)= 4.91
Grt-Amp-Plg		
[۳۶] Amp model 1 P (kbar) = 11.64 Ln kd-mg= -5.904 P(kbar)=7.73 Ln kd-fe= -1.514 [۳۶] Amp model 2 P(kbar) = 12.61 Ln kd-mg= -3.560 P(kbar) = 6 Ln kd-fe= 1.292 [۳۶] P(kbar) = 9.02 Ln kd-mg= -0.810 P(kbar) = 9.55 Ln kd-fe= 9.55		

گرانیتوئیدی آهکی قلیایی واسنجی شده است [۳۱-۳۳]. برخی از پژوهشگران این فشارسنج را برای سنگ‌های دگرگونی بکار برده‌اند. با استفاده از این فشارسنج، نمونه‌های مورد بررسی فشار ۵ تا ۱۱.۵ کیلو بار را برای واسنجی‌های مختلف نشان می‌دهند.

فشارسنجی برپایه مقدار آلومینیم کل موجود در آمفیبول: مقدار آلومینیم کل موجود در آمفیبول برای برآورد فشار استفاده شده است. معادله‌های زیر بر اساس مقدار آلومینیم کل موجود در آمفیبول به دست آمده‌اند، زیرا مقدار آلومینیم موجود در ساختار آمفیبول، رابطه‌ی مستقیمی با تغییرات فشار دارد [۳۴].

دماسنچی با استفاده از گارنت-پلاژیوکلاز؛ دماسنچی بوسیله‌ی زوج کانی گارنت-پلاژیوکلاز همزیست [۲۸،۲۹]، دماهای ۵۱۳-۵۸۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد.

دماسنچی با استفاده از گارنت-هورنبلند: دمای محاسبه شده با دماسنچی توسط زوج کانی گارنت-هورنبلند همزیست [۳۰] ۶۰۰ درجه سانتیگراد است.

فشار سنجی آمفیبولیت‌های منطقه
برآورد فشار برای سنگ‌های دگرگونی منطقه به علت نبود همبrij کانیایی مناسب در سنگ‌های دگرگون شده مشکل است. فشارسنج آلومینیوم در هورنبلند برای سنگ‌های

آمفیبول‌های مورد بررسی تقریباً مشابه هستند. فشارسنجدی گارنت-آمفیبول-پلاژیوکلаз: با استفاده از تعادل بین گارنت-آمفیبول-پلاژیوکلاز [۳۶] در دمای طبیعی فرضی ۶۰۰ درجه سانتیگراد، فشار ۹ تا ۹.۵ کیلو بار برای دگرگونی آمفیبولیت‌های مورد بررسی به دست آمد.

فشار سنجدی با استفاده از نمودار Ti نسبت به Al_t از روش‌های دیگر برای برآورد دما و فشار تشکیل متابازیت‌ها، تغییرات عنصر Ti نسبت به Al_t است [۳۷]. بر این اساس، هرچه فشار بالاتر باشد، مقدار تیتانیوم موجود در آمفیبول‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به این امر، آمفیبول‌های مورد بررسی در آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی اللهیارلو از آمفیبول‌های فشار متوسط هستند (شکل ۷).

فشار و دمای برآورد شده برای نمونه‌ها در نمودار P-T (شکل ۸) نشان داده شده است؛ گستره رخساره توسط سودی اجیرلو و مودن [۳۸] ارائه شده است. فشار متوسط ۸ کیلوبار و دمای متوسط حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد را می‌توان برای دگرگونی‌های منطقه در نظر گرفت. این دما و فشار نزدیک به سری P/T متوسط بوده که مربوط به دگرگونی نوع بارووین است و با مناطق ضخیم شدگی پوسته‌ای مانند جزایر قوسی، جزایر آتشفسانی و یا مناطق برخورد همخوانی دارد.

الف) معادله Al_t P (± 0.6 kbar) = $-3.01 + 4.76 Al_t$ [۳۱] که براساس آن میانگین فشار بدست آمده برابر 8.96 ± 0.6 کیلوبار است.

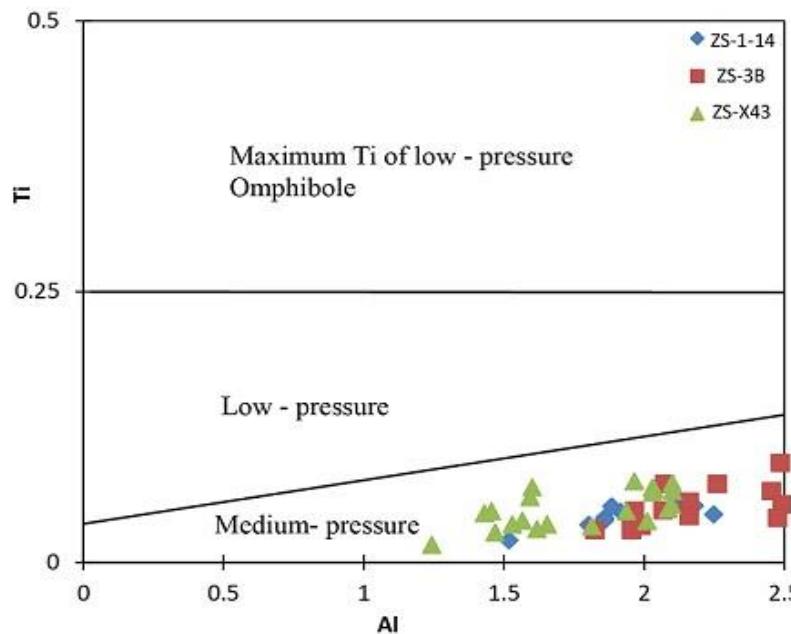
ب) معادله‌ی ارائه شده توسط اندرسون و اسمیت [۳۵]: $P(\pm 0.6$ kbar) = $4.76 Al_t - 3.01 - \{[(T^{\circ}C) - 675]/85\} \times \{0.530 Al_t + 0.005294[T(T^{\circ}C) - 675]\}$ (۱)

که وابسته به دما، فشار و گریزندگی اکسیژن است و بر اساس آن، میانگین فشار برابر با 9.23 ± 0.6 کیلوبار برای میانگین دمای $520^{\circ}C$ درجه‌ی سانتیگراد به دست آمد. دمای مورد نیاز برای این معادله، از روش دماسنجی مرجع [۳۵] بدست آمد.

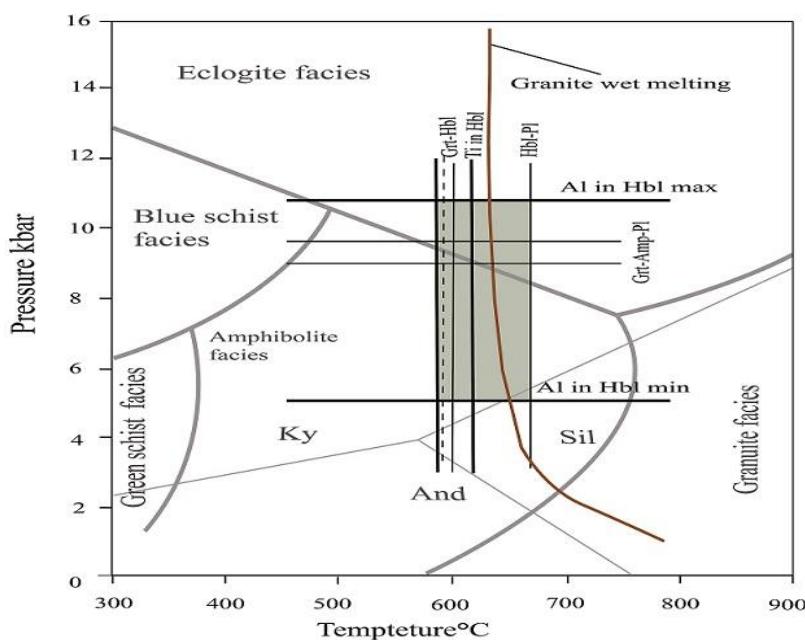
معادله‌ی Al_t P (± 3 kbar) = $-3.92 + 5.03 Al_t$ [۳۱] که در آن، مقدار آلومینیم کل به عنوان پارامتری مهم در نظر گرفته شده است. بر اساس این معادله، میانگین فشار بدست آمده برای آمفیبول در آمفیبولیت‌های مورد بررسی، 8.45 ± 3 کیلوبار است.

معادله‌ی Al_t P (± 1 kbar) = $-4.76 + 5.64 Al_t$ [۳۲] : که بر اساس آن و مقدار آلومینیوم کل موجود در ساختار آمفیبول، میانگین فشار بدست آمده برابر با 9.11 ± 1 کیلوبار است.

معادله‌ی Al_t P (± 0.5 kbar) = $-3.46 + 4.23 Al_t$ [۳۳] : که بر اساس آن مقدار میانگین فشار 6.94 ± 0.5 کیلوبار بدست آمد. مقادیر دما و فشار بدست آمده از معادلات مختلف برای



شکل ۷ نمودار Ti نسبت به Al_t [۳۷]، که براساس آن آمفیبول‌های مورد بررسی از انواع آمفیبول‌های فشار متوسط هستند.



شکل ۸ فشار و دمای برآورد شده برای نمونه‌های دگرگونی مورد بررسی گستره رخساره توسط [۳۸] ارائه شده است.

اینکه سنگ‌های افیولیتی مربوط به تیس کهن و یا تیس جوان هستند نظر داد. اما به دلیل نبود سنگ‌های دگرگونی فشار بالا و دمای پایین شاخص پهنه‌های فرورانشی، به نظر می‌رسد که این باریکه اقیانوسی به احتمال زیاد بدون فرورانش بسته شده است و در اثر برخورد قاره‌ای یا ضخیم شدگی پوسته‌ای در یک محیط قوس آتشفسانی و یا جزیر قوسی، آمفیبولیت‌های مورد بررسی در اینجا تشکیل شده‌اند.

مراجع

- [1] Babakhani A. R., Nazer N. H., "Lahrud geological map" Geological Survey of Iran (1991).
- [2] Stöcklin J., "Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia", Memoire Hors-Servé (1977) 8, 333-353.
- [3] Stampfli G.M., "Etude géologique générale de l'Elbourz oriental au sud de Gonbad-e-Qabus (Iran NE)" [Ph.D. thesis]: (1978) Université de Genève, 329 p.
- [4] Berberian M., King G., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canad. J. Earth Sci (1981) 18, 210-265.
- [5] Boulin J., "Hercynian and Eocimmerian events in Afghanistan and adjoining regions, Tectonophysicscsc", (1988) 148: 253-278.
- [6] Sengör A.M.C., "A new model for the late Paleozoic–Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. In: Robertson, A.H., Searle, M.P., Ries, A.C. (Eds.), The Geology and

برداشت آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها به صورت توده‌های کوچک در مجموعه دگرگونی- افیولیتی الهیارلو رخمنون دارند. این سنگ‌ها با توجه به داشتن مقادیر زیادی آمفیبول و پلازیوکلاز و مقادیر کم کوارتز و نبود کانی‌های رسوبی مانند کلسیت دارای خاستگاه آذرین و بافت نخ‌شکفتی و شکفته بلوری هستند. کانی‌های اصلی در آمفیبولیت‌ها شامل پلازیوکلاز و هورنبلند هستند و کانی‌های زیرکن، اکسیدهای آهن و بیوتیت در مقادیر فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. گارنت آمفیبولیت‌ها افزون بر این کانی‌ها دارای گارنت نیز هستند. آمفیبول‌های مورد بررسی از نوع آمفیبول‌های کلسیمی بوده و دارای گستره ترکیبی منیزیو هورنبلند و چرمکیت هستند. ترکیب پلازیوکلاز دارای گستره آندزین و آلبیت است. در گارنت آمفیبولیت‌ها، گارنت ترکیب غنی از آلماندین دارد. آمفیبول‌های مورد بررسی در آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی الهیارلو از آمفیبول‌های فشار متوسط هستند. فشار متوسط ۸ کیلوبار و دمای متوسط حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد می‌تواند برای دگرگونی‌های منطقه در نظر گرفته شود که با روند دگرگونی بارووین P/T متوسط مناطق ضخیم شدگی پوسته‌ای و یا مناطق برخورد هم‌خوانی دارد. وجود واحدهای افیولیتی در منطقه می‌تواند نشانگ تشکیل یک پوسته اقیانوسی در باریکه اقیانوسی در شمال غرب ایران باشد. با توجه به نبود داده‌های سنی نمی‌توان در مورد

- 15th Congress of Geological Survey of Iran, Urmia University (2010) (In Persian).
- [16] Morris D. P. W., M. Lewis JR., "Phytoplankton nutrient limitation in Colorado mountain lakes", *Freshwater Biol* (1988) 20: 3 15-327.
- [17] Ilnicki S., "Variscan prograde P-T evolution and contact metamorphism in metabasites from the Sowia Dolina, Karkonosze-Izera massif, SW Poland", *Mineralogical Magazine* (2011) Vol. 75(1), pp. 185-212.
- [18] Sudi Ajirlu M., Moazzen M., "Role of the Allahyarlu ophiolite in the tectonic evolution of NW Iran and adjacent areas (Late Carboniferous – Recent)", *Central European Geology* (2014) 57(4): 363-383.
- [19] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist* (2010) 95 185-187.
- [20] Droop G.T.R., "A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses using stoichiometric criteria", *Mineralogical Magazine* (1987) 51 431-435.
- [21] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whitaker E.J.W., Youzhi G., "Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names" *Mineralogical Magazine* (1997) 61 295-321.
- [22] Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N. and Whittaker E.J.W., "Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature", *American Mineralogist* (2004) 89, 883- 887.
- [23] Coleman R. G., Lee D. E., Beatty L. B., Brannock W. W., "Eclogites and eclogites: their differences and similarities", *Geological Society of America Bulletin* (1965) 76, 483-508.
- [24] Goldsmith J. R., "Review of the behavior of plagioclase under metamorphic conditions", *American Mineralogist* (1982) 67, 643-652.
- tectonics of the Oman region", Geological Society Special Publication* (1990) 49: 797 -831.
- [7] Galoyan G., Rolland Y., Sosson M., Corsini M., Billo S., Verati C., Melkonyan R., "Geology, geochemistry and 40Ar/39Ar dating of Sevan Ophiolite (Lesser Caucasus, Armenia): Evidences for Jurassic Back-arc opening and hot spot event between the South Armenian Block and Eurasia", *Journal of Asian Earth Sciences* (2009) 34, pp. 135-153.
- [8] Eftekhar-Nezhad J., Behrozi A., "Geodynamic significance of recent discoveries of ophiolites and Late Palaeozoic rocks in NE-Iran (including Kopet Dagh)", *Abh. Geol. A.B. Wien* (1991) 89-100.
- [9] Shafaii moghadam H., Stern R., "Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia: (I) Paleozoic ophiolites", (2014) 20P.
- [10] Omrani H., Moazzen M., Oberhansli R., Tsujimori T., Bousquet R., Moayyed M., "Metamorphic history of glaucophane-paragonite-zoisite eclogites from the Shanderman area, northern Iran", *J. Met. Geol* (2013) 31, 91-812.
- [11] Rossetti F., Monié P., Nasrabady M., Theye T., Lucci F., Saadat M., "Early Carboniferous subduction-zone metamorphism preserved within the Palaeo-Tethyan Rasht ophiolites (western Alborz, Iran)", *J. Geol. Soc. Lond* (2017). DOI.org/10.1144/jgs2016-130.
- [12] Stampfli G. M., Borel G. D., "A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons", *Earth and Planetary Science Letters*, (2002) v. 196, p. 17-33.
- [13] Topuz G., Altherr R., Siebel W., Schwarz W. H., Zack T., Hasozbek A., Barth M., Satir M., Sen C., "Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gu'mu'shane pluton (NE Turkey)", *Lithos* (2010) v. 116, n. 1-2, p. 92-110.
- [14] Moazzen M., Alchalani S., Hajialioghli R., Morishita T., Rezaei, "Ophiolitic peridotites from the Western Khoj phiolitic complex, NW Iran; Petrological and geochemical characteristics and application for connecting the Baft-Khoj and Izmir-Ankara-Erzincan sutures", *Proceedings of International Earth Science Colloquium on the Aegean Region M* (2012) p9.
- [15] Barzegar A., Pourkermani M., "Structural evolution of folded zone of Allahyarlu in western Alborz", *21st Congress of Geological Sciences and*

- empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons", American Mineralogist (1987) 72 231-239.*
- [33] Johnson M.C., Rutherford M.J., "Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks", Geology (1989) 17 837-841.
- [34] Schmidt M.W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer", Contributions to Mineralogy and Petrology (1992) 110: 304-310.
- [35] Anderson J. L., Smith D. R., "The effects of temperature and fO_2 on the Al-inhornblende barometer", American Mineralogist (1995) 80: 549-559.
- [36] Kohen M.J., Spear F.S., "Two new geobarometers for garnet amphibolites with applications to southeastern Vermont", American Mineralogist (1990) 75, 89-96.
- [37] Hynes A., "A comparison of amphiboles from medium and low pressure metabasites", Contributions of Mineralogy and Petrology (1982) 81 119-125.
- [38] Spear F.S., "Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths", Mineralogical Society of America Washington (1995), 799 pp.
- [25] Deer W.A., Howie R.A., Zussman Jan., "Introduction to the Rock-forming Minerals, 2nd edition", Longman Scientific and Technical, Harlow, (1992) 696 p.
- [26] Blundy J.D., Holland T.J.B., "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole plagioclase geothermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology, (1990) 104: 208-224.
- [27] Holland T., Blundy J., "Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry", Contrib. Mineral. Petr (1994) 116: 433-447.
- [28] Graham C.M., Powell R., "A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing, and application to the Pelona Schist, southern California", Journal of Metamorphic Geology (1984) 2, 13-31.
- [29] Perchuk L. L., Aranovich L. Ya., Podlesskii K. K., et al., "Precambrian granulites of the Aldan shield, eastern Siberia", USSR. Journal of Metamorphic Geology (1985) 3, 265-310.
- [30] Krogh R. E., "The garnet-clinopyroxene Fe^{2+} -Mg geothermometer: An updated calibration", Journal of Metamorphic Geology (2000) 18, 211-219.
- [31] Hammarstrom J.M., Zen E., "Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer", American Mineralogist (1986) 71: 1297-1331.
- [32] Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B., "Confirmation of the