



زمین دما-فشارسنگی و کانی‌شناسی توده‌های نفوذی اسیدی الیگو-میوسن شمال غرب شهر بابک، کرمان

غلامرضا قدمی^{۱*}، عباس مرادیان شهر بابکی^۲، سید محسن مرتضوی^۱

۱- دانشگاه هرمزگان، دانشکده علوم فارابی، گروه زمین‌شناسی، پندر عباس

۲- دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، کرمان

(دریافت مقاله: ۹۲/۳/۳۰، نسخه نهایی: ۹۲/۶/۳۰)

چکیده: در جنوب شرق کمربند ماگماتی ارومیه-دختر، شمال غرب شهر بابک، بیش از ۲۰ توده‌ی نفوذی از نوع تونالیت تا گرانودیوریت با سن الیگو-میوسن به درون سنگ‌های آتشفسانی ائوسن نفوذ کرده‌اند. این سنگ‌ها دارای بافت ریز دانه‌ای پورفیری و درشت بلورهای شامل پلاژیوکلاز ($An_{21}-An_{44}$) با ساختار منطقه‌بندی شده عادی و معکوس، آمفیبیول از نوع مگنزیوهرنبلند و شرماتیکی و بیوتیت است که در یک زمینه‌ی ریز بلور متتشکل از کانی‌های، کوارتر، فلدسپار قلیایی و کانی‌های کدر قرار گرفته‌اند. فلدسپار قلیایی این سنگ‌ها از نوع آنورتوز ($Ab_{73.3}-An_{15.8}-Or_{11}$) تا ارتوز ($Ab_{26.6}-An_{0.07}-Or_{73.4}$) است. بر اساس میزان آلومینیوم موجود در آمفیبیول، هورنبلندهای توده‌های نفوذی فوق در گستره‌ی فشار ۲ تا ۵/۵ کیلوبار (معادل عمق ۸/۳ تا ۲۲ کیلومتر) و گستره‌ی دمایی ۷۰۷ تا ۷۹۳ درجه‌ی سانتیگراد متبلور شده‌اند. نتایج فوق نشانگر تبلور آمفیبیول در دمایها و اعماق متفاوت است. بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی، توده‌های نفوذی فوق از نوع آهکی-قلیایی بوده و در یک حاشیه‌ی فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زمین دما-فشار سنگی؛ تونالیت؛ گرانودیوریت؛ الیگو-میوسن؛ ارومیه-دختر.

برخی از پژوهشگران ماگماتیسم سنوزوئیک این منطقه را به فرورانش نئوتیس به زیر ایران مرکزی نسبت داده [۳] و تغییرات ترکیب شیمیایی ماگما در طول سنوزوئیک را به تغییرات شبیه فرورانش نسبت داده‌اند [۴]. برخی نیز ماگماتیسم میو-پلیوسن این ناحیه را آدکیتی معرفی کرده‌اند [۵-۷].

سنگ‌های نفوذی اسیدی الیگو-میوسن جنوب شرقی کمربند ماگماتی ارومیه-دختر (کمربند دهچ-ساردوئیه) که در شمال غرب شهر بابک قرار گرفته‌اند محور اصلی بررسی‌های ما را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش، سنگنگاری و بافت‌های

مقدمه کمربند ماگماتی ارومیه - دختر شامل سنگ‌های نفوذی و آتشفسانی به سن کرتاسه تا کواترنر به عرض ۵۰ تا ۱۵۰ کیلومتر و طول ۱۸۰۰ کیلومتر و ضخامت ۴ کیلومتر با روند شمال غربی-جنوب شرقی است [۱]. سنگ‌های ماگماتی کمربند ارومیه-دختر در استان کرمان برونددهای قابل توجهی دارند و از تنوع و حجم قابل ملاحظه‌ای برخوردارند. برخی از پژوهشگران، این بخش از کمربند ماگماتی ارومیه-دختر را تحت عنوان کمربند دهچ-ساردوئیه معرفی کرده و برای آن تقسیمات مهم و سرگذشت جداگانه‌ای در نظر گرفته‌اند [۲].

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۸۳۹۵۴۰، نامبر: ۷۶۶۰۰۵۸ (۰۷۶۱)، پست الکترونیکی: ghadamigholamreza@yahoo.com

واحد زمین شناسی منطقه به توده‌های آتشفسانی و شبکه آتشفسانی داسیت-آندرزیتی میو-پلیوسن وابسته است که بلندترین ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهند و دارای ماهیت آداسیتی هستند [۶،۵].

روش بررسی

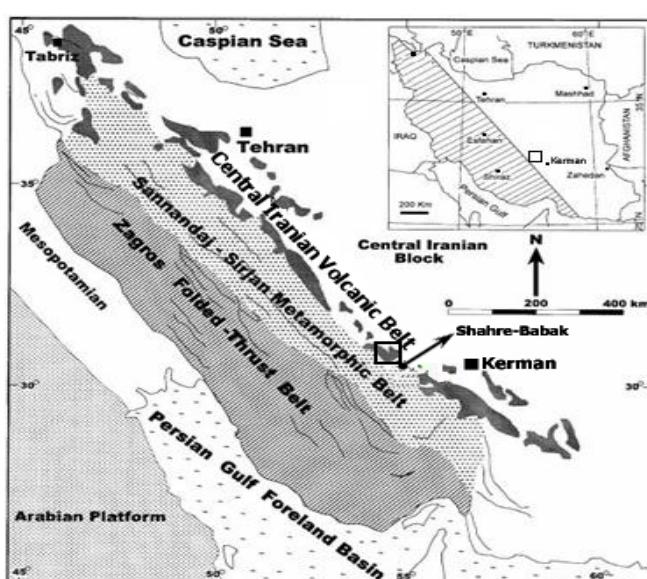
در حدود ۱۵۰ نمونه از سنگ‌های نفوذی در بررسی‌های صحرایی جمع آوری و بیش از ۶۰ نمونه برای تهیه مقطع نازک انتخاب شدند. با توجه به تنوع کانی‌شناسی و بافت‌های موجود در سنگ‌های توپالیتی و گرانوودیوریتی، چند مقطع نازک صیقلی تهیه شدند. از آنجا که خصوصیات ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی مشابه یکدیگرند [۹،۸]، مقاطع صیقلی از سنگ‌های توپالیتی و گرانوودیوریتی بزرگترین توده‌ی نفوذی که در شمال خبر قرار دارد انتخاب شدند (شکل ۲). تجزیه ریزپردازی کانی‌ها توسط آقای دکتر محسن مرتضوی در دانشگاه بریستول انگلستان انجام شد. در این راستا کانی‌های اصلی پلازیوکلاز، آمفیبیول، فلدسپات‌های پتاسیم و بیوتیت و چندین نقطه زمینه و کانی‌های کدر تجزیه شده‌اند. دستگاه ریزپردازندۀ از نوع ۱۵ nA JEOL JXA 8600 با ولتاژ ۱۵kV، شدت جریان ۱۵ μm و کمینه قطر ۱۵ μm تجزیه شد. فرمول ساختاری پلازیوکلاز بر اساس ۸ اکسیژن و برای آمفیبیول بر اساس ۲۳ اکسیژن محاسبه و در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. برای نامگذاری دقیق کانی‌ها از برنامه Min Pet و برای محاسبه‌ی کاتیون‌ها از نرم‌افزار Exel استفاده شده است.

موجود در سنگ‌های نفوذی فوق، ترکیب شیمیایی پلازیوکلازها و تغییرات ترکیبی آن‌ها، ترکیب شیمیایی آمفیبیول‌ها و زمینه-دما-فشارسنجی توده‌های نفوذی با توجه به ترکیب شیمیایی آمفیبیول‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

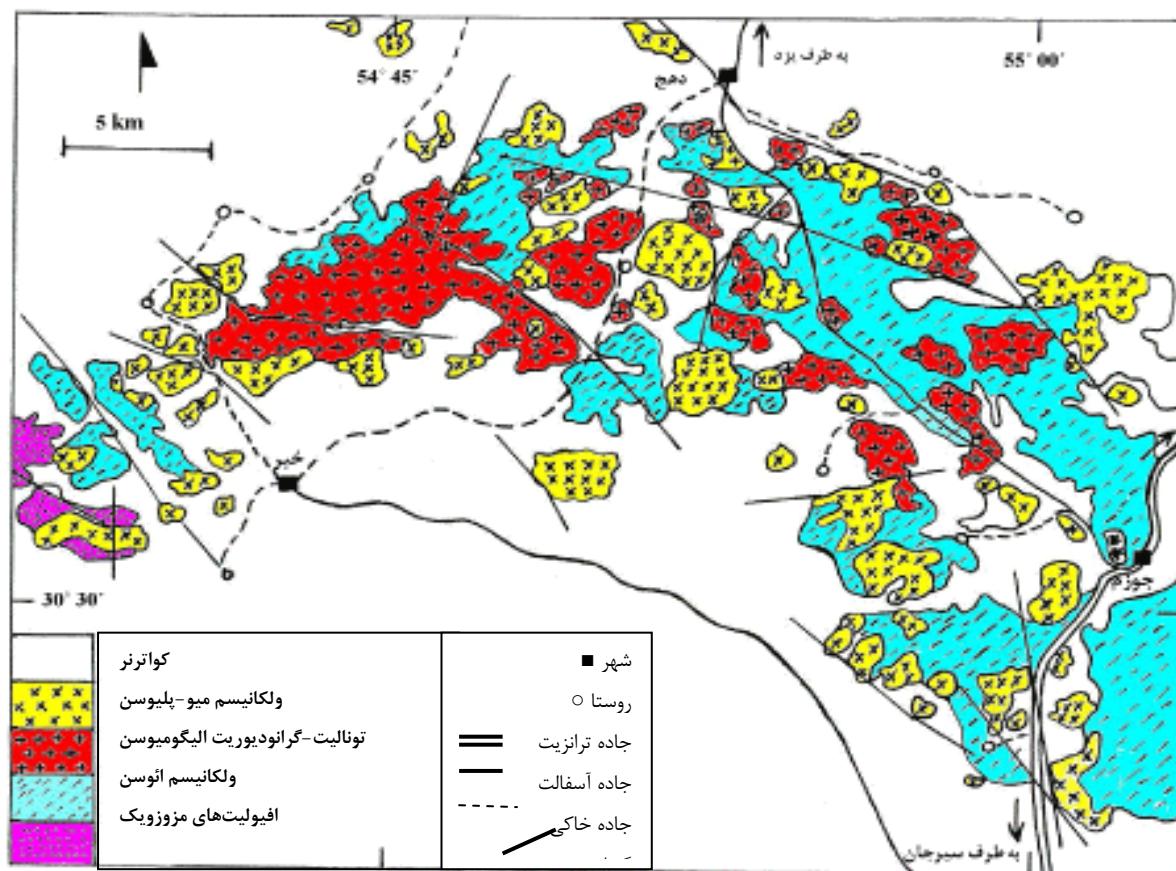
موقعیت زمین شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی در جنوب شرق کمریند ماگمایی ارومیه-دختر شمال غرب شهرستان شهر بابک، ناحیه جوزم، خبر و دهچ بین طول‌های جغرافیایی $^{\circ} ۳۰ - ۵۴$ تا $^{\circ} ۱۵ - ۵۵$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $^{\circ} ۳۰ - ۴۵$ تا $^{\circ} ۳۰$ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). قدیمی‌ترین واحد زمین شناسی مربوط به افیولیت‌های نایین-بافت به سن کرتاسه است که در جنوب غربی منطقه بروند دارد (شکل ۲). سنگ‌های آتشفسانی ائوسن بخش بزرگی از سنگ‌های منطقه را شامل می‌شود که دارای ترکیب غالب آندزیت، بازالت و با گرایش آهکی-قلیایی تا شوشوئنیتی هستند [۴].

بخش قابل توجهی از سنگ‌های منطقه به توده‌های نفوذی اسیدی وابسته است. در این ناحیه بیش از ۲۰ توده‌ی نفوذی گرانیتوئیدی به سن الیگو-میوسن به درون سنگ‌های آتشفسانی ائوسن نفوذ کرده است [۸] (شکل ۲). وسعت این توده‌های نفوذی بین ۱ تا ۵۰ کیلومتر مربع تغییر می‌کند و بزرگترین آن‌ها در شمال غرب خبر قرار دارد. توده‌های نفوذی اغلب با پتانسیل‌هایی از کانسرازایی مس همراهند که می‌توان به گودکلباری، سلطان‌آباد، ایزو و کدر اشاره کرد. جوانترین



شکل ۱ واحدهای اصلی واقع در کمریند کوهزایی زاگرس [۷]، موقعیت توده‌های نفوذی □



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد بررسی [۲].

درشت بلورها به قرار زیر است:

پلازیوکلازها

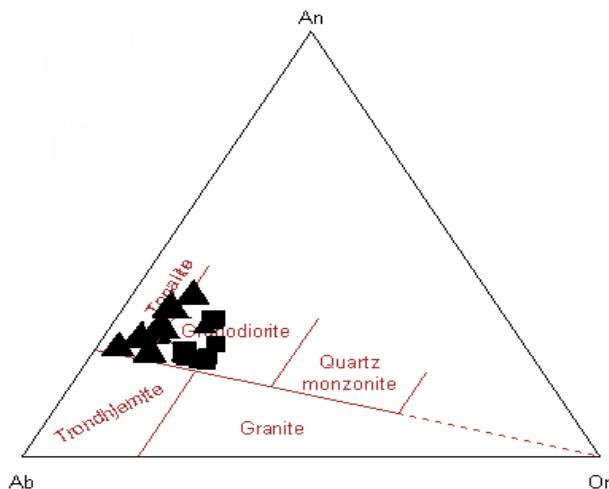
از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها هستند و بیشترین فراوانی را بین کانی‌های سنگ به خود اختصاص داده‌اند و از حدود ۵۰ درصد در سنگ‌های تونالیتی تا حدود ۲۵ درصد در سنگ‌های گرانودیوریتی متغیر است، و اغلب به صورت درشت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و اندازه‌ی آن‌ها بین ۰.۵ تا ۳ میلی‌مترند که گاهی در بردارنده‌هایی از مگنتیت، بیوتیت، آمفیبول، آپاتیت و زیرکن هستند. برخی از پلازیوکلازها دارای ساختار منطقه‌بندی شده و ماکل پلی-ستنتیک هستند و برخی دیگر دارای ساختار منطقه‌بندی نسیتند. از آن‌ها نیز دارای یک حاشیه‌ی ابری یا انحلال یافته‌اند. به نظر می‌رسد که نخست پلازیوکلازهایی با حاشیه‌ی ابری تشکیل شده‌اند و سپس در شرایط دیگری، مثل تغییر فشار مواد فرار یا صعود ماغما [۱۱] به صورت نسل دوم پلازیوکلازهای بدون حاشیه ابری تبلور یافته است (شکل ۴).

بحث و بررسی

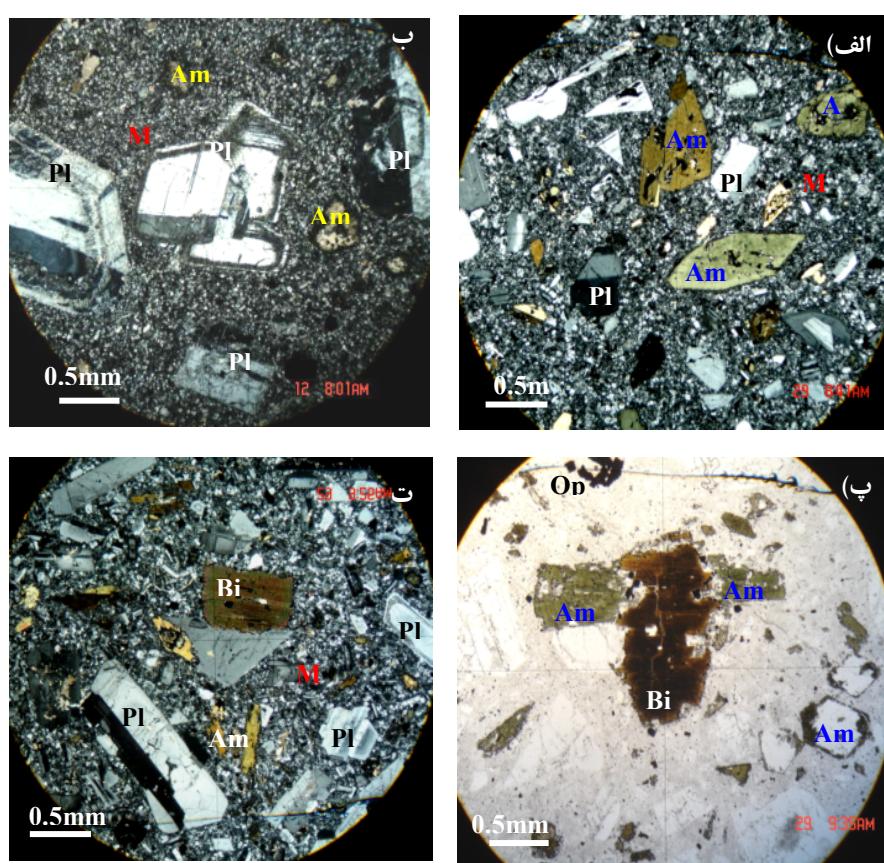
توده‌های نفوذی اسیدی منطقه‌ی مورد بررسی شامل دو دسته از سنگ‌های تونالیتی- گرانودیوریتی است که دارای $\text{SiO}_2(58.8-65.5)$, $\text{MgO}(0.62-2.98)$, $\text{FeO}^*(2.2-5.41)$, $\text{Na}_2\text{O}(5.01-$, $\text{CaO}(5.8-3.37)$, $\text{Al}_2\text{O}_3(17.6-15.58)$ و $\text{K}_2\text{O}(2.46-1.91)$ ۴.۲۱ تشكیل شده‌اند [۹.۸]. نتایج حاصل از معیار این سنگ‌ها نشان می‌دهد که میزان کوارتز در سنگ‌های تونالیتی کمتر از ۱۰ درصد و در سنگ‌های گرانودیوریتی به ۲۵ درصد می‌رسد. با توجه به نتایج معیار این سنگ‌های نفوذی، توده‌های یاد شده در گستره‌ی تونالیت و گرانودیوریت و در یک گستره‌ی نزدیک بهم قرار می‌گیرند (شکل ۳).

این سنگ‌ها زیر میکروسکوپ دارای بافت پورفیری و خمیره‌ی ریزدانه‌ای بوده و درشت بلورها شامل پلازیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت‌اند که در زمینه‌ای از کانی‌های ریز بلور کوارتز و فلدسپات پتاسیم قرار گرفته‌اند. کانی‌های فرعی شامل کانی‌های کدر، آپاتیت و زیرکن است (شکل ۴) [۱۰]. شرح

Feldspar triangle (O'Connor 1965)



شکل ۳ تقسیم‌بندی سنگ‌های نفوذی منطقه با توجه به میزان آلبیت، آنورتیت و ارتوز موجود در نور آنها (▲ تونالیت، ■ گرانودیوریت).



شکل ۴ (الف) آمفیبول‌های شکلدار و نیمه شکلدار، همراه با پلازیوکلازها در یک زمینه‌ی با بافت پورفیری میان دانه‌ای در سنگ‌های تونالیتی (XPL)، (ب) حاشیه‌های انحلالی (ابری) در پلازیوکلازها در ساختار منطقه‌بندی شده در یک زمینه با بافت پورفیری ریز دانه در سنگ‌های تونالیتی (XPL)، (پ) تبدیل آمفیبول به بیوتیت و رشد بعدی بیوتیت در سنگ‌های گرانودیوریتی (PPL)، (ت) بیوتیت آپاتیت‌دار، آمفیبول سوزنی و شکلدار، همراه با پلازیوکلازهای دارای منطقه‌بندی و حاشیه ابری و فلدسپات‌های میکروولیتی قلیابی در یک زمینه با بافت پورفیری میان دانه‌ای در سنگ‌های گرانودیوریتی (XPL)، (Am)=آمفیبول، (Pl)=پلازیوکلاز، (Bi)=بیوتیت، (M)=زمینه و (Op)=کدر [۱۰].

افزایش می‌یابد (منطقه‌بندی وارون) و سپس با افزایش ناگهانی اکسید کلسیم روپرو هستیم (معکوس) و در حاشیه بلور اکسید کلسیم یک کاهش ناگهانی دارد (منطقه‌بندی نوسانی)، در بقیه‌ی بلورها نیز (۵۴ و ۷۳ و ...) تغییرات ترکیبی از مرکز به حاشیه‌ی بلور منظم نیست و ساختار منطقه‌بندی عادی، وارون و نوسانی در آن‌ها مشاهده می‌شود (جدول ۱). ساختار منطقه-بندی با منطقه‌بندی عادی، وارون، نوسانی و حاشیه‌ی ابری یا انحلالی در پلازیوکلازها می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله: تغییرات در ترکیب و مقدار مواد فرار و فشار بخار آب [۱۱]، تغییر ترکیب شیمیایی ماقما [۱۲]، تغییر سرعت انتشار ترکیبات سازنده‌ی کانی نسبت به سطح بلور [۱۳]، تغییر شرایط فیزیکی و ترمودینامیکی سیستم ماقمایی و در نتیجه عدم وجود شرایط تعادلی در خلال تبلور ماقما [۱۴] و تغییر شرایط دینامیکی مانند اختلاط ماقمایی [۱۵] باشد.

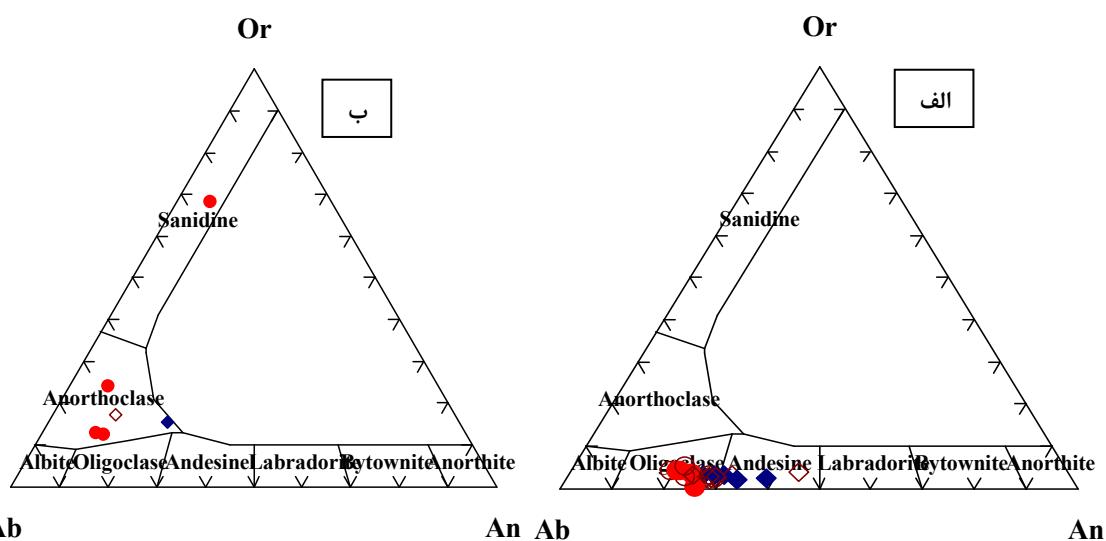
نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای برخی از پلازیوکلازهای درشت بلور و منطقه‌بندی شده و مقدار کاتیون‌های آنها پس از محاسبه بر اساس فرمول ساختاری ۸ اکسیژن در جدول ۱ آمده است. نوع و تغییرات ترکیبی پلازیوکلازهای درشت بلور نیز در شکل ۵ دیده می‌شود و در گستره‌ی ترکیبی الیکوکلاز- آندزین ($An = 21-44$) قرار دارند. روندهای تغییرات اکسیدهای سدیم و کلسیم نشانگر تغییرات منظم و جدایشی ساده از مرکز پلازیوکلازهای منطقه‌بندی شده به سمت حاشیه آنها نیست بلکه پراکندگی و وارونگی در آن‌ها دیده می‌شود (جدول ۱). مثلاً در بلور شماره ۲۰، از مرکز به حاشیه، نخست اکسید کلسیم کاهش می‌یابد (منطقه‌بندی عادی) و در حاشیه بلور اکسید کلسیم اندکی کاهش یافته است (شکل ۶). در بلور شماره ۷۰ نیز میزان اکسید کلسیم از مرکز به حاشیه، نخست

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی شیمیایی کاتیون‌ها و ترکیب کانی شناسی برخی از پلازیوکلازهای زونه درشت‌بلور و نتایج اعصاری نهایی فلدسپات‌های پتاSSI.

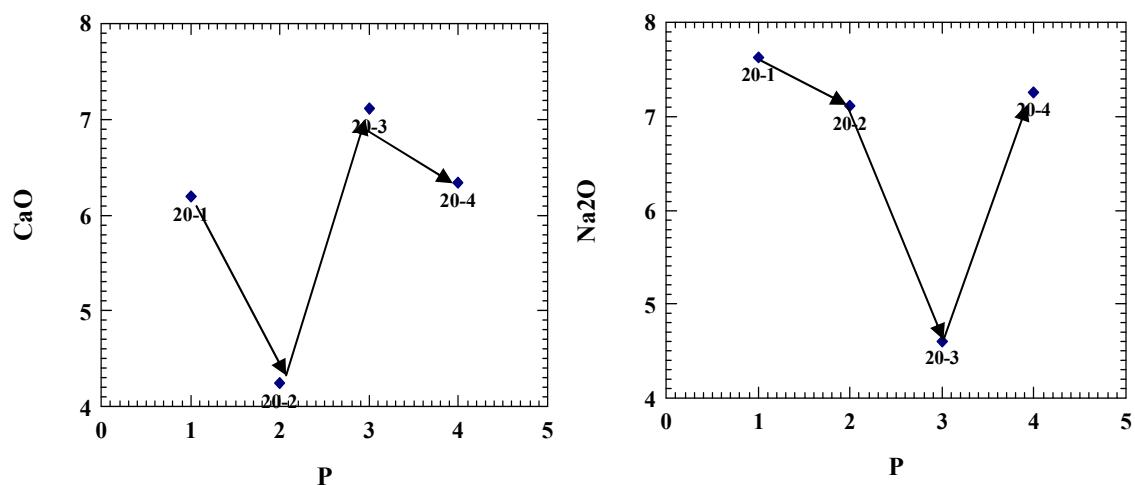
Point	20-1 مرکز بلور	20-2 نقطه ۲	20-3 نقطه ۳	20-4 حاشیه	70-1 مرکز بلور	70-2 نقطه ۲	70-3 نقطه ۳	70-4 حاشیه	73-1 مرکز بلور	73-2 نقطه ۲	73-3 حاشیه
SiO ₂	۶۱,۳۱	۶۴,۲۰	۶۳,۱۵	۶۰,۲۴	۶۲,۹۶	۶۲,۷۰	۶۱,۵۸	۶۲,۲۷	۶۰,۸۳	۶۰,۴۸	۶۱,۳۷
TiO ₂	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۲
Al ₂ O ₃	۲۳,۶۰	۲۲,۷۵	۲۴,۲۳	۲۵,۰۱	۲۳,۰۵	۲۳,۱۷	۲۴,۳۳	۲۲,۷۷	۲۴,۴۹	۲۴,۸۴	۲۴,۳۶
FeO*	۰,۲۳	۰,۱۷	۰,۱۶	۰,۳۶	۰,۱۶	۰,۱۶	۰,۱۷	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۲۴
CaO	۶,۲۰	۴,۲۴	۷,۱۱	۶,۳۴	۴,۵۶	۴,۶۴	۶,۰۹	۴,۶۱	۶,۳۶	۶,۴۵	۶,۰۹
Na ₂ O	۷,۶۲	۷,۱۱	۴,۶۰	۷,۲۶	۹,۲۸	۹,۱۲	۸,۵۵	۸,۷۱	۸,۵۵	۸,۵۲	۸,۵۳
K ₂ O	۰,۵۴	۰,۵۴	۰,۴۹	۰,۵۵	۰,۸۴	۰,۷۶	۰,۶۱	۰,۹۳	۰,۶۲	۰,۵۳	۰,۵۰
Total	۹۹,۵۹	۹۹,۰۲	۹۹,۷۷	۹۹,۷۹	۹۹,۸۵	۹۹,۵۵	۹۹,۳۵	۹۹,۴۴	۹۸,۹۹	۹۸,۹۵	۱۰۰
Si4+	۲,۷۴۰	۲,۸۱۷	۲,۷۸۰	۲,۶۸۹	۲,۷۷۹	۲,۷۷۴	۲,۷۱۴	۲,۷۸۵	۲,۶۹۵	۲,۶۸۱	۲,۷۱۰
Al3+	۱,۲۴۳	۱,۲۲۸	۱,۲۵۷	۱,۳۱۶	۱,۱۹۹	۱,۲۰۸	۱,۲۶۴	۱,۲۰	۱,۲۷۹	۱,۲۹۸	۱,۲۶۸
Fe2+	۰,۰۰۹	۰,۰۰۶	۰,۰۰۶	۰,۰۱۳	۰,۰۰۶	۰,۰۰۶	۰,۰۰۶	۰,۰۰۵	۰,۰۰۵	۰,۰۰۴	۰,۰۰۹
Ca2+	۰,۲۹۷	۰,۱۹۹	۰,۳۳۵	۰,۳۰۳	۰,۲۱۶	۰,۲۲۰	۰,۲۸۸	۰,۲۲۱	۰,۳۰۲	۰,۳۰۶	۰,۲۸۸
Na+	۰,۶۶۰	۰,۶۰۵	۰,۳۹۳	۰,۶۲۸	۰,۷۹۴	۰,۷۸۲	۰,۷۳۰	۰,۷۵۵	۰,۷۴۳	۰,۷۳۲	۰,۷۳۰
K+	۰,۰۳۱	۰,۰۳۰	۰,۰۲۸	۰,۰۳۱	۰,۰۴۷	۰,۰۴۳	۰,۰۳۴	۰,۰۵۳	۰,۰۳۵	۰,۰۳۰	۰,۰۲۸
Total	۴,۹۸۴	۴,۸۸۹	۴,۸۰۱	۴,۹۸۳	۵,۰۴۲	۵,۰۳۴	۵,۰۳۶	۵,۰۱۹	۵,۰۵۰	۵,۰۵۱	۵,۰۳۴
Formula	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)	۳۲(O)
Ab	۶۶,۸۳	۷۲,۴۹	۵۱,۹۷	۶۵,۲۶	۷۵,۱۳	۷۴,۸۵	۶۹,۴۲	۷۳,۳۸	۶۸,۵۵	۶۸,۵۳	۶۹,۷۸
An	۳۰,۰۵	۲۲,۸۹	۴۴,۳۹	۳۱,۴۹	۲۰,۴۰	۲۱,۰۴	۲۷,۳۲	۲۱,۴۶	۲۸,۱۸	۲۸,۶۷	۲۷,۵۳
Or	۳,۱۲	۳,۶۲	۳,۶۴	۳,۲۵	۴,۴۷	۴,۱۰	۳,۲۶	۵,۱۶	۳,۲۷	۲,۸۰	۲,۶۹

نتایج تجزیه اعصاری نهایی فلدسپات‌های پتاSSI موجود در زمینه سنگ‌های تونالیتی و گرانودیوریتی

Point	6	19	25	29	58-1	58-2	74-2				
Ab	۶۷,۹۶	۷۵,۸۹	۲۶,۵۶	۷۴,۶۱	۶۰,۱۴	۷۳,۳۲	۶۹,۹۷				
An	۸,۰۹	۱۱,۰۵	۰,۰۷	۱۲,۹۱	۲۴,۰۴	۱۵,۷۸	۱۲,۹۱				
Or	۲۳,۹۵	۱۳,۰۶	۷۳,۳۷	۱۲,۴۸	۱۵,۳۳	۱۰,۹۰	۱۷,۱۲				



شکل ۵ الف) نوع و تغییرات ترکیبی پلازیوکلازهای، منطقه‌بندی درشت بلور، ● مرکز و ○ حاشیه نوع الیگوکلاز، ◆ مرکز و ▲ حاشیه نوع آندزینی، ب) ترکیب فلدسپات‌های آلکالن که اغلب از نوع آنورتوуз و کمتر سانیدین است.



شکل ۶ تغییرات اکسیدهای پلازیوکلاز زونه شماره ۲۰، نقاط ۱ تا ۴ به ترتیب مرکز تا حاشیه پلازیوکلاز را نشان می‌دهد.

دیده می‌شود و دو نسل از پلازیوکلازها یکی با حاشیه‌های انحلال یافته و دیگری بدون حاشیه‌های انحلالی در این سنگ‌ها متبلور شده است (شکل ۴). منطقه‌بندی عادی معکوس و نوسانی پلازیوکلازها نیز با توجه به بررسی‌های سنگ نگاری سنگ‌های منطقه می‌تواند به دلیل افزایش فشار مواد فرار باشد [۱۱]. افزایش فشار مواد فرار می‌تواند ناشی از جایگزینی توده‌های اخیر در مخازن پوسته‌ای عمیق و سطحی باشد. در این حالت افزایش فشار مواد فرار باعث جابجایی منحنی‌های سیلان و انجماد می‌شود که حتی ممکن است باعث انحلال قشرهای سدی زیرین و یا حداقل تشکیل لایه‌های غنی از کلسیت در اطراف هسته‌های سدی شود [۱۸، ۱۷، ۱۱].

از آنجا که قشرهای ابری انحلال یافته در پلازیوکلازهای این سنگ‌های نفوذی فراوان دیده می‌شوند لذا تغییرات در ترکیب و مقدار مواد فرار و فشار بخار آب [۱۱] یک دلیل منطقی برای تشکیل قشرهای کلسیک اطراف مراکز سدی تر است. کاهش فشار سبب ازدیاد و خروج سریع بخارها و منفی شدن شب منحنی‌های انجماد و خط سیلان در پلازیوکلازها می‌شود، در این حالت شرایط برای تبلور قشرهای غنی از آنورتیت فراهم می‌شود و قشرهای سدی تر در معرض انحلال قرار می‌گیرند [۱۸، ۱۷]. در شرایط جدید (افزایش فشار مواد فرار)، نسل جدیدی از پلازیوکلازها در سنگ تشکیل خواهد شد که این پدیده نیز در تمامی سنگ‌های تونالیتی-گرانوڈیوریتی

۱۰ درصد سنگ‌اند. این کانی به دو صورت بلورهای درشت اولیه و ریز بلور در زمینه‌ی سنگ دیده شدند و اغلب از نوع اولیه و بدون آثار تجزیه هستند. اندازه‌ی آن‌ها بین ۰,۵ تا ۲ میلیمتر است. در برخی مقاطع به صورت ادخال در درشت بلورهای پلازیوکلاز قرار دارند که حاکی از تبلور مقدم آنها و بالا بودن فشار مواد فرار در مخازن ماقمایی است (شکل ۴).

آمفیبول‌ها بدون ساختار منطقه‌بندی بوده و ترکیب شیمیایی مرکز و حاشیه آن‌ها یکی است. نتایج تجزیه‌ی شیمیایی نقطه‌ای آمفیبول‌ها و کاتیون‌های آن‌ها پس از محاسبه بر اساس فرمول ساختاری ۲۳ اکسیژن در جدول ۲ آمده است. نسبت $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ در کانی‌های آمفیبول با استفاده از روش [۱۹] محاسبه شده است. # آمفیبول‌ها بین ۰,۷ تا ۰,۹۳۸ و آن‌ها بین ۰,۷۴ تا ۰,۲۰۲ درصد متغیر است (جدول ۲). آمفیبول‌های هر دو دسته سنگ‌های تونالیتی و گرانوپوریتی از نوع کلسیک بوده و به دو دسته مگنزیوپورنبلند و شرمکتی تقسیم می‌شوند (شکل‌های ۷ و ۸).

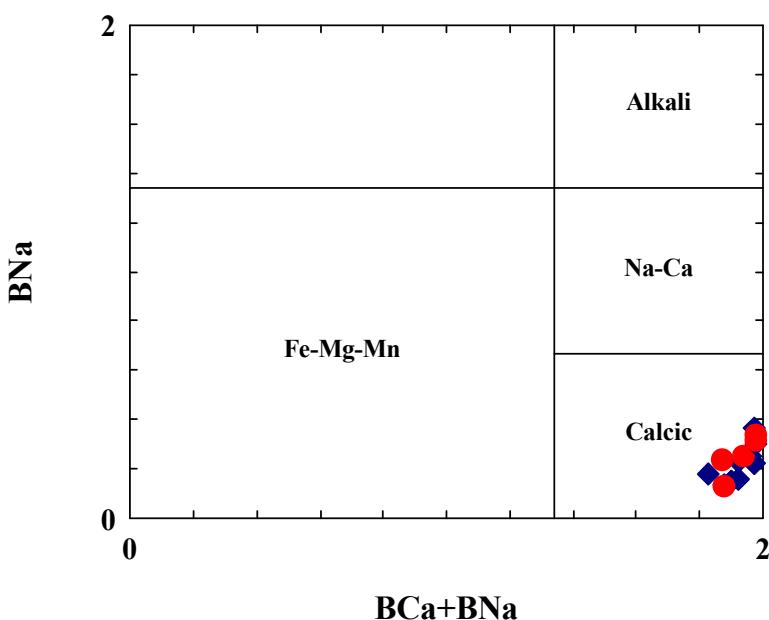
فلدسبات‌های پتاسیم سنگ‌های تونالیتی-گرانوپوریتی منطقه اغلب به صورت ریزبلور و سوزنی و حداقل در اندازه‌های کمتر از ۱ میلیمتر در سنگ حضور دارند (شکل ۴). میزان فلدسبات پتاسیم در سنگ‌های تونالیتی حدود ۱۰ درصد است در صورتیکه در سنگ‌های گرانوپوریتی به ۲۵ درصد می‌رسد و دومین کانی فراوان سنگ محسوب می‌شود. خلاصه‌ای از تجزیه فلدسبات‌های پتاسیم در انتهای جدول تجزیه پلازیوکلازها آورده شده است. میزان ارتوز در این کانی‌ها بین ۱۰ تا ۷۵ درصد است. این فلدسبات‌ها بیشتر از نوع آنورتوز و کمتر از نوع سانیدین هستند (شکل ۵-ب).

آمفیبول‌ها

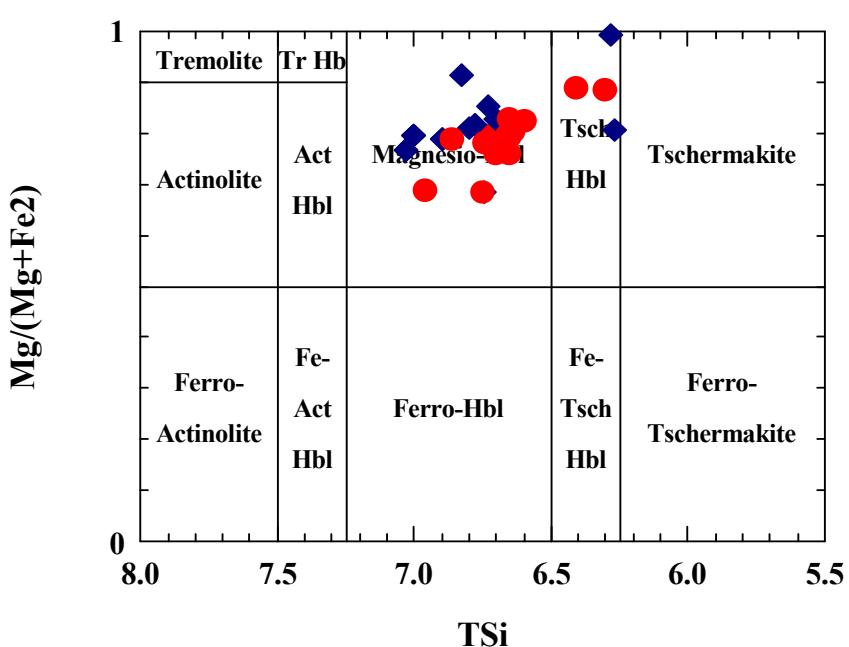
آمفیبول‌ها به رنگ سبز تا سبز متمایل به قهوه‌ای فراوانترین کانی فرومیزین سنگ‌های نفوذی هستند. در سنگ‌های تونالیتی بعد از پلازیوکلاز فراوانترین کانی تشکیل دهنده‌ی سنگ‌اند، ولی در سنگ‌های گرانوپوریتی فراوانی آن‌ها کمتر از

جدول ۲ کانی شیمی برخی از آمفیبول‌های سنگ‌های نفوذی تونالیتی-گرانوپوریتی شمال غرب شهریابک.

Amp-Mineral	A-39	A-33	A-28	A-27	A-24	A-71	70-C	70-B	70-A	A-73
SiO ₂	۴۹,۷۰	۴۸,۳۹	۴۶,۰۲	۴۸,۲۲	۴۴,۷۳	۴۶,۵۰	۴۷,۲۰	۴۸,۵۰	۴۷,۱۰	۴۷,۹۰
TiO ₂	۰,۸۶	۱,۰۸	۰,۸۶	۰,۸۹	۱,۷۳	۱,۹۷	۱,۹۸	۱,۲۰	۲,۰۲	۰,۱۹۸
Al ₂ O ₃	۵,۵۹	۶,۶۴	۷,۰۶	۷,۱۸	۹,۰۸	۹,۴۰	۷,۹۰	۹,۳۰	۹,۸۰	۷,۸۰
FeO*	۱۴,۲۰	۱۲,۱۵	۱۴,۳۹	۱۴,۴۲	۱۴,۵۰	۱۲,۵۰	۱۳,۱۰	۱۲,۱۰	۱۲,۳۰	۱۳,۱۰
MnO	۰,۶۴	۰,۴۹	۰,۵۰	۰,۵۵	۰,۴۳	۰,۱۴	۰,۱۷	۰,۲۲	۰,۱۹	۰,۱۲
MgO	۱۴,۶۷	۱۷,۰۹	۱۴,۶۳	۱۳,۵۲	۱۴,۶۸	۱۵,۱۰	۱۴,۲۰	۱۳,۲۰	۱۲,۱۰	۱۴,۱۰
CaO	۱۲,۲۰	۱۰,۶۰	۱۱,۳۵	۱۱,۴۲	۱۲,۰۶	۱۱,۱۰	۱۲,۳۰	۱۱,۵۰	۱۲,۵۰	۱۱,۷۰
Na ₂ O	۱,۲۶	۱,۹۱	۲,۰۸	۱,۴۴	۲,۲۵	۱,۶۵	۱,۷۵	۱,۷۸	۱,۴۰	۱,۹۲
K ₂ O	۰,۴۳	۰,۳۲	۰,۶۲	۰,۶۶	۰,۵۶	۰,۵۳	۰,۵۲	۰,۵۱	۰,۵۷	۰,۴۶
Total	۹۷,۵۵	۹۸,۷۳	۹۷,۵۱	۹۸,۳۱	۹۸,۰۲	۹۸,۷۲	۹۹,۰۴	۹۸,۳۱	۹۸,۹۸	۹۹,۰۹
Formula	۲۲(O)	۲۳(O)								
Si	۷,۱۰۰	۶,۸۲۹	۶,۶۳۲	۶,۹۷۸	۶,۲۷۶	۶,۶۰۰	۶,۷۲۵	۶,۹۶۱	۶,۷۴۳	۶,۷۸۱
Al	۰,۹۴۱	۱,۱۰۴	۱,۱۹۹	۱,۲۲۵	۱,۵۰۲	۱,۵۷۲	۱,۳۲۷	۱,۵۷۳	۱,۶۵۳	۱,۳۰۱
Ti	۰,۰۹۲	۰,۱۱۵	۰,۰۹۳	۰,۰۹۷	۰,۱۸۳	۰,۱۹۲	۰,۲۰۴	۰,۱۳۰	۰,۲۱۷	۰,۲۱۲
Fe ³⁺	۰,۴۶۸	۰,۹۲۸	۱,۴۲۷	۰,۴۹۷	۱,۶۷۴	۰,۷۹۸	۰,۷۷۵	۰,۱۸۵	۰,۲۸۹	۰,۱۸۴
Mg	۳,۱۲۴	۳,۵۹۶	۳,۱۴۳	۲,۹۱۷	۳,۰۷۱	۳,۱۹۵	۳,۰۱۶	۲,۸۲۴	۲,۷۹۶	۲,۹۷۶
Fe ²⁺	۱,۲۴۹	۰,۵۰۶	۰,۳۰۷	۱,۲۴۸	۰,۰۲۸	۰,۶۸۶	۰,۷۸۶	۱,۲۶۸	۰,۱۸۳	۰,۶۶۷
Mn	۰,۰۷۷	۰,۰۵۹	۰,۰۶۱	۰,۰۶۷	۰,۰۵۱	۰,۰۱۷	۰,۰۲۱	۰,۰۲۷	۰,۰۲۳	۰,۰۱۴
Ca	۱,۸۶۷	۱,۶۰۳	۱,۷۵۲	۱,۷۷۱	۱,۸۱۳	۱,۶۸۸	۱,۸۷۸	۱,۷۶۹	۱,۹۱۷	۱,۷۷۵
Na	۰,۳۴۹	۰,۵۲۳	۰,۵۸۱	۰,۴۰۴	۰,۶۱۲	۰,۴۵۴	۰,۴۸۳	۰,۴۹۵	۰,۳۸۹	۰,۵۲۷
K	۰,۰۷۸	۰,۰۵۸	۰,۱۱۴	۰,۱۲۲	۰,۱۰۰	۰,۰۹۶	۰,۰۹۵	۰,۰۹۳	۰,۱۰۴	۰,۱۸۳
Total	۱۵,۳۲	۱۵,۳۲	۱۵,۳۱	۱۵,۳۲	۱۵,۳۱	۱۵,۲۹	۱۵,۳۰	۱۵,۳۲	۱۵,۳۱	۱۵,۲۲
Mg(Mg+Fe ²⁺)	۰,۷۱۴	۰,۸۷۶	۰,۹۱۱	۰,۷۰	۰,۹۹	۰,۸۲۳	۰,۷۹۳	۰,۶۹۰	۰,۹۳۸	۰,۸۱۶
FeOTotal/(FeOTotal + MgO)	۰,۳۵	۰,۲۸	۰,۳۵	۰,۳۷	۰,۳۵	۰,۳۲	۰,۳۴	۰,۳۴	۰,۱۴	۰,۳۴



شکل ۷ تقسیم‌بندی آمفیبول‌ها، در این نمودار آمفیبول‌های سنگ‌های (♦) تونالیتی و (●) گرانودیوریتی در محدوده کلسیک قرار می‌گیرند. [۲۰].



شکل ۸ نمودار تقسیم‌بندی آمفیبول‌ها، در این نمودار آمفیبول‌های سنگ‌های نفوذی منطقه اغلب در محدوده مگنزیو-هورنبلند و کمتر در گستره‌ی شرماکیتی قرار گرفته‌اند [۲۰].

بوده و با کانی‌های کدر همراهند و نیز گاهی به صورت ریزبلور در زمینه‌ی ریز بلور سنگ حضور دارد (شکل ۴). $Mg\#$ بیوتیت‌ها بین ۰,۶۸ تا ۰,۵۶ و TiO_2 آن‌ها بین ۳,۰۱ تا ۴,۴۸ درصد متغیر است و در گستره‌ی بیوتیت‌های معمولی قرار می‌گیرند.

بیوتیت‌ها
بیوتیت‌ها پس از آمفیبول‌ها فراوانترین کانی فرومیزین این سنگ‌های نفوذی محسوب می‌شود. عموماً به صورت درشت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل اولیه وجود دارد، و گاهی نیز از تبدیل آمفیبول‌ها حاصل شده‌اند که در این صورت بی‌شکل

تبديل شده‌اند و بیوتیت‌ها نیز متبلور شده‌اند. در آخرین مرحله‌ی انجامداد که ماقما به افق‌های بالاتر رسیده است ریزبلورها و متن سنگ متبلور شده است. در این مرحله پلازیوکلازهای سدی، کوارتز، فلنسپات‌های پتابسیم و کانی‌های فرومیزین به صورت ریزبلورهایی فضای بین بلورهای درشت را پر کرده‌اند (شکل ۳).

زمین دما-فشار سنگی

یکی از روش‌های زمین دما-فشارسنگی استفاده از زوج کانی‌های پلازیوکلاز و هورنبلند است [۲۳، ۲۲]. در این روش زوج کانی‌های پلازیوکلاز و آمفیبیول باید درشت‌بلور، همزیست و دارای محل تماس (برخوردگاه) صاف و مشخص باشند و تجزیه‌ی نقطه‌ای این بلورها دقیقاً از محل تماس این دو کانی انجام شود و یا اینکه تجزیه از بلور پلازیوکلازی صورت گیرد که به صورت ادخال در داخل بلور آمفیبیول قرار گرفته باشد [۲۲-۲۳]. چون در همهٔ نمونه‌ها زوج کانی آمفیبیول-پلازیوکلاز سازگار با روش فوق وجود نداشت و هنوز تردیدهایی در این روش وجود دارد، لذا از ترکیب آمفیبیول برای فشار و دماستجی استفاده شد.

آمفیبیول‌ها سیلیکات‌های با زنجیره‌ی مضاعف دارای ترکیب شیمیایی و ساختار کانی‌شناسی متنوعی هستند [۲۴]. تنوع ترکیب شیمیایی و ساختاری آن‌ها باعث می‌شود که در گستره‌ی وسیعی از سنگ‌ها با شرایط مختلف دما و فشار تشکیل شوند. آمفیبیول‌ها در تمامی سنگ‌های آذرین فلزیک، حدواسط، مافیک و در گستره‌ی وسیعی از دما (1150°C - 400 و فشار $1\text{-}23\text{ Kbar}$) حضور دارند [۲۲]. مقدار Ti, Ca , Na و Al موجود در ترکیب آمفیبیول تابع فشار، دما و فشار بخشی اکسیژن است. از طرفی میزان کاتیون‌هایی مانند Ti, Al در موقعیت چهار وجهی به دما نیز حساس است و افزایش دما سبب افزایش مقدار Ti و افزایش میزان Al در موقعیت چهار وجهی می‌شود [۲۴]. میزان Al^{VI} (موقعیت هشت وجهی) با افزایش فشار زیاد می‌شود و به میزان Al ماقما بستگی ندارد. مقدار آلومینیوم در دو موقعیت فوق (چهار و هشت وجهی) با استفاده از تجزیه نقطه‌ای قابل محاسبه است [۲۵].

برای محاسبه‌ی فشار و دما با استفاده از ترکیب آمفیبیول،

یکی از نکات قابل توجه در سنگ‌های نفوذی یاد شده تبدیل آمفیبیول به بیوتیت است. به طور کلی کاهش فشار کل نسبت به فشار بخار آب همراه با افت دما در این توده‌ها سبب واکنش آمفیبیول و تشکیل بیوتیت همراه با کدری شده است. از طرف دیگر نفوذ ماقماهای جدید به اتفاق ماقماهای می‌تواند باعث ازدیاد دما و تشدید واکنش اخیر شود که نتیجه‌ی آن افزایش میزان آب، گریزندگی اکسیژن و امتزاج ناپذیری بیشتر است. در این شرایط کانی‌های مگنتیت و بیوتیت در اطراف آمفیبیول تبلور می‌یابند و با کاهش دما میدان پایداری بیوتیت نسبت به آمفیبیول افزایش می‌یابد. این فرایندهای ناتعادلی سبب تبدیل آمفیبیول به بیوتیت خواهد شد [۲۱، ۲۰] (شکل ۴). کوارتز: به صورت بی‌شکل و ریزبلور بین کانی‌های زمینه را پر کرده است و نشان از تبلور آن در آخرین مرحله است. با توجه به نتایج حاصل از هنجاری سنگ‌های نفوذی، میزان کوارتز در سنگ‌های تونالیتی کمتر از 10 درصد است اما در سنگ‌های گرانوئدیوریتی به 25 درصد نیز می‌رسد [۹].

کانی‌های فرعی: معمولترین کانی‌های فرعی در تونالیت‌ها و گرانوئدیوریت‌های بررسی شده آپاتیت، زیرکن و کدر (اکسیدهای آهن، تیتانیوم) است که اغلب به صورت دربرداری‌هایی در کانی‌های درشت بلور (پلازیوکلاز، آمفیبیول و بیوتیت) و یا به صورت دانه‌های ریزی در اطراف آمفیبیول‌ها و بیوتیتها و یا در متن سنگ پراکنده هستند (شکل ۴). تجزیه نقطه‌ای برخی از کانی‌های کدر اطراف بیوتیتها و آمفیبیول‌ها نشان داد که از نوع اکسیدهای آهن (غالباً مگنتیت) و تیتانیوم هستند که از تجزیه آمفیبیول‌ها و بیوتیتها حاصل شده‌اند.

بررسی‌های حاصل از سنگنگاری توده‌های تونالیتی-گرانوئدیوریتی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در سه مرحله متبلور شده‌اند. در مرحله‌ی اول آمفیبیول‌ها و پلازیوکلازهای اولیه شکل گرفته‌اند در مرحله دوم و صعود ماقما به افق‌های بالاتر، کاهش فشار کل باعث افزایش فشار مواد فرار در مخزن ماقماهی شده است. در این حالت منحنی‌های انجاماد و آبگونی کمی جابه‌جا شده و پلازیوکلازهای اولیه نیز کمی انحلال یافته و یک حاشیه‌ی ابری در اطراف آن‌ها تشکیل شده است و نسل دوم پلازیوکلازهای بدون حاشیه ابری نیز در همین مرحله متبلور شده‌اند. در این مرحله برخی از آمفیبیول‌ها نیز به بیوتیت

های فوق بین ۸/۳ تا ۲۳ کیلومتر است [۳۰-۳۲] (جدول ۳). گستره نسبتاً وسیع فشار تشکیل آمفیبیول و به پیروی از آن عمق تأییدی بر تشکیل مجموعه کانی‌شناسی سنگ‌های نفوذی فوق در مراحل مختلف عمیق و سطحی پوسته است که با بررسی‌های سنگ‌نگاری سازگاری دارد. بیشترین فشار و عمق محاسبه شده به هورنبلندهای سبز موجود در سنگ‌های تونالیتی توده‌های نفوذی وابسته است که نشان از تبلور مقدم این سنگ‌ها دارد (جدول ۳).

برای محاسبه دمای تشکیل نمونه‌ها با توجه به فرمول استفاده شده برای فشار، از رابطه‌ی زیر استفاده شد [۲۹]،

$$T = 25.3P + 654.9 \quad [۲۹]$$

در رابطه‌ی بالا فشار بر حسب کیلوبار و دما بر حسب درجه سانتیگراد بدست می‌آید. بر اساس این فرمول دمای محاسبه شده برای تشکیل آمفیبیول‌های سنگ‌های تونالیتی- گرانودیوریتی منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی ۷۰۷ تا ۷۹۳ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد (جدول ۳). ارقام محاسبه شده نشان می‌دهند که بالاترین دمایا مربوط به تشکیل هورنبلندهای سبز سنگ‌های تونالیتی و دمایا پایین‌تر مربوط به هورنبلندهای سبز سنگ‌های گرانودیوریتی است که نشان از تبلور مقدم سنگ‌های تونالیتی در توده‌های نفوذی بررسی شده است (جدول ۳).

از طرف دیگر داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های نفوذی الیکو-میوسن شمال‌غرب شهر بابک نشان داده است که این سنگ‌ها دارای گرایش آهکی- قلیابی هستند. دیگر مشخصات ژئوشیمیایی این توده‌ها از جمله الگوی عناصر کمیاب نمونه‌ها نشان می‌دهد که از LILE(TH, Ba, Rb, Pb, Sr, K) غنی و HFSE(Ta, Nb, Ti) Yb, Y, Hf, Zr تهی شده‌اند [۹]. از بی‌هنجاری منفی Zr و Nb نشانگر وابستگی ماقمای تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها به زون فروزانش است. همچنین HREE نمونه‌های توده‌های نفوذی از LREE غنی‌شدگی و از Eu بشدت فقیر شده‌اند و بدون بیهنجاری منفی HREE هستند [۹]. این سنگ‌ها در یک محیط با حاشیه‌ی فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند و حاصل از فروزانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس به زیر ایران مرکزی هستند که تا نهودن ادامه یافته است [۳۳] و در یک حاشیه‌ی فعال قاره‌ای شکل گرفته‌اند [۶-۵].

نمونه‌ها باید دارای مشخصات زیر باشند:

- نمونه‌ها دارای مجموعه‌ای همزیست از کانی‌های کوارتز، فلدسپات پتاسیم، پلازیوکلаз، هورنبلند، بیوتیت، مانیتیت و ایلمنیت باشند [۲۶]، که با توجه به بررسی‌های سنگ‌نگاری این تشکیل دوگانه در نمونه‌های منطقه وجود دارد (شکل ۳).

- از آمفیبیول‌های دارای ترکیب اکتینولیتی باید چشم پوشی کرد [۲۷]، که با توجه به ترکیب شیمیایی آمفیبیول‌ها و نمودار آن‌ها ترکیب اکتینولیتی در نمونه‌های تجزیه شده مشاهده نشد.

- آمفیبیول‌ها باید قادر منطقه‌بندی و بدون دگرسانی باشند [۲۷-۲۵]، با توجه به بررسی‌های سنگ‌نگاری منطقه‌بندی در آmfibiol‌های سنگ‌های نفوذی مشاهده نمی‌شود.

- فشار بخشی اکسیژن بالا بوده و رابطه‌ی $\text{Fe}_{\text{Total}}/\text{Mg} < 0.6$ در آmfibiol‌ها صدق کند [۲۵] که در سنگ‌های منطقه کمتر از ۰.۳۵ است (جدول ۲) و در فرمول ساختاری آmfibiol باید تعداد کاتیون‌های آن $\text{Si} \leq 7.5$ و $\text{Ca} \geq 1.5$ باشد [۲۴] که با توجه به نتایج تجزیه آmfibiol‌ها این شرایط برای نمونه‌های بررسی شده وجود دارد (جدول ۲).

زمین فشارسنگی و زمین دماسنگی بر اساس مقدار آلومینیوم نتایج آزمایش‌ها نشان داده‌اند که ترکیب آmfibiol علاوه بر فشار، به دما، فشار بخشی اکسیژن، ترکیب کل سنگ و تشکیل دوگانه کانی‌ها بستگی دارد [۲۷، ۲۵، ۲۴]. با توجه به عوامل فوق و به خصوص مقدار Al کل در آmfibiol، تاکنون فرمول‌های زیادی برای محاسبه‌ی فشار ارائه شده است که مناسب‌ترین آن‌ها رابطه‌ی زیر است:

$$P[\pm 0.6] = -3.01 + 4.76(\text{Al}_{\text{total}}) \quad [۲۸]$$

در این فرمول P، فشار بر حسب کیلوبار و Al، میزان آلومینیوم کل در ترکیب آmfibiol است. فرمول فوق بالاترین مقدار فشار را نشان می‌دهد [۲۹، ۲۸]. فراوانی مانیتیت و ایلمنیت نشانگر بالا بودن فشار بخشی اکسیژن است و آmfibiol‌هایی که در شرایط فشار بخشی اکسیژن بالا متبلور شده‌اند نتایج مطمئن‌تری را برای زمین دما- فشارسنگی نشان می‌دهند [۲۵، ۲۴].

بر اساس فرمول بالا فشار محاسبه شده برای تشکیل آmfibiol‌های سنگ‌های تونالیتی- گرانودیوریتی بین ۲۰۶۹ تا ۵۴۸۵ کیلوبار است [۲۸]، عمق محاسبه شده برای آmfibiol

جدول ۳ فشار و دمای محاسبه شده برای آمفیبیول‌های موجود در سنگ‌های تونالیتی-گرانوودیوریتی [۲۷]

شماره نمونه	نقاط تجزیه شده	نوع سنگ	فشار (Kbar) برپایه [۲۶]	دما (°C) برپایه [۲۵]
A-۳۹	آمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۲,۰۶۹	۷۰۷,۲
A-۳۳	آمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۲,۸۴۵	۷۲۶,۸
A-۲۷	مرکزآمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۳,۴۲۱	۷۴۱,۴
A-۲۸	حاشیه آمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۳,۲۹۷	۷۳۸,۳
A-۲۴	آمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۴,۷۳۹	۷۷۴,۸
A-۱۸	آمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۲,۴۰۷	۷۱۵,۸
A-۱۶	آمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۳,۱۵۴	۷۳۴,۷
A-۱۵	مرکزآمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۲,۴۸۳	۷۱۷,۷
A-۱۴	حاشیه آمفیبیول سبز	گرانوودیوریت	۲,۴۲۰	۷۱۶,۱
A-۷۱	آمفیبیول سبز	تونالیت	۵,۰۷۲	۷۸۲,۳
A-۷۲	آمفیبیول سبز	تونالیت	۳,۲۶۳	۷۳۷,۴
A-۷۳	آمفیبیول سبز	تونالیت	۳,۷۸۲	۷۵۰,۶
۷۰-A	مرکزآمفیبیول سبز	تونالیت	۵,۴۵۸	۷۹۲,۹
۷۰-B	حاشیه آمفیبیول سبز	تونالیت	۵,۰۷	۷۸۳,۳
۷۰-C	آمفیبیول سبز	تونالیت	۳,۹۰	۷۵۳,۷
M-۴۶	مرکزآمفیبیول سبز	تونالیت	۳,۱۲	۷۳۳,۸
M-۴۹	حاشیه آمفیبیول سبز	تونالیت	۲,۹۰	۷۲۸,۳
M-۵۰	آمفیبیول سبز	تونالیت	۱,۸۲۰	۷۰۱,۱

برداشت

نتایج حاصل از پژوهش روی سنگ‌های نفوذی اسیدی الیگو-میوسن جنوب شرق کمربند ماقمایی ارومیه-بزمان در شمال غرب شهربابک را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- توده‌های نفوذی از نوع تونالیتی-گرانوودیوریتی با بافت غالباً گرانوپورفیری هستند. درشت بلورها شامل پلازیوکلاز، آمفیبیول و بیوتیت است. پلازیوکلازها دارای ساختار منطقه‌بندی بهنجار، وارون و نوسانی هستند و در گستره‌ی ترکیبی الیگوکلاز-

با توجه به دما و فشارهای محاسبه شده برای تبلور آمفیبیول-های موجود در سنگ‌های نفوذی بررسی شده و مشخصات ژئوشیمیایی این سنگ‌ها می‌توان گفت که ماقمای مادر سنگ-های نفوذی در عمق بیش از ۲۰ کیلومتری اولین مرحله تبلور را پشت سر گذاشته است. با نفوذ ماقمای به افق‌های بالاتر و اعمق کمتر مراحل بعدی تبلور (انحلال پلازیوکلاز و تبدیل آمفیبیول به بیوتیت) در اعمق کمتر از ۱۰ کیلومتری صورت گرفته است.

- [4] Hassanzadeh J., “Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahre-Babak area, Kerman Province). Unpublished Ph. D thesis” University of California, Los Angeles, (1993) 204pp.
- [5] Omrani J., Agard P., Whitechurch H., Benoit M., Prouteau G., Jolivet L., “Arc-magmaism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences”. *Lithos* 106(2008) 380-398.
- [6] Ghadami G. R., Moradian A., Mortazavi M., “Post-Collisional Plio-Pleistocene Adakitic volcanism in Central Iranian Volcanic Belt:Geochemical and geodynamic implications”. *Journal of Sciences Islamic Republic of Iran*. Vol. 19, No.3, (2008) 223-236 p.
- [7] Mohajjal 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.
- [8] Ghadami G.R., “Petrography, geochemistry and petrogenesis of intrusive and subvolcanic masses (adakitic) in Northwest Share-Babak, Kerman” Unpublished Ph.D. Thesis, Shahid Bahonar University of Kerman”, Islamic Republic of Iran, (2009) 334p.
- [۹] قدمی غ.، مرادیان ع.، مرتضوی م.، ”ژئوشیمی و پتروژنر توده‌های نفوذی اسیدی الیگو-میوسن شمال غرب شهریابک، کرمان”， فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور (زیر چاپ).
- [10] Kretz R., “Symbols for rock-forming minerals”, *American Mineralogist*, 68(1983) 277-279.
- [11] Pearce T.H., Kolinsnick A.M., “Observation of plagioclase zoning using interference imaging”, *Earth Science. Rev.*, (1990) 2: 9- 26.
- [12] Bottinga Y., Kudo A., Weil D., “Some observation of oscillatory zoning and crystallization of magmatic plagioclase”, *American Mineralogist*, 51:(1966) 292 _ 806.

آنذین قرار می‌گیرند.

- تشکیل انواع ساختار منطقه‌بندی معکوس و نوسانی، حاشیه انحلالی یا ابری در پلاژیوکلازها و تبدیل آمفیبول به بیوتیت را می‌توان به تغییرات فشار بخار آب در مخازن ماقمایی در اثر صعود ماگما به بخش‌های فوقانی نسبت داد.
- آمفیبول‌ها از نوع مگنزیو-هورنبلند(ادنیتی) و کمتر شرمکیتی هستند.
- بر اساس ترکیب آمفیبول موجود در سنگ‌های نفوذی بررسی شده، فشار محاسبه شده برای تبلور آمفیبول‌ها در گستره‌ی ۲ تا ۵/۵ کیلوبار و عمق تشکیل آن‌ها ۸/۳ تا ۲۲ کیلومتر است.
- براساس فشار فوق و ترکیب آمفیبول، دمای تشکیل آمفیبول در سنگ‌های منطقه مورد بررسی بین ۷۰۷ تا ۷۹۳ درجه سانتیگراد است.
- با توجه به گرایش آهکی - قلیابی و دیگر داده‌های ژئوشیمیابی، توده‌های نفوذی اسیدی بررسی شده حاصل از فرورانش اقیانوس نتوتیس به زیر ایران مرکزی در نتوژن هستند.

قدردانی

نویسنده‌گان این مقاله از مسئولین محترم مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران و داوران محترم به خاطر ارائه نظرات ارزنده برای ارتقای سطح علمی مقاله کمال تشكیر و قدردانی را دارند.

مراجع

- [1] Alavi M., “Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution” *American Journal of Science* 304, (2004) 1-20.
- [2] Dimitrijevic M. D., Dimitrijevic M. N., Djordjevic M., Djokovic I., "Geological Survey of Iran", 1:100,000 Series, Sheet 72 50, Anar (1971).
- [3] Berberian M., King G. C., “Towards a paleogeography and tectonics evolution of Iran” *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, (1981) 210-265.

- [22] Blundy J.D., Holland T.J.B., “*Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer*”, Contribution Mineralogy and Petrology, 104(1990) 208-224.
- [23] Holland T.J.B., Blundy J.D., “*Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry*”, Contribution Mineralogy and Petrology, 116(1994) 433-447.
- [24] Esawi E.K., “*Amph-Class: An excel spreadsheet for the classification and nomenclature of amphibole based on the 1997 recommendation of the international mineralogical Association*”, Computers Geosciences, 30(2004) 753-760.
- [25] Hammarstrom Jane. M., E-An Zen., “*Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer*”, American Mineralogist, 71(1986) 1297-1313.
- [26] Stein E.M., Dietl C., “*Hornblende thermometry of granitoids from the central Odenwald Germany and their implications for the geotectonic development of the Odenwald*”, Mineralogy and Petrology 72(2001) 185-207.
- [27] Helmy H.M., Ahmed A.F., El Mahallawi N.M., Ali S.M., “*Pressure, temperature and oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt, and tectonic implication*”, Journal of African Science 38(2004) 255-268.
- [28] Vynhal C.R., McSween H.Y., “*Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids Implication for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability*”, American Mineralogist 76(1991) 176-188.
- [29] Schmidt M.W., “*Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in hornblende barometer*”, Contribution Mineralogy and Petrology, 110(1992) 304-310.
- [۳۰] یوسفزاده م. ج، سبزه‌ای م.، ”زمین دما-فشارسنجی داسیت مارکوه (شمال شرق بیرجند) و برونیوم‌های آمفیبولیتی
- [13] Hasse C. S., Chadam J., Feinn D., Otoleva P., “*Oscillatory zoning in plagioclase feldspar*”, Science, 299: (1980) 272 – 274.
- [14] Nelson S.T., Montana A., “*Sieve- texture plagioclase in volcanic rocks production by rapid decompression*”, American Mineralogist,(1992) 77: 1242 – 1279.
- [15] Bateman R., “*The interplay between crystallization, replenishment and hybridization in large felsic magma chambers*”, Earth Science, Rev., 39:(1995) 91 – 106.
- [16] Nixson G.T., Pearce T.H., “*Laser-interferometry study of oscillatory zoning in plagioclase: the record of magma mixing and phenocrysts recycling in calc-alkaline magma chamber (Iztaccihuatl volcano, Mexico)*”, American Mineralogists,(1987) 72: 1142 – 1162.
- [17] Loomis T.P., “*Numerical simulation of crystallization processes of plagioclase in complex melt: The origin of major and oscillatory zoning in plagioclase*”, Contribution Mineralogy and Petrology, 81:(1982) 219- 229.
- [18] Loomis T.P., Welber P.W., “*Crystallization processes in the compositional zoning of plagioclase*”, Contribution Mineralogy and Petrology, 81:(1982) 230 – 239.
- [19] Droop G.T.R., “*A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and stoichiometric criteria*”, Mineralogical Magazine, 51(1987) 431-435.
- [20] Leak B. E., Wolley A. R., Bird W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., “*Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of International mineralogical Association*”, commission on new minerals and mineral names. American Mineralogist 82,(1997) 1019-1037.
- [20] Shelly D., ”*Igneous and metamorphic rocks under the microscope*”, Chapman and Hall, London,(1993) 445p.
- [21] Ferrow E., “*Ein fortran-program Zur Berechnug der chemischen Analkses von Gesteinen aus der modalalysn*”, N.Jb.Min.Mh.(1968) p.27-33.

[۳۲] امینی ص، فتوحی راد غ، "ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها در سنگ‌های دگرگونی مجموعه افیولیتی شرق بیرجند و تأیید سیر تکاملی فشار و دمای این سنگ‌ها"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران شماره ۱ (۱۳۸۴) ص ۱۸-۳.

[33] Agard P., Omrani J., Jolivet L., Whitechurch H., Vrielynck B., Spakman W., Monie P., Meyer B., Wortel R., "Zagros orogeny: a subduction-dominated process", Geological Magazine 1-34 (2011).

آن"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران شماره ۱ (۱۳۹۱) ص ۵۲-۴۳.

[۳۱] نصرآبادی م، فدریکوروزتی، معین وزیری ح، رضوی م. ح، مجل م، "کانی شناسی و دما-فشار-سنگی شیسته‌های مجموعه سلطان آباد(شمال شرق سیزوار)"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران شماره ۱ (۱۳۹۱) ص ۱۲۳-۱۴۳.