



## شیمی کانی‌ها و دما - فشارسنجی توده‌ی نفوذی اینچه، (شرق هریس، آذربایجان شرقی)

قادر حسین‌زاده<sup>۱\*</sup>، منیر مجرد<sup>۲</sup>، محسن مؤید<sup>۱</sup>، نصیر عامل<sup>۱</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

(دریافت مقاله: ۹۰/۷/۲۴، نسخه نهایی: ۹۰/۹/۲۶)

**چکیده:** توده‌ی گرانیتوئیدی اینچه در شرق هریس (استان آذربایجان شرقی) واقع شده و به درون سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن تزریق شده است. این توده دارای طیف ترکیبی دیوریت، کوارتز دیوریت تا مونزونیت بوده و ترکیب شیمیایی کانی‌های اصلی آن نظیر فلدسپارها، آمفیبول و کلینوپیروکسن به منظور منظور دما-فشارسنجی آن با ریزپردازنده‌ی (EPMA) آنالیز شد. پلاژیوکلاز اغلب دارای ترکیب آندزینی تا بیتونیتی و گاهی آلبیتی است. کلینوپیروکسن اغلب دارای ترکیب دیوپسید تا انستاتیت بوده و آمفیبول دارای ترکیب ادنیتی تا ترمولیتی، هورنبلند چرماکی، چرماکیت و اکتینولیت است. فشارسنجی این توده بر اساس  $Al^{(t)}$  در شبکه‌ی آمفیبول و نیز فشارسنجی کلینوپیروکسن - پلاژیوکلاز - کوارتز به ترتیب فشارهائی معادل  $1 \pm 7$  و  $9$  تا  $10$  کیلو بار در عمق تبلور این توده پیشنهاد می‌کنند. دماسنجی با استفاده از واکنش پیوسته بین پلاژیوکلاز و آمفیبول دمای  $40 \pm 1000$  درجه‌ی سانتیگراد و دماسنجی دوفلدسپاری دمای تبلور آن را  $1000-800$  درجه‌ی سانتیگراد نشان می‌دهند. دما - فشارسنجی بر مبنای اکسیدهای Al و Ti در آمفیبول نیز دمائی برابر ۹۰۰ درجه‌ی سانتیگراد در فشار حدود ۶ تا ۷ کیلو بار را برای عمق تبلور آمفیبول نشان می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** اینچه؛ هریس؛ دما - فشارسنجی؛ ریزپردازنده‌ی الکترونی؛ گرانیتوئید.

### مقدمه

قرارداده و به توصیف سنگ‌شناسی توده‌های سنگی موجود پرداخته است. در این مقاله سعی شد تا بر اساس تجزیه ریزپردازشی روی توده‌ی نفوذی اینچه، برای نخستین بار این توده از جنبه‌های ژئوشیمیایی، دما-فشارسنجی و شیمی کانی به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد.

### روش بررسی

تعداد ۴۰ مقطع نازک از سنگ‌های آذرین اینچه و سنگ‌های همراه، مورد بررسی سنگ‌نگاری قرار گرفت. ترکیب شیمیایی کانی‌های آمفیبول، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز نمونه‌های سالم

گستره‌ی مورد بررسی در فاصله‌ی ۱۷ کیلومتری شرق شهر هریس در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. در این منطقه، از سال ۱۳۸۰ بررسی‌های مختلف زمین‌شناسی و ژئوشیمی و نیز فعالیت‌های گسترده‌ی پی‌جویی به منظور دستیابی به ذخایر مس پورفیری به روش پی‌جویی‌های مشتمل بر اکتشافات ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و حفاری گمانه‌های پی‌جویی از سوی شرکت ملی صنایع مس ایران صورت گرفته است. حسین‌زاده [۱] در رساله‌ی دکتری خود جنبه‌های مختلف زمین‌شناسی اقتصادی این کانسار را مورد بررسی

جدول ۱ نتایج آنالیزهای کانی‌ها به روش ریزپردازش الکترونی.

امفیبول										
T85					T44					
۵	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱		
۵۲,۷۷	۵۴,۷۷	۵۵,۶۹	۵۶,۷۸	۵۵,۹۴	۳۹,۲۹	۳۷,۴۰	۳۹,۱۵	۴۲,۶۸		SiO <sub>2</sub>
۰,۴۲	۰,۲۹	۰,۱۲	۰,۱۴	۰,۱۲	۲,۵۵	۲,۷۰	۲,۷۰	۲,۶۸		TiO <sub>2</sub>
۵,۹۸	۲,۱۳	۱,۳۱	۱,۲۷	۱,۳۷	۱۲,۳۸	۱۳,۵۰	۱۲,۴۳	۱۱,۷۱		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۲۳	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۰۳		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۰,۰۳	۱,۹۶	۰,۴۶	۰,۰۰	۰,۴۸	۱۱,۹۴	۱۲,۳۵	۱۲,۴۷	۰,۰۰		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۸,۱۱	۷,۴۴	۹,۶۷	۷,۴۵	۷,۱۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۹,۸۷		FeO
۰,۷۸	۰,۷۶	۱,۰۶	۰,۷۰	۰,۶۶	۰,۰۸	۰,۱۳	۰,۰۵	۰,۱۳		MnO
۱۶,۸۵	۱۸,۲۲	۱۷,۶۵	۱۹,۸۰	۱۹,۳۸	۱۳,۱۳	۱۳,۹۵	۱۳,۴۶	۱۴,۳۷		MgO
۱۰,۶۸	۱۲,۷۳	۱۲,۶۲	۱۲,۴۱	۱۲,۲۶	۱۴,۸۹	۱۳,۴۱	۱۳,۴۰	۱۲,۳۴		CaO
۰,۶۶	۰,۳۴	۰,۰۰	۰,۰۹	۰,۲۱	۱,۸۳	۲,۳۳	۱,۵۰	۲,۶۰		Na <sub>2</sub> O
۰,۲۱	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۴۳	۰,۰۸	۱,۱۳	۱,۱۷	۱,۰۹	۱,۰۱		K <sub>2</sub> O
۹۶,۷۶	۹۸,۷۳	۹۸,۶۶	۹۹,۰۷	۹۷,۶۶	۹۷,۴۵	۹۶,۰۴	۹۶,۲۳	۹۷,۶۰		Total
کاتیون‌ها بر اساس ۲۳ اکسیژن محاسبه شده‌اند.										
۷,۴۹۸	۷,۶۸۱	۷,۸۴۶	۷,۸۶۷	۷,۸۵۲	۵,۷۸۸	۵,۶۱۱	۵,۸۱۰	۶,۲۷۰		Si
۰,۰۴۵	۰,۰۳۱	۰,۰۱۳	۰,۰۱۵	۰,۰۱۳	۰,۲۸۲	۰,۳۰۵	۰,۳۰۱	۰,۳۱۶		Ti
۱,۰۰۲	۰,۳۵۲	۰,۲۱۸	۰,۲۰۷	۰,۲۲۶	۲,۱۵۰	۲,۲۱۱	۲,۱۷۵	۲,۰۲۸		Al
۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰۳	۰,۰۲۷	۰,۰۱۲	۰,۰۰۹	۰,۰۰۳		Cr
۰,۰۳۳	۰,۰۲۶	۰,۰۴۸	۰,۰۰	۰,۰۵۱	۱,۳۲۳	۱,۳۹۴	۱,۳۹۳	۰,۰۰		Fe <sup>3+</sup>
۰,۹۶۴	۰,۸۷۳	۱,۱۳۹	۰,۸۶۳	۰,۸۳۸	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۲۱۳		Fe <sup>2+</sup>
۰,۰۹۳	۰,۰۹۰	۰,۱۲۶	۰,۰۸۳	۰,۰۷۸	۰,۰۱۰	۰,۰۱۷	۰,۰۰۶	۰,۰۱۶		Mn
۳,۵۶۹	۳,۸۰۸	۳,۷۰۵	۴,۰۸۹	۴,۰۵۴	۲,۸۸۲	۳,۱۱۹	۲,۹۵۵	۳,۱۴۶		Mg
۱,۶۲۶	۱,۹۱۲	۱,۹۰۵	۱,۸۴۳	۱,۸۴۴	۲,۳۵۰	۲,۱۵۶	۲,۱۳۱	۱,۹۴۲		Ca
۰,۱۸۲	۰,۰۹۳	۰,۰۰	۰,۰۲۴	۰,۰۵۸	۰,۵۲۳	۰,۶۷۸	۰,۴۲۲	۰,۷۴۱		Na
۰,۰۳۹	۰,۰۱۸	۰,۰۱۸	۰,۰۷۶	۰,۰۱۵	۰,۲۱۲	۰,۲۲۴	۰,۲۰۶	۰,۱۸۹		K
۱۵,۰۶	۱۵,۱۳	۱۵,۰۳۳	۱۵,۰۰۶	۱۵,۰۰۴	۱۶,۰۱	۱۶,۲۲	۱۵,۹۰	۱۵,۸۶		Total

پلاژیوکلاز													
T44				T8			G16						
۴	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۵۷,۰۲	۵۷,۲۸	۵۴,۱۹	۵۳,۸۱	۶۱,۰۴	۶۱,۳۵	۶۵,۵۰	۵۸,۵۵	۶۲,۲۱	۶۰,۳۶	۵۴,۷۱	۵۸,۱۵	۵۹,۳۲	۵۹,۳۵
۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۰۴۲	۰,۰۰	۰,۰۰۷	۰,۰۰۶	۰,۱۱	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۴
۲۶,۹۴	۲۷,۲۴	۲۷,۰۰	۲۸,۱۵	۲۲,۹۴	۲۲,۹۹	۲۲,۶۹	۲۳,۷۲	۲۲,۴۵	۲۴,۲۳	۲۸,۵۰	۲۶,۰۲	۲۵,۷۱	۲۵,۳۸
۰,۵۶	۰,۵۶	۰,۸۹	۰,۷۸	۰,۵۱	۰,۲۱	۰,۲۶	۰,۳۰	۰,۴۷	۰,۰۰	۰,۴۲	۰,۰۰	۰,۳۸	۰,۴۱
۱۲,۱۴	۱۱,۱۶	۱۰,۳۷	۱۳,۰۲	۷,۹۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۱۰,۳۵	۶,۶۶	۶,۴۸	۱۱,۰۷	۸,۰۷	۷,۵۹	۷,۴۰
۴,۹۳	۵,۷۴	۵,۹۰	۵,۳۲	۶,۲۲	۶,۳۲	۲,۱۴	۶,۴۸	۶,۴۲	۷,۹۸	۵,۲۶	۷,۳۲	۷,۱۹	۷,۵۱
۰,۳۸	۰,۵۹	۰,۷۱	۰,۴۷	۰,۵۳	۱,۰۱	۱,۴۶	۰,۳۸	۰,۸۷	۰,۵۳	۰,۲۰	۰,۲۹	۰,۳۴	۰,۴۶
۱۰,۳۰	۱۰,۱۷۳	۹,۹۰	۱۰,۵۳	۹,۹۱	۹,۸۳	۹,۹۲	۹,۹۹	۹,۹۰	۱۰,۱۹	۱۰,۲۲	۹,۹۸	۱۰,۰۵	۱۰,۰۵
کاتیون‌ها بر اساس ۸ اکسیژن محاسبه شده‌اند.													
۲,۵۴۵	۲,۵۲۸	۲,۴۸۵	۲,۴۲۲	۲,۷۴۳	۲,۸۹۴	۳,۰۴۵	۲,۶۴۳	۲,۷۹۰	۲,۶۸۸	۲,۴۶۶	۲,۶۰۹	۲,۶۲۷	۲,۶۴۴
۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰	۰,۰۱۵	۰,۰۰۰	۰,۰۰۲	۰,۰۰۲	۰,۰۰۴	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱
۱,۳۹۳	۱,۴۱۵	۱,۴۶۰	۱,۴۹۴	۱,۲۱۵	۱,۲۹۳	۱,۲۶۵	۱,۱۸۵	۱,۲۹۸	۱,۵۱۵	۱,۳۷۶	۱,۳۴۸	۱,۳۳۳	۱,۳۳۳
۰,۰۱۸	۰,۰۱۸	۰,۰۳۱	۰,۰۲۶	۰,۰۱۷	۰,۰۰۷	۰,۰۰۹	۰,۰۱۰	۰,۰۱۶	۰,۰۰	۰,۰۱۴	۰,۰۰	۰,۰۱۳	۰,۰۱۴
۰,۵۷۱	۰,۵۲۷	۰,۵۱۰	۰,۶۲۸	۰,۳۸۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۰	۰,۳۱۰	۰,۳۰۹	۰,۵۳۵	۰,۳۸۸	۰,۳۶۲	۰,۳۵۵
۰,۴۱۹	۰,۴۰۰	۰,۵۲۵	۰,۴۵۷	۰,۵۴۳	۰,۵۸۸	۰,۱۹۳	۰,۵۶۷	۰,۵۵۷	۰,۶۸۹	۰,۴۶۰	۰,۶۳۷	۰,۶۲۰	۰,۶۳۰
۰,۰۲۱	۰,۰۲۳	۰,۰۴۲	۰,۰۲۷	۰,۰۳۰	۰,۸۴۳	۰,۸۷۱	۰,۰۲۲	۰,۰۵۰	۰,۰۳۰	۰,۰۱۲	۰,۰۱۷	۰,۰۱۹	۰,۰۴۶
۴,۹۶۹	۵,۰۱۵	۵,۰۵۲	۵,۰۷۴	۴,۹۲۸	۵,۳۱۲	۵,۰۲۸	۵,۰۱۱	۴,۹۱۱	۵,۰۱۹	۵,۰۰۳	۵,۰۲۸	۵,۰۰۰	۵,۰۱۹

و نادگرسان توده‌ی اینچه با یک دستگاه ریزپردازنده (EPMA) مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی آنالیز شدند. این دستگاه به روش EDS با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۱۵ kV، جریان پرتو الکترونی ۱۵nA، در طول زمان تجزیه‌ی ۴۰ ثانیه برای هر نقطه، و با استفاده از استانداردهای طبیعی و سنتز شده کار می‌کند. حد تشخیص دستگاه حدود ۲wt% برای اکسیدهاست. مقدار فلورور و آب برای همه نقاط اندازه گیری شد. اکسید آهن به صورت آهن کل گزارش شده و برای جدایش Fe<sup>3+</sup> از Fe<sup>2+</sup> از روش عنصرسنجی و نسبت R برای هر کانی استفاده شده است. فعالیت کانی‌ها بر پایه‌ی نوع اختلاط محلول جامد ایده‌آل یا غیر ایده‌آل و با ذکر منبع با نرم افزار AX محاسبه شد. برای توزیع کاتیون‌ها در جایگاه‌های بلوری، از برنامه‌ی کامپیوتری PTMAFIC مورد استفاده قرار گرفت. جدول‌های ۱ نتایج آنالیز ریزپردازش کانی‌ها را نشان می‌دهند.

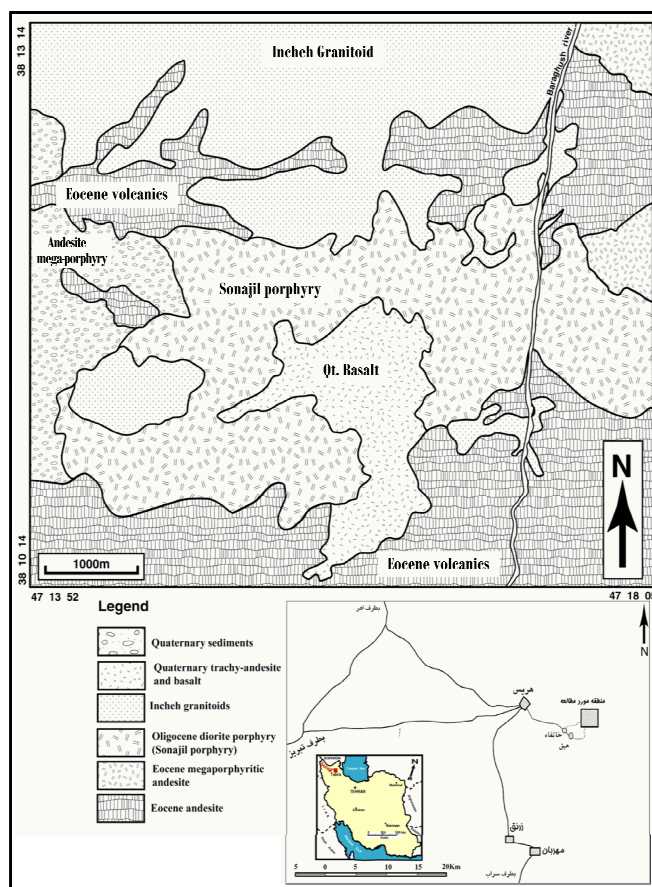
### بحث و بررسی

#### زمین‌شناسی

گستره‌ی مورد بررسی در رده‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران در زون البرز - آذربایجان [۲] و زون آتشفشانی ترشیر - کواترنری [۳] قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های چشمگیر این زون، فعالیت ماگمایی گسترده‌ی ترشیری است که شروع آن در ائوسن و نقطه‌ی اوج آن همراه با چین‌خوردگی گسترده‌ی واحدهای آتشفشانی و آذرآواری و جایگیری نفوذی‌های گرانیتوئیدی در الیگوسن (فاز پیرنه) بوده است [۴]. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در این منطقه، نهشته‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن تحتانی با ترکیب آندزیت درشت پورفیری، آندزیت تا آندزیت بازالتی و توف‌های وابسته بوده و توده‌ی نیمه‌عمیق سوناجیل پورفیری در زمان ائوسن فوقانی - الیگوسن به درون آنها نفوذ کرده است. فعالیت نفوذی بعدی در این منطقه، تزریق توده‌ی دیوریتی، کوارتز دیوریتی تا مونزونیتی اینچه و دایک‌های وابسته به درون توده‌های آتشفشانی ائوسن و نیز توده‌ی سوناجیل پورفیری بوده که آثار دگرگونی در حد رخساره‌ی آلبیت - اپیدوت هورنفلز در مرز تماس آنها گسترش یافته است. در نهایت گدازه‌های تراکیتی، تراکی آندزیتی تا تراکی آندزیت بازالتی اکوزداغی به سن پلیو-کواترنری معرف جوانترین فاز ماگمایی در این منطقه است (شکل ۱).



پیروکسن							
G16						T8	
۶	۵	۴	۳	۲	۱		۱
۵۳.۰۹	۵۳.۳۹	۵۳.۳۲	۵۳.۵۴	۵۳.۲۷	۵۳.۳۴		۵۱.۴۴
۰.۳۱	۰.۲۹	۰.۲۶	۰.۲۱	۰.۳۲	۰.۲۸		۰.۱۶
۱.۳۲	۰.۸۸	۱.۰۰	۰.۸۱	۱.۰۳	۱.۳۴		۰.۹۷
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰		۰.۰۰
۱.۲۸	۰.۵۷	۱.۲۰	۰.۶۲	۱.۹۱	۰.۰۰		۷.۱۷
۶.۸۵	۶.۸۱	۵.۹۸	۷.۳۶	۵.۹۵	۷.۸۸		۲.۹۰
۰.۶۶	۰.۵۴	۰.۶۵	۰.۶۰	۰.۶۱	۰.۶۶		۰.۷۲
۱۵.۱۲	۱۵.۰۰	۱۴.۹۰	۱۴.۹۲	۱۵.۴۴	۱۴.۸۰		۱۳.۱۳
۲۱.۱۳	۲۱.۷۶	۲۱.۶۵	۲۱.۳۳	۲۱.۲۴	۲۱.۱۵		۲۴.۵۶
۰.۴۸	۰.۴۶	۰.۶۶	۰.۵۰	۰.۵۶	۰.۰۰		۰.۶۸
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۳	۰.۰۰		۰.۰۰
۱۰۰.۲۴	۹۹.۷۰	۹۹.۶۲	۹۹.۸۹	۱۰۰.۳۶	۹۹.۴۵		۱۰۱.۷۳
کاتیون‌ها بر اساس ۶ اکسیژن محاسبه شده‌اند.							
۱.۹۶۲	۱.۹۸۱	۱.۹۷۸	۱.۹۸۶	۱.۹۶۳	۱.۹۸۴		۱.۸۹۹
۰.۰۰۹	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۹	۰.۰۰۸		۰.۰۰۴
۰.۰۵۸	۰.۰۳۹	۰.۰۴۴	۰.۰۳۵	۰.۰۴۵	۰.۰۵۹		۰.۰۴۲
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰		۰.۰۰
۰.۰۳۶	۰.۰۱۶	۰.۰۳۳	۰.۰۱۷	۰.۰۵۳	۰.۰۰		۰.۱۹۹
۰.۲۱۲	۰.۲۱۱	۰.۱۸۶	۰.۲۸	۰.۱۸۳	۰.۲۴۵		۰.۰۹۰
۰.۰۲۱	۰.۰۱۷	۰.۰۲۰	۰.۰۱۹	۰.۰۱۹	۰.۰۲۱		۰.۰۲۳
۰.۸۲۳	۰.۸۳۰	۰.۸۲۴	۰.۸۲۵	۰.۸۴۸	۰.۸۲۰		۰.۷۲۲
۰.۸۲۷	۰.۸۶۵	۰.۸۶۱	۰.۸۴۸	۰.۸۳۹	۰.۸۴۳		۰.۹۷۲
۰.۰۳۴	۰.۰۳۳	۰.۰۴۷	۰.۰۳۶	۰.۰۴۰	۰.۰۰		۰.۰۴۹
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۰		۰.۰۰
۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۳.۹۸		۴.۰۰



شکل ۱ نقشه‌ی ساده شده‌ی توزیع واحدهای سنگی منطقه‌ی مورد بررسی.

## سنگ‌نگاری

در نمونه‌های دستی، این سنگ‌ها به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای روشن با بافت دانه‌ای بوده و بلورهای نسبتاً درشت پلاژیوکلاز در آنها به چشم می‌خورد. کانی‌های اصلی توده‌ی نفوذی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند بوده و بافت‌های غالب در این سنگ‌ها شامل پورفیری با خمیره‌ی ریز تا درشت بلور (شکل ۲ الف)، دانه‌ای (شکل ۲ ت)، افیتیک و تراکیتوئیدی هستند. درشت بلورهای موجود در این سنگ‌ها بیشتر پلاژیوکلاز (شکل ۲ الف، ب و ۲ پ) و گاهی از پیروکسن (شکل ۲ ث)، هورنبلند (شکل ۲ ج) و بیوتیت تشکیل شده‌اند.

پلاژیوکلاز (۷۰٪-۵۰٪) نیز به صورت درشت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با ماکل پریکلین و آلبیتی (کوچکتر از ۷ میلیمتر) با منطقه‌بندی نوسانی و هم‌مرکز (شکل ۲ ب) و نیز به صورت ریزدانه و ریزبلوری در زمینه‌ی سنگ حضور دارد. در بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز بافت غربالی به چشم می‌خورد. این کانی‌ها به صورت بخشی به کانی‌های ثانویه از قبیل کلسیت (شکل ۲ الف)، سریسیت، اپیدوت (شکل ۲ ت)، کلریت، کوارتز و کانی‌های رسی (شکل ۲ پ) دگرسان شده و اغلب حاوی نفوذی‌هایی از آپاتیت، زیرکن و پیروکسن دیده می‌شوند. کلینوپیکروکسن (۲۰٪) به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار ( $< 2\text{mm}$ ) به شدت به کلریت، کلسیت، کانی‌های کدر، اکتینولیت و به مقدار کمتر به هورنبلند، اورالیت و اپیدوت دگرسان شده است (شکل ۲ ث). آمفیبول (۲۰٪) به صورت بلورهای متوسط ( $< 3\text{mm}$ ) شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار حضور داشته (شکل ۲ ج) و بیشتر به کانی‌های ثانویه‌ای مانند کلسیت، کلریت، کوارتز و پره‌نیت و به ندرت بیوتیت دگرسان شده است. بیوتیت (۱۵٪) به صورت صفحات ریز تا متوسط ( $< 2\text{mm}$ ) حضور داشته و در بیشتر موارد به صورت بخشی به کلریت (پنین) و اکسید آهن (هماتیت و گوتیت) تبدیل شده است. فلدسپار قلیایی (۱۵٪) بیشتر از نوع اورتوکلاز، در زمینه‌ی ریز دانه‌ی سنگ و گاهی به صورت درشت‌دانه حضور داشته و به صورت بخشی به سریسیت دگرسان شده است. کوارتز (۱۵٪) به صورت اولیه و ثانویه در چند نمونه دیده شد که به صورت ریزدانه‌ی بین بلوری در متن سنگ یا رگچه‌ای دیده می‌شود. الیوین (۵٪) به مقدار اندک و در اندازه‌های ریز

( $< 50\ \mu\text{m}$ ) در برخی از نمونه‌ها حضور دارد و گاهی به کانی‌های رشته‌ای مانند آنتوفیلیت تبدیل شده است. کلسیت (۵-۱۰٪) بیشتر حاصل دگرسانی پلاژیوکلازها و کانی‌های آهن - منیزیم‌دار بوده (شکل ۲ الف) و به صورت شبه‌ریخت کانی‌های اولیه، پرکننده‌ی فضاهای خالی و نیز همراه با مقادیر زیادی کانی‌های کدر، کلریت، اپیدوت و اورالیت دیده می‌شود. اپیدوت (۳٪) به صورت ریزدانه تا متوسط حاصل دگرسانی پلاژیوکلازها (شکل ۲ ت) و کانی‌های آهن - منیزیم‌دار همراه با کانی‌های ثانویه دیگر دیده می‌شود. تورمالین (۵٪) بیشتر به صورت پولک‌های ریز و پراکنده و نیز به صورت اسفرولیتی و شعاعی دیده می‌شود. این کانی یا در زمینه‌ی سنگ و یا بصورت لکه‌هایی درون درشت بلورهای پلاژیوکلاز حضور داشته و به نظر می‌رسد که از دگرسانی پلاژیوکلازها حاصل شده باشد. تجزیه XRD این سنگ‌ها [۱] نشان می‌دهد که تورمالین‌ها از نوع دراویت (سدیم و منیزیم‌دار) هستند. آپاتیت به شکل تیغه‌ای نسبتاً بلند و نازک بیشتر به صورت نفوذی درون درشت بلورهای پلاژیوکلاز یا در زمینه‌ی ریزدانه سنگ و زیرکن به مقدار فراوان در متن سنگ یا در درون درشت بلورها حضور دارد.

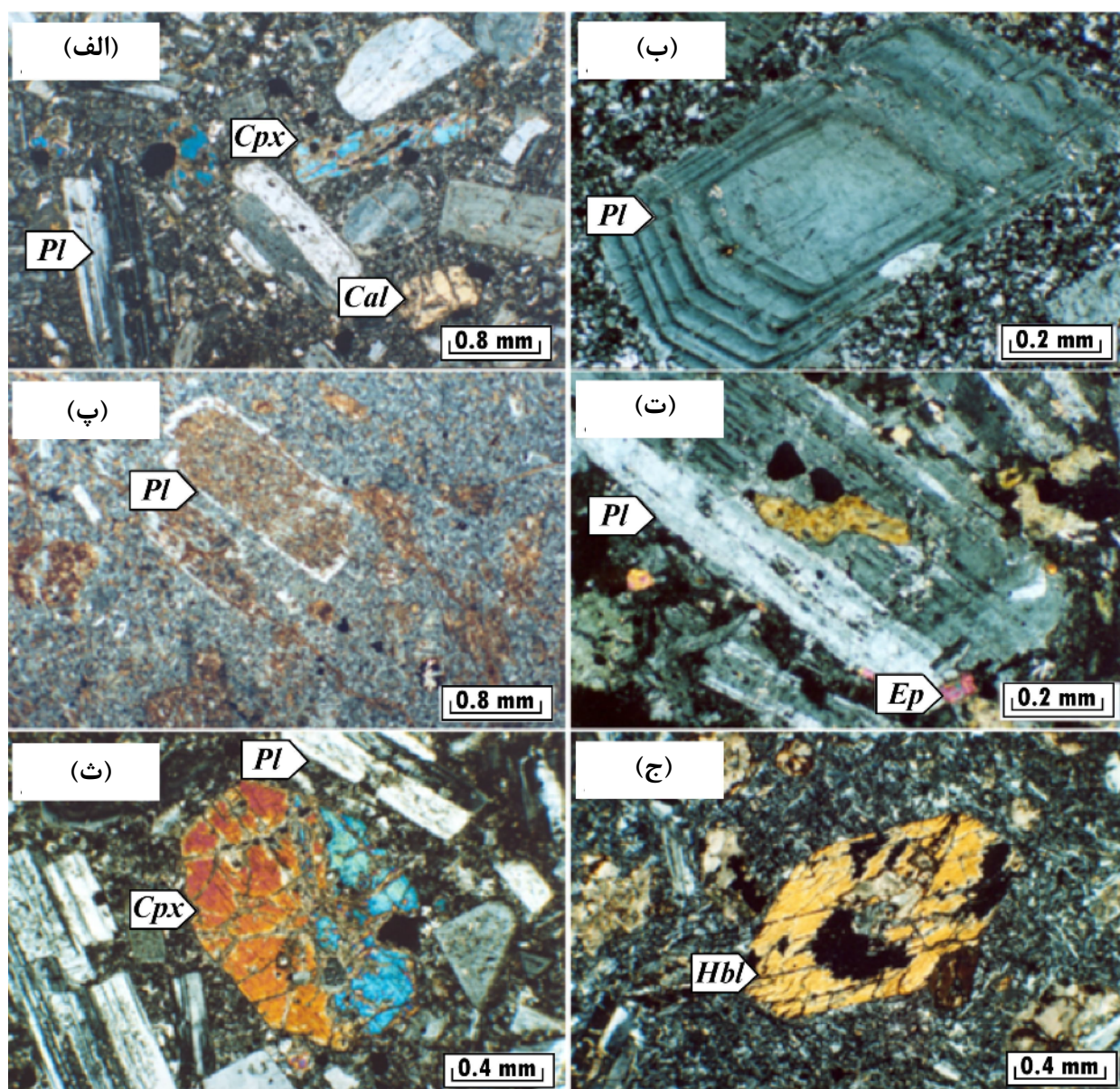
بنابراین از نظر کانی‌شناختی، نمونه‌های توده‌ی اینچه دارای ترکیب دیوریت تا کوارتز دیوریتی بوده ولی در رده‌بندی شیمیایی در نمودار  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$  (TAS) [۵] (شکل ۳) بخش بزرگ نمونه‌ها در گستره‌ی کوارتز دیوریت (گرانودیوریت)، سینودیوریت و دیوریت و تعداد معدودی از آنها در گستره‌ی گابرو، و در نمودار  $(\text{Zr}/\text{TiO}_2 \times 0.0001) - (\text{Nb}/\text{Y})$  [۶] (شکل ۴) نیز تعداد زیادی از نمونه‌ها در گستره‌ی دیوریت و سینودیوریت و اندکی از آنها در گستره‌ی گابروئی قرار می‌گیرند [۱].

## شیمی کانی‌ها

پلاژیوکلاز: ترکیب این کانی در سنگ‌های تجزیه شده‌ی ریزپردازشی، اغلب از نوع حدواسط (آندزین) تا بیتونیت است (در نمونه‌های  $T_8, T_{44}, T_8$  و  $T_{119}$ ). فقط در نمونه  $T_{99}$  این کانی آلبیتی بوده و در نمونه  $T_8$  آلکالی فلدسپار پتاسی-قلیایی نیز موجود است (جدول ۱). در برخی از سنگ‌ها (مانند نمونه‌ی  $G_{16}$ ) ترکیب پلاژیوکلاز حدواسط (آندزین) است.

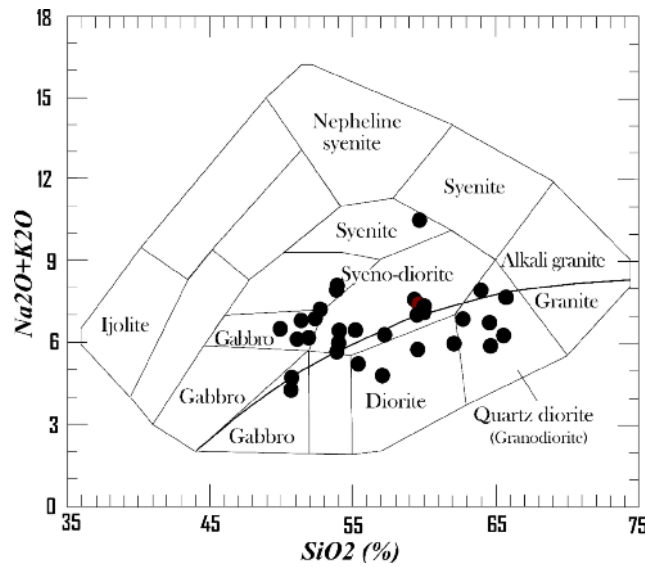
گیری قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در این کانی‌ها  $Na < Al$  است، باید آنها را جزء پیروکسن‌های کلسیک رده‌بندی کرد و مقدار  $Fe^{3+}$  در جایگاه چاروچی آن صفر در نظر گرفته می‌شود. با افزایش مقدار  $Al(IV)$  در ساختار کانی، فعالیت کلسیم چرماک اضافه می‌شود (جدول ۱) که خود تابعی از فزونی فشار هنگام تبلور کانی است.

کلینوپیروکسن: فرمول ساختاری کلینوپیروکسن‌ها بر اساس ۶ اکسیژن و ۴ کاتیون محاسبه شد. برای برآورد آهن سه ظرفیتی از فرض  $Fe^{3+} = Na - Al - Cr$  استفاده شد [۷]. ترکیب شیمیایی این کانی در دوزنقه پیروکسن‌ها در نمونه‌ی T<sub>8</sub> از دیوپسید تا انستاتیت و در نمونه‌های T<sub>119</sub> و G<sub>16</sub> تنها از دیوپسید غنی است (شکل ۵). مقدار کاتیونی Cr در این کانی صفر و یا در حد چند هزارم است که در گستره‌ی خطای اندازه-

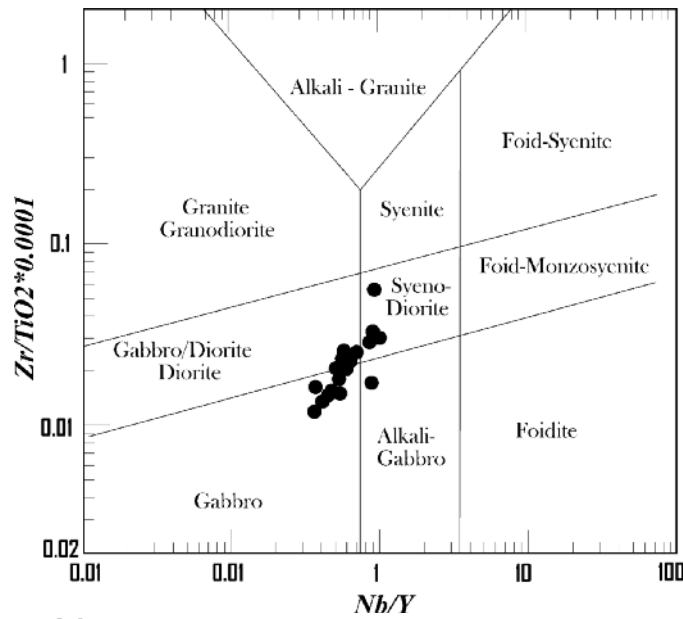


شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از توده نفوذی.

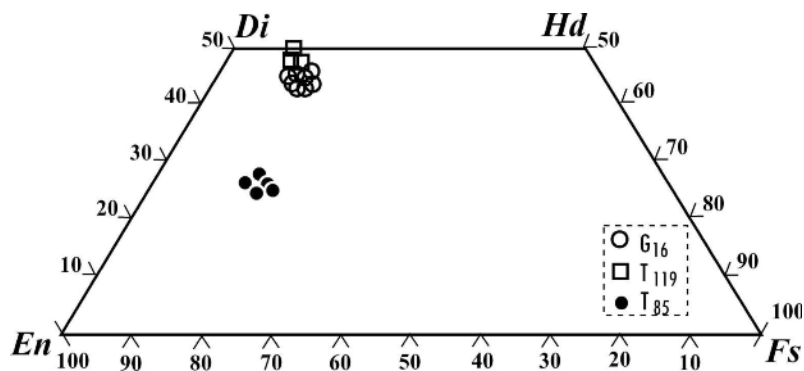
الف- بافت پورفیری در توده‌ی اینچه (XPL)، ب- منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلاز (XPL)، پ- تجزیه پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی (XPL)، ت- تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت و دیگر کانی‌های ثانویه (XPL)، ث- درشت‌بلور کلینوپیروکسن (XPL)، ج- درشت‌بلور شکل‌دار هورنبلند (XPL).



شکل ۳ موقعیت نمونه‌ها در نمودار TAS [۵].



شکل ۴ موقعیت نمونه‌ها در نمودار Nb/Y-Zr/TiO<sub>2</sub>\*0.0001 [۶].



شکل ۵ ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها در دوزنقه Di-Hd-En-Fs و مثلث Wo-Jd-Hy [۶]. کلینوپیروکسن‌های آنالیز شده از عضو انتهایی دیوپسید تا حدواسط دیوپسید - انستاتیت و هیپرستن - ولاستونیت قرار می‌گیرند.

پائین متبلور شده‌اند (شکل ۷).

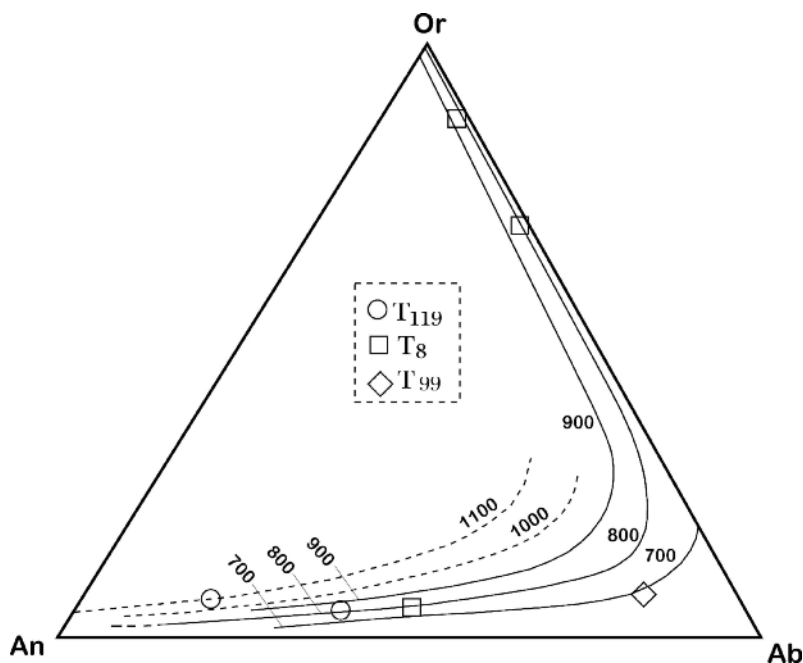
### دما - فشارسنجی

به منظور برآورد شرایط دما و فشار تبلور سنگ‌های آذرین اینچه از روش‌های متعدد تبادل کاتیونی بهره‌گیری شده است. ترکیب شیمیائی کانی آمفیبول به طور گسترده برای تعیین فشار سنگ‌های آذرین و دگرگونی به کار می‌رود. با استفاده از مقدار کاتیونی آلومینیوم کل موجود در ساختار آمفیبول از درجه‌بندی‌های مختلف [۹-۱۱] فشار  $7 \pm 1$  کیلو بار برای این سنگ‌ها برآورد شده است (جدول ۲).

با بهره‌گیری از فشارسنجی کلینوپروکسن - پلاژیوکلاز - کوارتز [۱۲] فشاری معادل ۹-۱۰ کیلو بار در دمای فرضی ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتیگراد برای این سنگ‌ها به دست آمد.

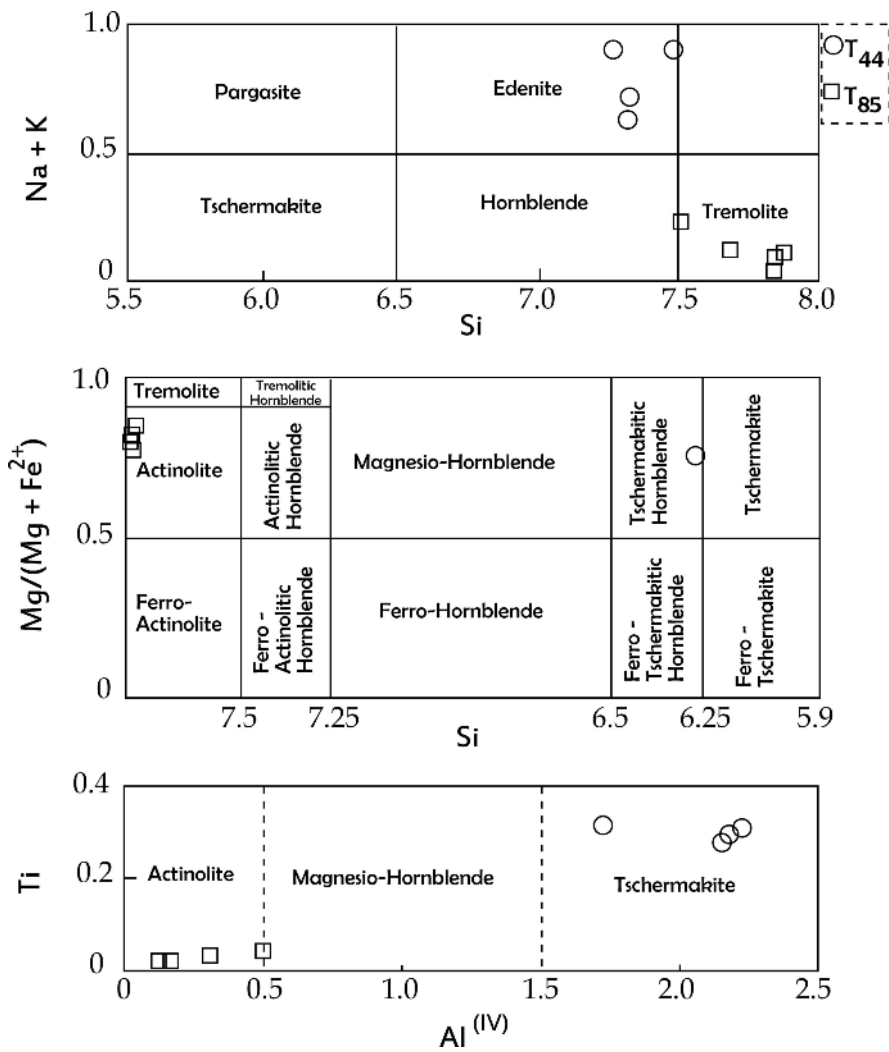
برای اندازه‌گیری دمای تبلور نمونه‌های مورد بررسی، از واکنش پیوسته بین پلاژیوکلاز و آمفیبول [۱۳] استفاده شد. با استفاده از جانشینی ادنیت - ریشتریت در آمفیبول‌ها در حضور آلبیت، دمای معادل  $1000 \pm 40$  درجه‌ی سانتیگراد در فشار فرضی ۷ کیلو بار بدست آمد (جدول ۲).

**آمفیبول:** نتایج آنالیز آمفیبول در نمونه‌های معرف در جدول (۱) آمده‌اند. کاتیون‌های این کانی بر اساس ۲۳ اکسیژن محاسبه شده است. مقدار  $Fe^{3+}$  از روش [۷] تعیین شده است. برای این کانی با سه نمودار از لیک و همکاران [۸] اسامی زیر بدست آمده‌اند (شکل ۶): در نمودار مجموع کاتیونی قلیایی نسبت به سیلیسیوم برای نمونه  $T_{44}$  ادنیت و برای  $T_{85}$  نام ترمولیت، در نمودار نسبت کاتیونی منیزیم به آهن نسبت به سیلیسیوم برای  $T_{44}$  نام هورنبلند چرماکی و برای نمونه  $T_{85}$  نام اکتینولیت و با نمودار تیتانیوم نسبت به آلومینیوم جایگاه چاروچی برای نمونه  $T_{44}$  نام چرماکیت و برای نمونه  $T_{85}$  نام اکتینولیت تعیین شده‌اند. در نمودار بردارهای جانشینی ادنیتی، پارگازیتی و هورنبلندی بر اساس مقادیر کاتیونی مجموع قلیا نسبت به آلومینیوم چاروچی نمونه‌های آمفیبول  $T_{44}$  جانشینی قابل توجهی از این دو فاکتور در راستای بردارهای هورنبلند - پارگازیتی نشان می‌دهند در حالیکه نمونه  $T_{85}$  جانشینی اندکی از این کاتیون‌ها دارند. با در نظر گرفتن پیروی این جانشینی‌ها از فشار، معلوم می‌شود که آمفیبول‌های نمونه  $T_{44}$  در فشار بالا و نمونه  $T_{85}$  در فشار



شکل ۶ آمفیبول‌های آنالیز شده در نمودار  $(Na + K) - Si$  [۹] از نوع ادنیت و ترمولیت‌اند. این کانی‌ها با در نظر گرفتن نسبت کاتیونی  $Mg/(Mg + Fe)$  نسبت به Si در گستره‌ی هورنبلند چرماکیتی و اکتینولیت قرار گرفته‌اند. ترکیب شیمیائی آمفیبول‌ها در نمودار مقادیر کاتیونی Ti نسبت به Al جایگاه چاروچی سایت [۹] نیز از نوع چرماکیت و اکتینولیت مشخص می‌شوند. این نمودار بر پایه میزان Al جایگاه چاروچی، کانی‌های چرماکیت، منزیو-هورنبلند و اکتینولیت را از هم جدا می‌کند. به طور کلی نمونه  $T_{44}$  از نوع چرماکیت و نمونه  $T_{85}$  از نوع اکتینولیت - ترمولیت هستند.





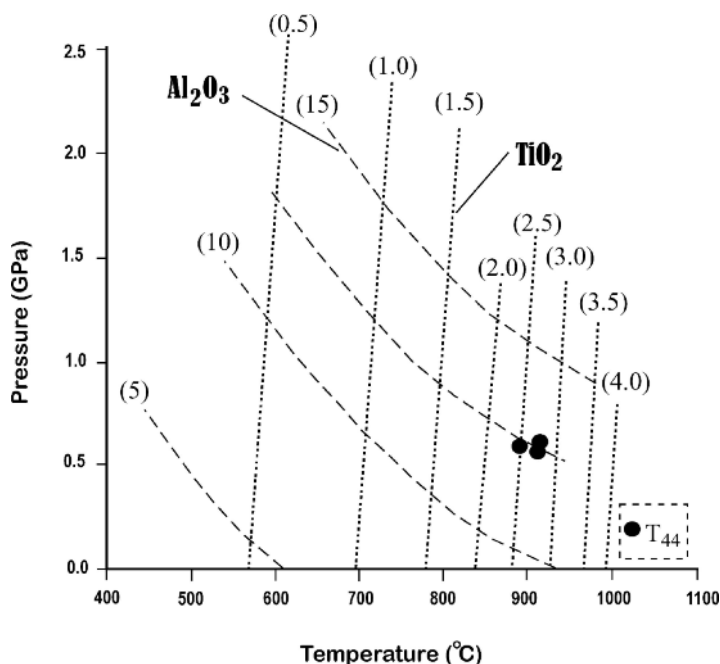
شکل ۷ دمای به تعادل رسیدن دو فلدسپار در نمونه‌های مختلف تجزیه شده از سنگ‌های آذرین منطقه‌ی اینچه با استفاده از داماسنجی ترسیمی ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتیگراد ارزیابی می‌شود.

جدول ۲ نتایج محاسبه‌ی دما و فشار در نمونه‌های مورد بررسی.

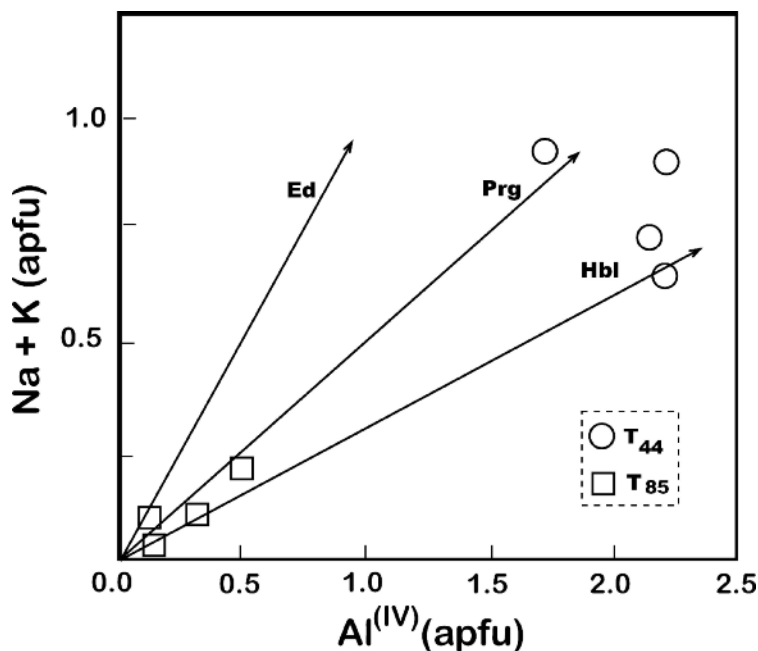
فشارسنجی کلیئوپروکسن- پلاژ بوکلاز-کوارتز	داماسنجی دوفلدسپاری	داماسنجی آمفیبول- پلاژ بوکلاز	دما-فشارسنجی در $Al_2O_3-TiO_2$ آمفیبول	فشارسنجی آلومینیوم در آمفیبول	شماره نمونه
[12]	[14]	[13]	[15]	[10]	مرجع مورد استفاده
---	---	$T = 1000^\circ C$ In $P = 7\ kbar$ $N = 4$	$P = 6-7\ kbar$ $T = 900^\circ C$ $N = 3$	$P = 7\ kbar$ $N = 4$	$T_{44}$
$P = 9-10\ kbar$ In $T = 1000^\circ C$ $N = 6$	$T = 900-1000^\circ C$ $N = 2$	---	---	---	$T_{119}$
---	$T = 800^\circ C$ $N = 3$	---	---	---	$T_8$
---	$T = 700^\circ C$ $N = 1$	---	---	---	$T_{99}$
$P = 9.5\ kbar$ In $T = 1000^\circ C$ $N = 6$	---	---	---	---	$G_{16}$

روش دما- فشارسنجی بر مبنای اکسیدهای آلومینیوم و تیتانیوم در آمفیبول [۱۵] برای سنگ‌های اینچه بکار رفت. بر این اساس دمائی برابر ۹۰۰ درجه‌ی سانتیگراد در فشار حدود ۶-۷ کیلو بار نتیجه شده است (شکل ۹).

برای تعیین دمای تبلور توده اینچه از روش دوفلدسپاری [۱۴] استفاده شد. با بهره‌گیری از این دماسنجی ترسیمی، دمای بین ۸۰۰-۱۰۰۰ درجه‌ی سانتیگراد برای رسیدن به تعادل بین آلبیت و آنورتیت در سنگ‌های مورد بحث برآورد شده است (شکل ۸).



شکل ۸ نمودار بردارهای جانشینی ادنیتی، پارگازیتی، هورنبلندی بر اساس مقادیر کاتیونی مجموع قلیایی نسبت به آلومینیوم جایگاه چهاروجهی.



شکل ۹ دما - فشارسنجی بر اساس اکسیدهای آلومینیوم و تیتانیوم موجود در تک کانی آمفیبول [۱۵]. دمای حدود ۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در فشار معادل ۶ کیلو بار برای تبلور آمفیبول‌های چرماکیتی سنگ‌های آنالیز شده ارزیابی می‌شود. نمونه‌های اکتینولیتی به دلیل تبلور در فشارهای بسیار کم در این نمودار قابل بررسی نیست.

## برداشت

از بررسی‌های به عمل آمده روی توده‌ی گرانیتوئیدی اینچه می‌توان به این نتایج رسید:

۱- گستره‌ی مورد بررسی در زون البرز - آذربایجان واقع شده و فعالیت ماگمایی گسترده‌ی ترشیری در ائوسن و الیگوسن در آن چشمگیر بوده است. همچنین توده‌ی مورد بررسی از نظر کانی‌شناختی و شیمیائی در گستره‌ی کوارتز دیوریت، گرانودیوریت، سینودیوریت و دیوریت تا گابرو قرار می‌گیرد.

۲- ترکیب پلاژیوکلازها بیشتر در حد آندزین تا بیتونیت بوده و در مواردی نیز تا آلبیت تغییر می‌کند.

۳- ترکیب شیمیائی پیروکسن‌ها از دیوپسید تا انستاتیت متغیر بود و جزء انواع کلسیک محسوب می‌شوند. ضمناً بر اساس داده‌های موجود، با افزایش مقدار  $Al^{(IV)}$  در ساختار این کانی، فعالیت کلسیم چرماک اضافه می‌شود که خود تابعی از فزون‌ی فشار هنگام تبلور کانی است.

۴- آمفیبول‌ها دارای طیف ترکیبی گسترده‌ای از ادنیت، ترمولیت، هورنبلند چرماکی، اکتینولیت تا چرماکیت بوده و بر اساس این بررسی، در شرایط فشار بالا و پائین متبلور شده‌اند.

۵- دما - فشارسنجی بر اساس روش‌های مختلف اعداد مشابهی به دست داده است. فشار برآورد شده بر اساس مقدار آلومینیوم کل در ساختار آمفیبول،  $1 \pm 7$  کیلو بار و بر اساس کلینوپیروکسن - پلاژیوکلاز - کوارتز این فشار معادل ۹-۱۰ کیلو بار است. دماسنجی از روی واکنش پیوسته بین پلاژیوکلاز و آمفیبول، دمای  $40 \pm 1000$  درجه‌ی سانتیگراد و دماسنجی دو فلدسپاری، دمای ۱۰۰۰-۸۰۰ درجه‌ی سانتیگراد را به دست داده است. دما - فشارسنجی بر مبنای اکسیدهای آلومینیوم و تیتانیوم در آمفیبول نیز دمائی برابر ۹۰۰ درجه‌ی سانتیگراد در فشار حدود ۶-۷ کیلو بار برای تبلور آمفیبول نشان داده است.

۶- با توجه به ویژگی‌های بافتی و جایگیری این توده در نهشته‌ی آتشفشانی و آذرآواری ائوسن، به نظر می‌رسد که دما و فشارهای به دست آمده، عمق تبلور کانی‌هائی نظیر پیروکسن و آمفیبول را بازتاب می‌دهد و ارتباطی به عمق جایگیری توده

نداشته باشد.

## مراجع

- [۱] حسین‌زاده قادر، "مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، کانی‌سازی، دگرسانی و ژنز کانسار مس پورفیری سوناجیل - شرق هریس، آذربایجان شرقی"، رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز (۱۳۸۷).
- [۲] نبوی محمد حسن، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران". انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۵۵).
- [3] Stoklin J., "Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia: Memoir Hors serie de la Societe Geologique de France", No. 8, (1977) P.333-335.
- [۴] مؤید محسن، "بررسی‌های پترولوژیکی نوار ولکانوپلوتونیک ترشیر البرز غربی - آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هسجین"، رساله دکتری زمین‌شناسی گرایش پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۸۰)، ۳۲۸ صفحه.
- [5] Cox K. G., Bell J. D., Pakhurst R. J., "The interpretation of igneous rocks", London, Allen and Unwin, (1979), 450p.
- [6] Winchester J. A., Floyd P. A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", Chemical Geology, 16, (1977). 325-343.
- [7] Cawthon R., Collerson K.D., "The recalculation of pyroxene end-member parameters and the estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analysis", American Mineralogist (1974) 59: 1203-1208.
- [8] Leake B.E., Woolleny 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.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker 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. American Mineralogist (1997) 82: 1019-1037.

*garnet-cordierite equilibria and the evolution of the deep crust*", Contributions to Mineralogy and Petrology (1980) 74: 201-210.

[13] Holland T.J.B., Blundy J., "Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry", Contributions to Mineralogy and Petrology (1994) 116: 433-447.

[14] Kroll H., Evangelakakis C., Voll G., "Two-feldspar geothermometry: a review and revision for slowly cooled rocks", Contributions to Mineralogy and Petrology (1993) 114: 510-518.

[15] Ernst W.G., Liu J., "Experimental phase-equilibrium study of Al- and Ti-content of calcic amphibole in MORB-a semiquantitative thermobarometer", American Mineralogist (1998) 83: 925-969.

[9] Hammarstrom J.M., Zen E.A., "Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer", American Mineralogists (1986) 71, 1297-1313.

[10] Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B., "Confirmation of the empirical correlation of aluminum in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons", American Mineralogist (1987) 72: 231-239.

[11] 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.

[12] Ellis D.J., "Osumilite-sapphirine-quartz granulites from Enderby Land, Antarctica: P-T conditions of metamorphism, implications for