



استفاده از شیمی کانی آمفیبیول در بررسی ویژگی‌های ماقمایی و سازنده و زمین دما- فشارسنجی توده‌های گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه، ایران مرکزی

داریوش اسماعیلی^۱، امیرعلی طباخ شعبانی^۲، حورا نجار^{*}، مهدی رضایی^۱

۱- دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده زمین‌شناسی

۲- دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زمین، تهران

(دریافت مقاله: ۹۱/۱/۱۶، نسخه نهایی: ۹۱/۳/۲۷)

چکیده: در این پژوهش داده‌های ترکیب شیمی کانی آمفیبیول و فلدسپار در توده‌های گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه واقع در ایران مرکزی (توده نشو و توده سیلیجرد) به منظور آگاهی بیشتر مسائل سنگزایی، بررسی‌های تکتونوماقمایی و نیز تعیین دما و فشار این توده‌ها به کار گرفته شد. ترکیب شیمی آمفیبیول‌ها در توده‌های سیلیجرد و نشو در شمال غرب ساوه در گروه آمفیبیول‌های کلسیک و از نوع اکتینولیت تا منیزیوهرنبلند قرار می‌گیرد. این آمفیبیول‌ها باسته به فرورانش بوده که با ویژگی‌های تکتونوماقمایی پیشنهادی برای این توده‌ها یعنی محیط حاشیه فعال قاره‌ای مرتبط با فرورانش همخوانی دارد. این آمفیبیول‌ها در محیطی با گریزندگی اکسیژن نسبتاً بالا تشکیل شده‌اند. مطابق تمامی روش‌های به کار گرفته شده برای دما- فشارسنجی، این توده‌ها در دمای ۷۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد و فشار پایین ۰/۳ تا ۰/۱ کیلوبار معادل عمق تقریبی ۱ تا ۴/۵ کیلومتر تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: گرانیتوئید، آمفیبیول، ژئوترموبارومتری، ساوه.

نیز با نتایج حاصل مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

مقدمه

روش بررسی

در این پژوهش، نخست نمونه‌برداری دقیقی از توده‌های گرانیتوئیدی نشو و سلیجرد در شمال غرب ساوه صورت گرفت. حدود ۲۳۰ مقطع نازک از این نمونه‌ها تهیه شدند و مورد بررسی دقیق با میکروسکوپ قطبشی قرار گرفتند و پس از آشنایی با ویژگی‌های کانی‌شناختی و سنگ‌شناسی، تعداد ۷ مقطع که نمونه‌هایی سالم و فاقد دگرسانی بودند، برای آنالیز نقطه‌ای انتخاب شدند (جدول‌های ۱ و ۲). بجزیه‌های نقطه‌ای در دانشگاه اسلو نروژ- ۲۳- نقطه (۱۳ نقطه آمفیبیول و ۱۰ نقطه پلازیوکلاز همزیست) از توده‌ی نشو و ۶ نقطه (۴ نقطه آمفیبیول و ۲ نقطه پلازیوکلاز همزیست) از توده‌ی سلیجرد- با یک

کاربرد ترکیب شیمی کانی آمفیبیول در تعیین شرایط محیطی تشکیل گرانیتوئیدها موضوعی شناخته شده است [۱]. آمفیبیول‌ها در دامنه‌ی گستره‌های از شرایط فشار و دما ظاهر می‌شوند و از سازندگان عادی سنگ‌های آذرین به ویژه سنگ‌های آذرین سری آهکی- قلیابی و سنگ‌های دگرگون به شمار می‌آیند. این کانی در سنگ‌های پلوتونیک و بسیاری از سنگ‌های آتشفسانی وجود دارند. هدف از این پژوهش بررسی ترکیب شیمیایی کانی آمفیبیول و پلازیوکلاز در توده‌های گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه به منظور شناخت مسائل سنگزایی و تکتونوماقمایی این توده هاست. در این خصوص نظریه‌های قبلی مبنی بر وابسته بودن این توده‌ها با محیط فرورانش را که بر پایه‌ی بررسی ژئوشیمی سنگ کل ارائه شده

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۷۲۷۵۵۶۵۵، پست الکترونیکی: houra.najjar@gmail.com

گرفت و نتایج آنالیزها در نرم افزارهای Minpet 2.02 و Excel بررسی شدند.

ریزپردازندۀ الکترونی مدل CAMECA SX 50 با باریکه‌ی پرتو ایکس ۱۵ کیلوولت و شدت جریان ۲۰ نانو آمپر صورت

جدول ۱ نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی آمفیبول برای دو توده نشوه(SN) و سیلیجرد (SS).

Sample	SN ۱۰-۱	SN ۱۰-۲	SN ۱۰-۳	SN ۱۰-۴	SN ۱۱-۱	SN ۱۱-۲	SN ۴۴-۱	SN ۴۴-۲	SN ۴۴-۳
SiO ₂	۴۹,۹۸	۴۶,۸۹	۴۸,۸۸	۵۰,۲۸	۵۰,۶۱	۵۰,۴۹	۴۷,۶۳	۴۸,۶۹	۴۷,۶۰
Al ₂ O ₃	۳,۴۵	۴,۴۹	۴,۱۸	۳,۵۳	۳,۶۳	۳,۵۹	۶,۳۰	۵,۰۳	۶,۰۶
TiO ₂	۰,۵۳	۰,۷۹	۰,۴۸	۰,۶۳	۰,۷۶	۰,۶۳	۱,۶۳	۱,۲۶	۱,۴۶
Cr ₂ O _۳	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۴
FeO*	۱۷,۵۵	۱۶,۵۹	۱۵,۸۲	۱۵,۱۱	۱۴,۹۱	۱۴,۹۶	۱۳,۵۹	۱۴,۱۴	۱۳,۴۷
MgO	۱۳,۶۲	۱۲,۵۴	۱۳,۹۴	۱۴,۲۱	۱۴,۲۳	۱۴,۴۳	۱۴,۰۲	۱۳,۹۶	۱۴,۱۹
MnO	۰,۴۵	۰,۳۳	۰,۴۶	۰,۳۹	۰,۶۱	۰,۶۲	۰,۴۳	۰,۵۵	۰,۴۴
K ₂ O	۰,۳۶	۰,۴۸	۰,۲۷	۰,۳۳	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۵۳	۰,۴۸	۰,۶۸
CaO	۹,۸۴	۱۱,۶۷	۱۱,۲۲	۱۱,۰۶	۱۱,۵۲	۱۱,۰۱	۱۱,۲۷	۱۱,۱۷	۱۱,۵۷
Na ₂ O	۰,۸۵	۰,۸۶	۰,۸۳	۰,۵۹	۰,۷۴	۰,۶۲	۱,۳۹	۱,۳۲	۱,۵۵
Cl	۰,۵۲	۰,۵۰	۰,۲۸	۰,۳۸	۰,۰۸	۰,۰۸	-	۰,۰۸	۰,۰۸
F	۰,۰۵	۰,۱۲	۰,۲۸	۰,۱۰	۰,۲۶	۰,۱۹	-	۰,۲۳	۰,۶۰
Total	۹۷,۰۸	۹۵,۲۹	۹۶,۶۸	۹۶,۶۶	۹۷,۶۹	۹۶,۹۵	۹۶,۸۳	۹۶,۹۸	۹۷,۸۰
O-F-Cl	۰,۱۴	۰,۱۷	۰,۱۸	۰,۱۳	۰,۱۳	۰,۱۰	-	۰,۱۲	۰,۲۸
O-F	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۱۲	۰,۰۴	۰,۱۱	۰,۰۸	-	۰,۱۰	۰,۲۶
O-Cl	۰,۱۲	۰,۱۱	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۲	۰,۰۲	-	۰,۰۲	۰,۰۲
Si	۷,۳۴	۷,۱۴	۷,۲۳	۷,۴۰	۷,۳۹	۷,۳۸	۷,۰۱	۷,۱۹	۷,۰۲
Al	۰,۵۶	۰,۸۰	۰,۷۱	۰,۵۶	۰,۵۹	۰,۵۷	۰,۹۸	۰,۸۰	۰,۹۷
Fe3	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Sum_T	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰
Al	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۱۱	۰,۰۷	۰,۰۷
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe3	۰,۷۱	۰,۴۳	۰,۵۹	۰,۴۴	۰,۳۵	۰,۴۹	۰,۳۰	۰,۳۱	۰,۲۳
Ti	۰,۰۵	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۱۸	۰,۱۴	۰,۱۶
Mg	۲,۹۸	۲,۸۴	۳,۰۷	۳,۱۲	۳,۰۹	۳,۱۴	۳,۰۸	۳,۰۷	۳,۱۲
Fe2	۱,۱۷	۱,۶۱	۱,۲۳	۱,۲۹	۱,۳۹	۱,۲۰	۱,۲۷	۱,۳۷	۱,۳۷
Mn	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲
Ca	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Sum_C	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰
Mg	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe2	۰,۱۸	۰,۰۲	۰,۰۷	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۵
Mn	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲
Ca	۱,۵۵	۱,۹۰	۱,۷۷	۱,۷۴	۱,۸۰	۱,۷۲	۱,۷۸	۱,۷۶	۱,۸۲
Na	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۱۱	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۰۹
Sum_B	۱,۸۵	۲,۰۰	۲,۰۰	۱,۹۴	۲,۰۰	۱,۹۴	۲,۰۰	۲,۰۰	۲,۰۰
Ca	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Na	۰,۰۹	۰,۲۰	۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۲۸	۰,۲۵	۰,۳۵
K	۰,۰۶	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۱۲
Sum_A	۰,۱۶	۰,۲۹	۰,۱۷	۰,۱۴	۰,۱۵	۰,۱۴	۰,۳۸	۰,۳۴	۰,۴۸
Sum_cat	۱۵,۰۱	۱۵,۲۹	۱۵,۱۷	۱۵,۰۹	۱۵,۱۶	۱۵,۰۸	۱۵,۳۸	۱۵,۳۴	۱۵,۴۸
Cl	۰,۱۳	۰,۱۳	۰,۰۷	۰,۰۹	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۲
F	۰,۰۲	۰,۰۶	۰,۱۳	۰,۰۴	۰,۱۲	۰,۰۹	۰,۰۰	۰,۱۰	۰,۲۸

ادامه جدول ۱ نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی آمفیبول دو توده‌ی نشوه (SN) و سلیجرد (SS).

Sample	SN ۴۴-۴	SN ۵۲-۱	SN ۵۲-۲	SN ۵۲-۳	SS ۲۳-۱	SS ۲۲-۲	SS ۲۳-۳	SS ۶۱-۱
SiO ₂	۴۸,۸۹	۵۱,۵۱	۴۸,۸۹	۵۱,۶۹	۴۵,۷۳	۴۸,۱۸	۵۰,۱۰	۵۴,۰۹
Al ₂ O ₃	۵,۱۴	۳,۰۶	۵,۲۴	۰,۰۶	۵,۹۱	۳,۹۷	۳,۰۷	۲,۲۲
TiO ₂	۱,۲۳	۰,۶۱	۱,۱۵	۰,۵۷	۱,۴۸	۰,۶۲	۰,۷۴	۰,۳۵
Cr ₂ O ₃	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳
FeO*	۱۴,۶۵	۱۳,۷۸	۱۴,۲۱	۱۴,۰۸	۱۸,۳۶	۲۲,۰۲	۱۹,۳۱	۸,۵۷
MgO	۱۳,۷۷	۱۵,۰۸	۱۳,۹۰	۱۵,۱۴	۱۱,۲۳	۹,۷۵	۱۱,۷۰	۱۸,۵۶
MnO	۱,۶۰	۱,۰۱	۰,۸۸	۰,۰۴	۰,۳۲	۰,۴۷	۰,۴۰	۰,۲۹
K ₂ O	۰,۵۲	۰,۲۶	۰,۴۹	۰,۲۵	۰,۷۷	۰,۴۲	۰,۲۷	۰,۱۸
CaO	۱۰,۹۲	۱۰,۹۳	۱۱,۴۸	۱۰,۹۸	۱۰,۸۳	۱۰,۵۳	۱۱,۱۴	۱۲,۱۸
Na ₂ O	۱,۲۹	۰,۸۸	۱,۳۲	۰,۸۴	۱,۸۹	۱,۱۶	۰,۹۵	۰,۵۱
Cl	۰,۱۱	-	-	-	-	-	-	۰,۰۹
F	۰,۶۸	-	-	-	-	-	-	۰,۸۶
Total	۹۷,۸۶	۹۷,۱۷	۹۷,۶۰	۹۷,۶۹	۹۶,۵۸	۹۷,۱۶	۹۷,۷۳	۹۷,۹۶
O-F-Cl	۰,۳۱	-	-	-	-	-	-	۰,۳۸
O-F	۰,۲۹	-	-	-	-	-	-	۰,۳۶
O-Cl	۰,۰۳	-	-	-	-	-	-	۰,۰۲
Si	۷,۱۹	۷,۴۸	۷,۱۶	۷,۴۶	۶,۹۵	۷,۳۰	۷,۴۴	۷,۶۷
Al	۰,۸۰	۰,۴۷	۰,۸۳	۰,۴۸	۱,۰۱	۰,۶۶	۰,۵۱	۰,۳۲
Fe3	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۰
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Sum_T	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰
Al	۰,۰۹	۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۴
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe3	۰,۳۵	۰,۴۰	۰,۲۸	۰,۴۲	۰,۲۸	۰,۴۱	۰,۳۰	۰,۲۱
Ti	۰,۱۳	۰,۰۶	۰,۱۲	۰,۰۶	۰,۱۷	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۳
Mg	۳,۰۲	۳,۲۶	۳,۰۳	۳,۲۶	۲,۵۴	۲,۲۰	۲,۵۹	۳,۹۲
Fe2	۱,۳۵	۱,۱۵	۱,۴۲	۱,۱۵	۱,۹۳	۲,۲۳	۱,۹۷	۰,۷۵
Mn	۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۱
Ca	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Sum_C	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰
Mg	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe2	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۰۳	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۰۵
Mn	۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۱
Ca	۱,۷۲	۱,۷۰	۱,۸۰	۱,۷۰	۱,۷۶	۱,۷۱	۱,۷۷	۱,۸۵
Na	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۲	۰,۰۷
Sum_B	۲,۰۰	۱,۹۶	۲,۰۰	۱,۹۵	۲,۰۰	۲,۰۰	۲,۰۰	۱,۹۹
Ca	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Na	۰,۲۲	۰,۱۲	۰,۲۷	۰,۱۲	۰,۴۳	۰,۱۸	۰,۱۵	۰,۰۷
K	۰,۰۹	۰,۰۴	۰,۰۹	۰,۰۴	۰,۱۵	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۰۳
Sum_A	۰,۳۲	۰,۱۷	۰,۳۶	۰,۱۶	۰,۵۸	۰,۲۷	۰,۲۰	۰,۱۰
Sum_cat	۱۵,۳۲	۱۵,۱۳	۱۵,۳۶	۱۵,۱۲	۱۵,۵۸	۱۵,۲۷	۱۵,۲۰	۱۵,۰۹
Cl	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲
F	۰,۳۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۸

جدول ۲ نتایج آنالیز ریزپرداز الکترونی کانی پلازیوکلاز برای دو توده نشوه (SN) و سلیجرد (SS).

Sample	SN ۱۰-۱	SN ۱۰-۲	SN ۱۰-۳	SN ۱۰-۴	SN ۱۱-۱	SN ۱۱-۲	SN ۴۴-۱	SN ۴۴-۲	SN ۴۴-۳	SN ۴۴-۴	SS ۲۳-۱	SS ۶۱-۱
SiO ₂	۵۳,۵۵	۴۷,۵۵	۵۶,۴۶	۵۱,۱۰	۴۵,۳۲	۵۷,۰۵	۵۳,۹۹	۵۴,۶۰	۵۶,۱۹	۶۳,۰۸	۵۷,۳۵	۵۸,۱۸
Al ₂ O ₃	۲۸,۵۱	۳۲,۴۷	۲۶,۵۸	۲۹,۶۹	۳۳,۴۰	۲۶,۴۰	۲۸,۳۹	۲۷,۷۹	۲۶,۷۲	۲۲,۲۷	۲۶,۲۳	۲۴,۷۴
FeO*	۰,۳۲	۰,۴۱	۰,۲۶	۰,۴۱	۰,۵۰	۰,۳۸	۰,۳۳	۰,۳۲	۰,۳۳	۰,۱۶	۰,۲۷	۰,۶۶
K ₂ O	۰,۲۲	۰,۰۶	۰,۲۳	۰,۱۷	۰,۰۳	۰,۳۲	۰,۲۳	۰,۳۰	۰,۲۵	۰,۵۲	۰,۳۳	۰,۲۶
CaO	۱۱,۹۳	۱۶,۷۱	۹,۶۷	۱۳,۵۰	۱۸,۳۷	۹,۳۰	۱۱,۸۱	۱۱,۱۸	۱۰,۰۰	۴,۱۳	۹,۰۳	۸,۲۰
Na ₂ O	۴,۸۴	۲,۱۸	۶,۲۱	۳,۷۹	۱,۲۹	۶,۲۱	۴,۷۸	۵,۲۸	۵,۹۸	۹,۱۰	۶,۴۷	۶,۹۹
TiO ₂	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۳
MgO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	-	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	-	-
MnO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱
Cr ₂ O ₃	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۱	-	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	-
Total	۹۹,۴۵	۹۹,۴۵	۹۸,۴۸	۹۸,۷۲	۹۸,۹۹	۹۹,۷۲	۹۹,۵۷	۹۹,۵۲	۹۹,۵۰	۹۹,۳۰	۹۹,۷۷	۹۹,۱۱
Si	۹,۷۶	۸,۷۹	۱۰,۲۲	۹,۴۳	۸,۴۷	۱۰,۲۹	۹,۸۲	۹,۹۳	۱۰,۱۸	۱۱,۲۵	۱۰,۳۳	۱۰,۵۵
Al	۶,۱۲	۷,۰۷	۵,۶۶	۶,۴۵	۷,۳۵	۵,۶۱	۶,۰۸	۵,۹۵	۵,۷۰	۴,۶۸	۵,۵۶	۵,۲۸
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe2	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۱۰
Ca	۲,۳۳	۳,۳۱	۱,۸۷	۲,۶۷	۳,۶۸	۱,۷۹	۲,۳۰	۲,۱۷	۱,۹۴	۰,۷۹	۱,۷۴	۱,۵۹
Na	۱,۷۱	۰,۷۸	۲,۱۸	۱,۳۵	۰,۴۶	۲,۱۷	۱,۶۸	۱,۸۶	۲,۱۰	۲,۱۵	۲,۲۶	۲,۴۶
K	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۱۲	۰,۰۷	۰,۰۶
Ab	۴۱,۸۰	۱۹,۱۰	۵۳,۱۰	۳۳,۳۰	۳۰,۱۱	۵۳,۷۰	۴۱,۷۰	۴۵,۳۰	۵۱,۲۰	۷۷,۶۰	۵۵,۴۰	۵۹,۸۰
An	۵۶,۹۰	۸۰,۵۰	۴۵,۶۰	۶۵,۶۰	۸۸,۵۰	۴۴,۴۰	۵۶,۹۰	۵۳,۰۰	۴۷,۳۰	۱۹,۵۰	۴۲,۷۰	۳۸,۷۰
Or	۱,۳۰	۰,۴۰	۱,۳۰	۱,۰۰	۰,۲۰	۱,۹۰	۱,۴۰	۱,۷۰	۱,۵۰	۳,۰۰	۱,۹۰	۱,۵۰

می‌شود. ترکیب آمفیبیول‌ها، با توجه به زاویه‌ی خاموشی بیشتر از نوع هورنبلند هستند. معمولاً مقدار کانی‌های مافیک در گرانیتوئیدها خیلی کمتر از کانی‌های فلزیک است و تقریباً ۱۰ تا ۱۵ درصد حجم کل مقاطع را اشغال می‌کنند. پیروکسن به عنوان کانی فرعی در برخی از نمونه‌ها به صورت سبز کمرنگ مایل به زرد، بی‌شکل و با برجستگی هایی دیده می‌شوند. دیگر کانی مافیک موجود در مقاطع، بیوتیت است که معمولاً به رنگ قهوه‌ای تا سبز زیتونی دیده می‌شود. این کانی در مقاطع مورد بررسی بیشتر شکل‌دار و بیشتر با اندازه‌های ریز تا میان دانه دیده می‌شود و در مواردی به صورت جزئی یا کامل برخی از دانه‌های بیوتیت به کلریت تبدیل شده‌اند [۴,۳].

توده‌ی نفوذی بزرگ سلیجرد با گستردگی حدود ۲۰ کیلومتر مربع در شمال غربی ساوه در اطراف روستای سلیجرد، با ترکیب کوارتزدیوریت، گرانیت و تونالیت، واحدهای آتشفسانی ائوسن را در بخش شمالی توده‌ی قطع کرده است. توده مورد نظر در جنوب با رانش‌های آبرفتی جوان و مخروطاً فکنه‌های درشت دانه کم ارتفاع و رانش‌های قدیمی احاطه شده است. در بعضی قسمت‌های این توده، آبرفت‌های رودخانه‌ای کواترنری

زمین‌شناسی و سنگنگاری توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی شمال غربی ساوه

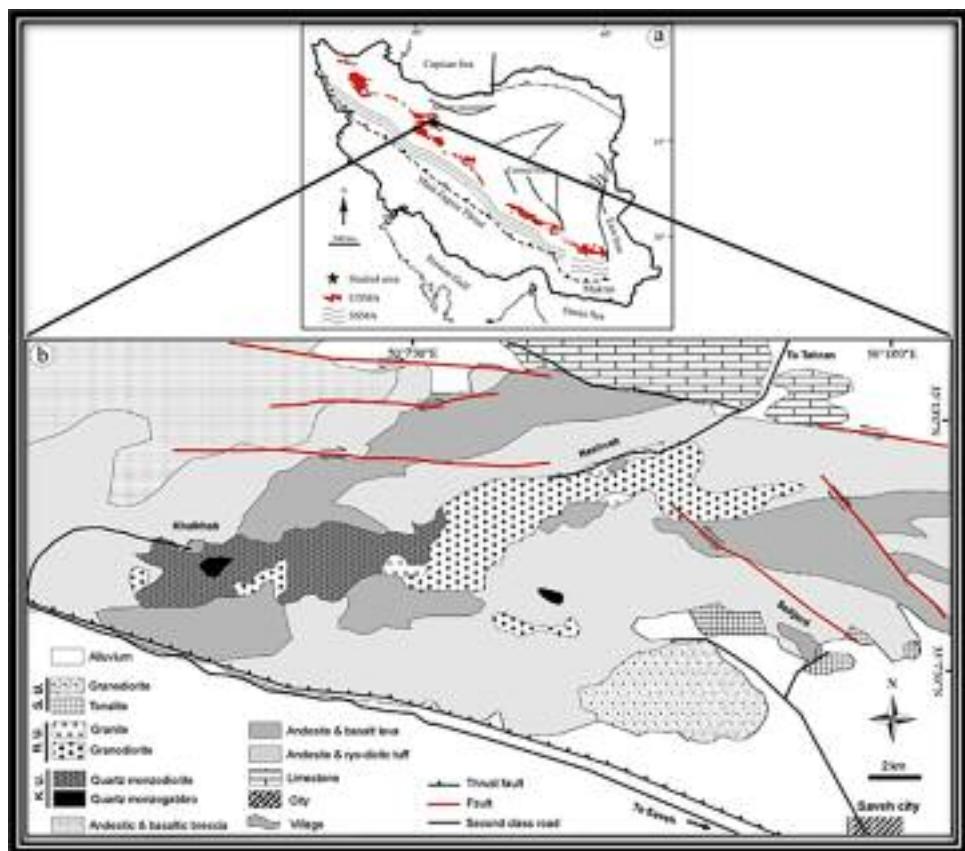
از نظر زمین‌شناسی منطقه‌ی ساوه بخشی از ایران مرکزی بوده و در کمان ماقمایی ارومیه-دختر واقع شده است [۲]. توده‌های نفوذی مورد بررسی شامل توده‌ی گرانودیوریتی نشوه و توده‌ی گرانودیوریتی، کوارتزدیوریتی، گرانیتی سلیجرد در شمال غرب ساوه قرار دارند (شکل ۱). توده‌ی گرانودیوریتی نشوه با گسترش تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع در جنوب روستای نشوه قرار دارد. سن توده جوانتر از سنگ‌های آتشفسانی ائوسن است. سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی نشوه از نوع گرانودیوریت، کوارتز مونزودیوریت، کوارتزدیوریت و گرانیت هستند [۳]. کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌های این توده از کوارتزهای بی‌شکل، پلازیوکلазهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، فلدسپار قلیایی، بیشتر عمده‌ای از نوع ارتوکلаз، کانی‌های آمفیبیول و بیوتیت و کانی‌های ثانوی نظیر کلریت و سریسیت تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین و فراوانترین کانی مافیک موجود در مقاطع آمفیبیول است. این کانی معمولاً زیر نور طبیعی به رنگ سبز، قهوه‌ای و یا زرد متمایل به قهوه‌ای و به صورت شکل‌دار دیده

بحث و بررسی

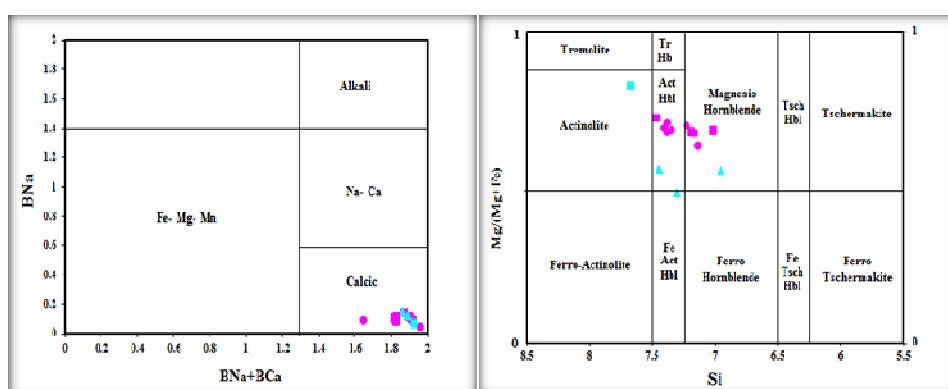
ترکیب شیمی کانی آمفیبول

در مجموعه‌ی نفوذی شمال غرب ساوه، آمفیبول مهم‌ترین کانی مافیک موجود در سنگ‌های منطقه است. برای بررسی آمفیبول‌های این دو توده، در کل ۱۷ نقطه مورد تجزیه‌ی ریز پردازش الکترونی قرار گرفتند که ۱۳ نقطه به توده‌ی نشو و ۴ نقطه از توده سلیجرد بوده‌اند و نتایج محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها بنابر فرمول استاندارد [۵] آمفیبول $\text{AB}_2\text{C}_5^{\text{IV}}\text{T}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ بر پایه‌ی ۲۳ اکسیژن و ۱۵ کاتیون در موقعیت چار وجهی و هشت وجهی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. چنانکه شکل ۲ نشان می‌دهد، بر اساس رده‌بندی لیک [۵] ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی، جزء گروه آمفیبول‌های کلسیک و در زیر گروه اکتینولیت‌هورنبلنند تا منیزیو‌هورنبلنند قرار می‌گیرند. برخی از پژوهشگران [۶، ۷]، حضور آمفیبول‌های کلسیک در سنگ‌های گرانیتوئیدی را نشانه‌ی وابستگی این سنگ‌ها به توده‌های نفوذی نوع I می‌دانند.

سطح گرانیت‌ها را پوشانده است. این توده از نظر قلیایی بودن، دارای ویژگی‌های ماقمایتیسم نوع آندی یعنی آهکی- قلیایی و نوع I بوده و ترکیب شیمیایی آن از حاشیه به مرکز اسیدی‌تر می‌شود [۴]. ترکیب کانی‌های اصلی این سنگ‌ها شامل پلازیوکلاز (آلبیت و الیگوکلاز)، فلدسپار قلیایی، کوارتز و آمفیبول (هورنبلنند، ترمولیت و اکتینولیت) است. سنگ‌های گرانیتی این توده عموماً میان دانه‌ای هستند و دارای بافت‌های دانه‌ای و ریز دانه‌ای بوده و از کانی‌های اصلی پلازیوکلاز، کوارتز و فلدسپار قلیایی و کانی‌های فرعی آمفیبول و بیوتیت تشکیل شده‌اند. کانی‌های منیتیت و اسفن و دیگر کانی‌های کدر به صورت ادخال در کانی‌های پلازیوکلاز، کوارتز و بیوتیت دیده می‌شوند [۴، ۳]. رضاپایی و همکاران [۳] با استفاده از شواهد زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی نشان داد اند که این توده‌ها در اثر فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس به زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران مرکزی تشکیل شده و ویژگی‌های گرانیتوئیدهای قوسی را نشان می‌دهند.



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه اقتباس از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساوه [۲] که توسط [۳] تصحیح شده است. KN توده‌ی خلخاب- نشو و Se توده‌ی سلیجرد.

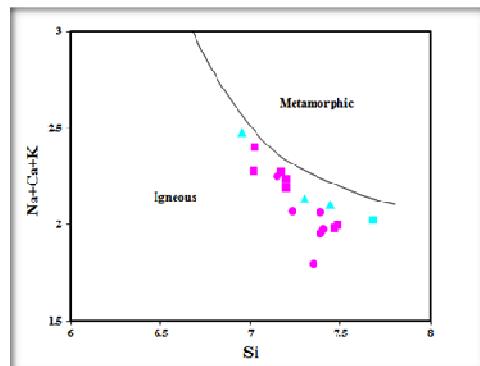


شکل ۲ ردبهندی آمفیبول‌های توده‌های گرانیتی‌یدی نشووه و سلیجرد بر اساس ترکیب شیمیایی آن‌ها [۵]. (نمادهای تیره رنگ توده نشووه و نمادهای خاکستری توده سلیجرد را به نمایش می‌گذارند. دایره‌ها نشانگر نمونه‌های گرانوپیوریتی و مربع‌ها نشانگر نمونه‌های گرانیتی‌اند).

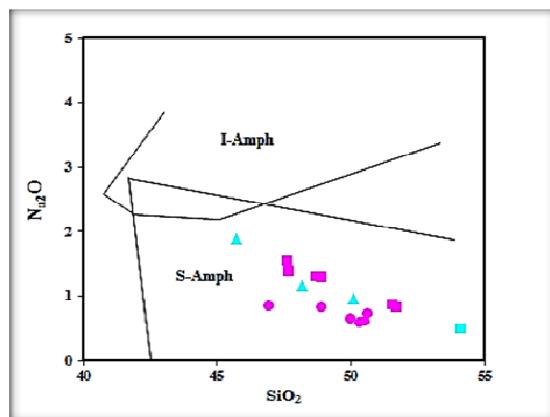
آمفیبول‌های وابسته به مناطق فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۴). این نتیجه با نتایج حاصل از تعیین محیط زمین‌ساختی با استفاده از ترکیب عناصر اصلی بیوتیت‌های موجود در همین توده‌ها [۴] و نیز با نتایج ژئوشیمی سنگ کل همخوانی دارند [۳]. از طرف دیگر مقدار $\text{Al}^{IV} = 1.5$ به عنوان مرز وجود آمد. محیط تکتونوماگمایی آمفیبول‌ها در نظر گرفته شده است. به گونه‌ای که ارقام بالاتر از ۱/۵ به آمفیبول‌های وابسته‌اند است که در فشارهای در حدود ۱۰ کیلوبار و در محیط‌های زمین‌ساختی جزائر قوسی شکل می‌گیرند و ارقام پائین‌تر از ۱/۵ معرف آمفیبول‌های تشکیل شده در کرانه‌های فعال قاره‌ای در فشارهای کمتر از ۵ کیلوبار هستند [۱۰-۱۲]. بر این اساس و با توجه به مقادیر Al^{IV} (جدول ۱) همه‌ی آمفیبول‌های منطقه‌ی مورد بررسی مقادیر کمتر از ۱/۵ داشته و در قلمرو حاشیه‌ی فعال قاره‌ای وابسته به فرورانش قرار می‌گیرند که با نتایج حاصل از بررسی ژئوشیمی سنگ کل همخوانی دارند [۳].

تمیز دادن آمفیبول‌های آذرین از آمفیبول‌های دگرگون آمفیبول‌های آذرین و دگرگون به وسیله شاره [۸] براساس مجموع کاتیون‌های $\text{Na} + \text{K} + \text{Ca}$ نسبت به Si از هم جدا می‌شوند. بنابراین ردبهندی، نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی آمفیبول‌های حاصل از تبلور ماقما قرار گرفته و از آمفیبول‌های حاصل از فرآیند دگرگونی تمیز داده شدند (شکل ۳).

تعیین محیط زمین ساختی آمفیبول‌ها از ویژگی‌های ژئوشیمیایی آمفیبول‌ها که بیشتر بر پایه‌ی بررسی زینولیت‌های گوشته‌ای حاصل شده اند، برای مقایسه ویژگی‌های دگرنهادی محیط‌های تکتونوماگمایی مختلف (به‌ویژه محیط‌های فرورانش (subduction) و درون‌صفحه‌ای (intraplate)) استفاده شده است [۹]. آمفیبول‌های وابسته به فرورانش، Na_2O ، TiO_2 و S-Amph پایین‌تری نسبت به انواع میان‌صفحه‌ای (I-Amph) دارند. براساس نمودار ردبهندی تکنوماگمایی کولتورتی [۹] آمفیبول‌های منطقه در گستره‌ی



شکل ۳ جداسازی آمفیبول‌های حاصل از فرآیندهای آذرین و آمفیبول‌های دگرگونی به روش شاری [۸]. علامت شبیه شکل ۲ انتخاب شده‌اند.



شکل ۴ نمودار رده‌بندی تکتونوماگمای آمفیبول‌های توده‌های شمال غرب ساوه [۹]. علامت شبیه شکل ۲ انتخاب شده‌اند.

خواهد بود. ولی مقدار Al موجود در آمفیبول‌ها با شرایط محیط و مجموعه‌ای از عوامل تغییر کرده و در نتیجه باعث خطا در فشار محاسبه شده می‌شود. لذا آمفیبول باید دارای ویژگی‌هایی به شرح زیر باشد تا تعیین فشار واقعی انجام شود [۱۳-۱۶]. اولین ویژگی وجود مجموعه کانی‌های کوارتز، فلدسپار، قلیایی، پلازیوکلاز، بیوتیت، هورنبلند، اکسیدهای آهن، تیتانیم و تیتانیت در سنگ است. دیگر پارامترهای مؤثر، فشار، دما، گریزندگی اکسیژن و ترکیب سنگ کل است که همگی در مقدار Al موجود در هورنبلند نقش دارند. هورنبلند در دماهای نزدیک به مرز انجام علاوه بر کانی‌های یاد شده با گدازه و فاز شاری به تعادل می‌رسد که به دنبال انجام و سردشدن مگما تعادل هورنبلند با کانی‌های یاد شده نقصان می‌یابد تا در نهایت مگما کاملاً متبلور شود. بنابراین ترکیب هورنبلند، فشار (عمق تبلور) انجام داده مگما را بازتاب می‌دهد [۱۷، ۱۶، ۷]. در همه‌ی روش‌های برآورد فشار به جز روش اندرسون و اشمیت [۱۸]، فقط از روی میزان آلومینیوم موجود در هورنبلند و بدون توجه به پارامترهای دیگری چون دما محاسبه می‌شود. بیشتر فشارسنجی‌های یاد شده در فشارهای بالا کاربرد دارند و در فشار پائین مقادیر به دست آمده گاهی کمتر (و حتی منفی) از میزان خطای فرمول فشارسنجی است.

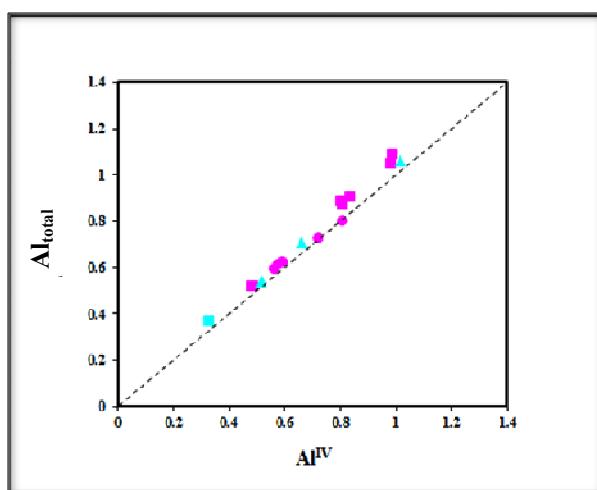
با استفاده از نمودار ۶ که براساس پارامتر Al کل نسبت به $Fe^{*}/(Mg+Fe^{*})$ طراحی شده است [۱۶]، می‌توان ارزیابی کرد که آمفیبول‌های دو توده‌ی نشو و سلیجرد در گستره‌ی فشاری ۰.۳ تا ۰.۲۵ کیلوبار (عمق تقریبی ۱ تا ۴.۵ کیلومتر) متبلور شده باشند. وجود بافت گرانوفیری و پورفیروئیدی در مقاطع میکروسکوپی سنگ‌های این دو توده نیز فشار کمتر از ۲ کیلوبار را برای این سنگ‌ها پیشنهاد می‌کند [۶].

زمین‌دما-فشارسنجی

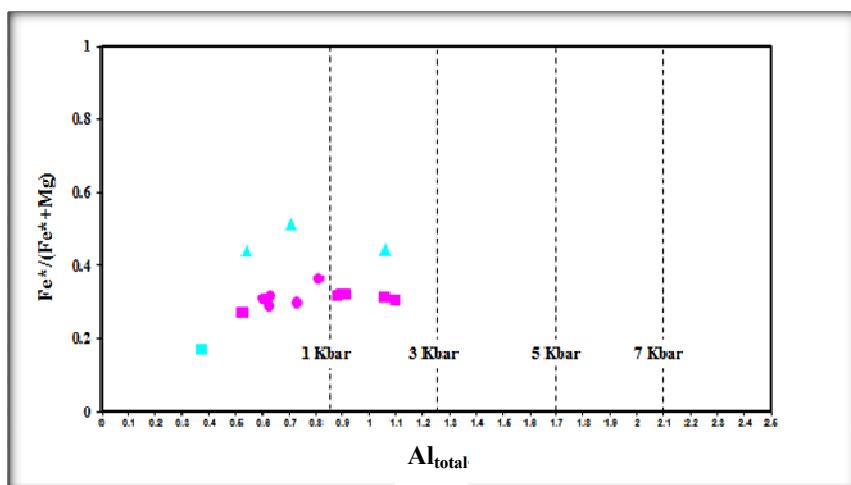
آمفیبول یکی از فراوان‌ترین کانی‌های تیره در توده‌های آذرین نفوذی شمال غرب ساوه است. این پدیده گویای غنی بودن مگما در حال تبلور از سازند آب است. عموماً از آمفیبول برای تعیین فشار حاکم بر محیط تبلور مگما در مجموعه‌های گرانیتوئیدی استفاده می‌شود (البته با در نظر گرفتن شرایط خاصی که به وجود تعادل بین کانی‌های مورد نظر وابسته است). آمفیبول بهترین کانی در دما و فشارسنجی در سنگ‌های آذرین آهکی-قلیایی است، زیرا تقریباً در تمام توده‌های نفوذی آهکی-قلیایی صرفاً از ترکیب‌های بازی، حدواسط یا اسیدی متبلور می‌شود و در گستره‌ی گستردگی از دما و فشار از ۱ تا ۲۳ کیلوبار و در دمای ۴۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد پایدار است [۷، ۵].

زمین‌فشارسنجی

آمفیبول‌های گرانیتوئیدها به طور وسیعی برای برآورد فشار و عمق جایگزینی توده‌های گرانیتوئیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۳-۱۶]. به عقیده‌ی هامرسترام [۱۳] نیز در سنگ‌های گرانیتی فشار تبلور شدیداً مقدار Al را کنترل می‌کند. شکل ۵ نشان می‌دهد که یک برآش خوبی بین Al کل و Al^{IV} آمفیبول‌های توده‌های گرانیتوئیدی نشو و سلیجرد وجود دارد و کاملاً شبیه به مواردی است که توسط هامرسترام و زن [۱۳] برای زمین‌فشارسنجی مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های فشارسنجی برای آمفیبول، مبتنی بر اندازه‌گیری مقدار Al موجود در آمفیبول‌اند. زیرا مقدار Al در ارتباط مستقیم با عمق جایگزینی توده‌های است. هرچه مقدار Al موجود در آمفیبول بیشتر باشد مقدار محاسبه شده‌ی عمق بیشتر



شکل ۵ همخوانی خطی Al^{IV} و Al_{total} در آمفیبول‌های واحد کوارتزدیوریتی توده‌های گرانیتوئیدی نشو و سلیجرد. علامت شبیه شکل ۲ انتخاب شده‌اند.



شکل ۶ نمودار Al_{total} نسبت به XFe^* آمفیبول‌ها که محدوده فشار تشکیل توده‌های گرانیتوئیدی نشو و سلیجرد را نشان می‌دهد [۱۶].

است. مقادیر منفی فشار و عمق محاسبه شده می‌تواند بدليل عمق بسیار کم تشکیل توده‌ها باشد.

اندرسون و اشمیت (۱۹۹۵) [۱۸] نشان دادند که مقدار Al کل نه تنها به فشار بلکه به دمای محیط و گرینزندگی اکسیژن نیز در ارتباط است و فرمولی را به صورت زیر ارائه دادند:

$$P (\pm 0.6 \text{ kbar}) = -3.01 + 4.76 Al_{total} - \{(T [^{\circ}\text{C}] - 675)/85\} * \{0.53 Al_{total} + 0.005294 * (T [^{\circ}\text{C}] - 675)\} \\ r^2 = 0.99$$

این رابطه دارای کمترین خطا نسبت به روش‌های دیگر است. نتایج محاسبات فشارسنجی با این روش در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. چنانکه پیش‌تر از این گفته شد فقط می‌توان از آنالیزهای حاشیه‌ی بلور از این رابطه استفاده کرد.

در این بررسی برای برآورد فشار تبلور آمفیبول‌های انتخابی از چهار روش مرسوم زمین‌شناسختی، بر اساس محتوای Al موجود در هورنبلند استفاده شده است [۱۳-۱۶] و نتایج حاصل از محاسبه فشار تبلور آمفیبول‌های دو توده نشو و سلیجرد، همراه با فرمول‌های مربوط در جدول ۳ ارائه شده‌اند. چنانکه ملاحظه می‌شود، میانگین فشارهای محاسبه شده در بهترین حالت بین $0/3$ تا $1/25$ کیلوبار (عمق تقریبی $1/4/5$ کیلومتر) است. به طور کلی میزان تغییرات با توجه به انحراف‌های استاندارد به دست آمده برای هر یک از این روش‌ها، نسبتاً ناچیز است. در همه‌ی روش‌های فوق چنانچه در بالا یادآوری شدند، فشار موجود در محیط فقط به مقدار Al کل نسبت داده شده و سایر پارامترها نظری دمای محیط و مورد توجه نبوده

جدول ۳ محاسبه فشار تشکیل بلورهای مختلف آمفیبول توده‌های گرانیتوئیدی با استفاده از چهار روش زمین‌فشارستنجی (مستقل از دما) بر مبنای مقدار آلومینیوم کل موجود در هورنبلند.

Sample	۱	۲	۳	۴
نشوه				
SN ۱۰-۱	-۰,۹	۰,۹	-۰,۲	-۱,۴
SN ۱۰-۲	۰,۱	-۰,۱	۰,۸	-۰,۲
SN ۱۰-۳	-۰,۳	-۰,۴	۰,۵	-۰,۶
SN ۱۰-۴	۰,۸	۰,۹	-۰,۱	۱,۳
SN ۱۱-۱	-۰,۸	-۰,۸	۰,۰	۱,۲
SN ۱۱-۲	۰,۸	-۰,۸	-۰,۱	۱,۳
SN ۴۴-۱	۱,۶	۱,۲	۲,۲	۱,۴
SN ۴۴-۲	۰,۵	۰,۲	۱,۲	۰,۲
SN ۴۴-۳	۱,۴	۱,۰	۲,۰	۱,۲
SN ۴۴-۴	۰,۶	۰,۳	۱,۲	۰,۳
SN ۵۲-۱	-۱,۳	-۱,۲	-۰,۵	-۱,۸
SN ۵۲-۲	۰,۶	۰,۴	۱,۳	۰,۳
SN ۵۲-۳	۱,۳	۱,۳	-۰,۵	-۱,۸
Average[kbar]	-۰,۱	-۰,۳	۰,۶	-۰,۵
سیلیجرد				
SS ۲۲-۱	۱,۴	۱,۰	۲,۰	۱,۲
SS ۲۲-۲	-۰,۴	-۰,۵	۰,۴	-۰,۸
SS ۲۲-۳	۱,۲	-۱,۲	-۰,۴	-۱,۷
SS ۶۱-۱	-۲,۱	۱,۹	-۱,۲	-۲,۷
Average[kbar]	-۰,۶	-۰,۶	۰,۲	-۱,۰

۱.P ($\pm \sigma$ Kbar) = -۲,۹۲ + ۵,۰۳ Al (total), [۱۳]; ۲. P ($\pm \sigma$ 5kbar) = -۳,۴۶ + ۴,۲۳ Al (total), [۱۵];

۳.P ($\pm \sigma$ 6kbar) = -۳,۰۱ + ۴,۷۶ Al (total), [۱۶]; ۴. P ($\pm \sigma$ 10kbar) = ۴,۷۶ + ۵,۶۴ Al (total), [۱۴].

جدول ۴ محاسبه فشار تشکیل بلورهای مختلف آمفیبول توده‌های گرانیتوئیدی با استفاده از روش زمین‌فشارستنجی اندرسون و اشمیت (۱۹۹۵) [۱۸] بر مبنای مقدار آلومینیوم کل موجود در هورنبلند با احتساب دمای تبلور.

Sample	T=۵۰۰°C	T=۶۰۰°C	T=۷۰۰°C	T=۸۰۰°C
نشوه				
SN ۱۰-۱	-۱۰,۲	-۸,۱	-۷,۲	-۷,۶
SN ۱۰-۲	-۴,۲	-۲,۷	-۲,۵	-۳,۵
SN ۱۰-۳	-۶,۴	-۴,۷	-۴,۲	-۵,۰
SN ۱۰-۴	-۹,۸	-۷,۷	-۶,۹	-۷,۳
SN ۱۱-۱	-۹,۵	-۷,۴	-۶,۶	-۷,۱
SN ۱۱-۲	-۹,۶	-۷,۶	-۶,۸	-۷,۲
SN ۴۴-۱	۴,۳	۴,۹	۴,۲	۲,۳
SN ۴۴-۲	-۲,۱	-۰,۸	-۰,۸	-۲,۰
SN ۴۴-۳	۱,۳	۳,۸	۳,۳	۱,۵
SN ۴۴-۴	-۱,۶	-۰,۴	-۰,۴	-۱,۷
SN ۵۲-۱	-۱۲,۴	-۱۰,۰	-۸,۹	-۹,۱
SN ۵۲-۲	-۱,۲	۰,۰	-۰,۱	-۱,۴
SN ۵۲-۳	-۱۲,۵	-۱۰,۱	-۰,۹	-۹,۱
Average[kbar]	-۵,۵	-۳,۹	-۳,۵	-۴,۴
سیلیجرد				
SS ۲۲-۱	۳,۳	۴,۰	۳,۴	۱,۶
SS ۲۲-۲	-۷,۰	-۵,۲	-۴,۷	-۵,۴
SS ۲۲-۳	-۱۲,۰	-۹,۷	-۸,۶	-۸,۸
SS ۶۱-۱	-۱۶,۹	-۱۴,۱	-۱۲,۵	-۱۲,۲
Average[kbar]	-۸,۲	-۶,۳	-۵,۶	-۶,۲

$$P (\pm \sigma \text{ kbar}) = -۳,۰۱ + ۴,۷۶ \text{ Al}_{\text{Total}} - \{(T [\text{ }^{\circ}\text{C}] - ۶۷۵) \cdot ۸,۵\} * \{0,۵۳ \text{ Al}_{\text{Total}} + ۰,۰۰۵۲۹۴ * (T [\text{ }^{\circ}\text{C}] - ۶۷۵)\}$$

و درصد An پلازیوکلاز آنها کمتر از ۰/۹۲ بوده و تعداد اتم Si در فرمول ساختاری آنها کمتر از ۷/۸ است، به کار می‌رود. نتایج آنالیز پلازیوکلازهای دارای این خصوصیات در جدول ۲ ارائه شده‌اند. ترکیب شیمی این پلازیوکلازها در گستره‌ی الیگوکلاز- لابرادوریت قرار می‌گیرد (شکل ۸). این زمین دماسنجد برای دمای‌های بین ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد قابل استفاده است. از آنجا که محاسبه‌ی دما در این روش زمین دماسنجد تابعی از فشار است، لازم است تا فشار نیز محاسبه شود. به همین منظور آمفیبیول و پلازیوکلازهای همزیست را انتخاب کرده و محاسبات زمین دماسنجد و زمین فشارسنجد برای آنها را انجام دادیم که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده‌اند. فشار در همه‌ی روابط دماسنجد با استفاده از زمین فشارسنجد اندرسون و اشمت [۱۸] محاسبه شد. این دماسنجد براساس رابطه زیر استوار است:

$$T (\pm 311 \text{ kbar}) = 0.677P (\text{kbar}) - 48.98 + Y_{\text{Ab}}/0.0429 - 0.0083144 \ln (Si - 4/8 - Si) X_{\text{ab}}^{\text{Plg}}$$

در این رابطه T دمای تعادلی بر حسب کلوین، P فشار بر حسب کیلوبار، Si تعداد کاتیون‌های سیلیسیم در فرمول ساختاری آمفیبیول، $X_{\text{Ab}}^{\text{Plag}}$ میزان درصد آلبیت در پلازیوکلاز است. مقدار Y_{Ab} از روابط زیر به دست می‌آید:

$$X_{\text{Ab}} > 0.5, \quad Y_{\text{Ab}} = 0$$

$$X_{\text{Ab}} < 0.5, \quad Y_{\text{Ab}} = 8.06 + 25.5(1 - X_{\text{Ab}})^2$$

با استفاده از این روش دمای تعادل آمفیبیول و پلازیوکلاز در نمونه‌های گرانودیوریتی توده‌ی نشوه برابر با ۱۰۰۵/۶۹۳ درجه‌ی کلوین (۷۳۲/۵۴ درجه‌ی سانتیگراد) و برای نمونه‌های گرانیتی همین توده معادل ۹۲۵/۶۹ درجه‌ی کلوین (۶۵۲/۵۴ درجه‌ی سانتیگراد) برآورد می‌شود.

زمین دماسنجد

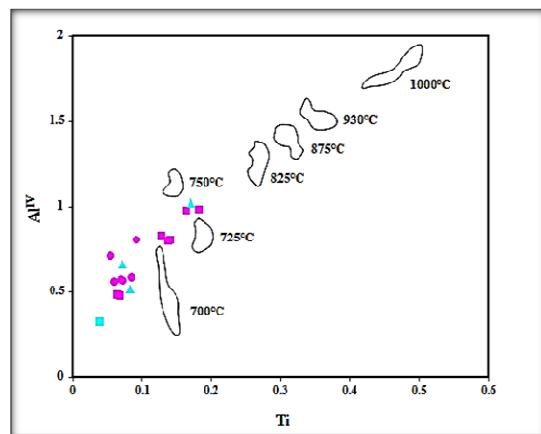
زمین دماسنجد هورنبلنده

بررسی‌های هولیستر (۱۹۸۳) [۱۴] نشان می‌دهد که برای ماگماهای آبدار با ترکیب تونالیتی و گرانودیوریتی دمای گدازه بین ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه‌ی سانتیگراد متغیر است، و این دما تقریباً مستقل از فشار است. با این وجود، اندرسون [۱۹] نشان داد که مقدار تیتانیم هورنبلنده با افزایش دما افزایش می‌یابد. همچنین هلز [۲۰] با استفاده از تغییرات مقدار آلومینیوم نسبت به تیتانیم در واحد فرمولی آمفیبیول‌ها، دمای تشکیل این کانی‌ها را ارزیابی کرده است. در این پژوهش با استفاده از تغییرات Ti^{IV} نسبت به Al^{IV}، دمای حدود ۷۵۰ تا ۷۰۰ درجه‌ی سانتیگراد برای تبلور هورنبلندهای گرانیت‌ویدهایی که ترکیب ماقمایی خود را حفظ کرده‌اند، به دست آمده است (شکل ۷).

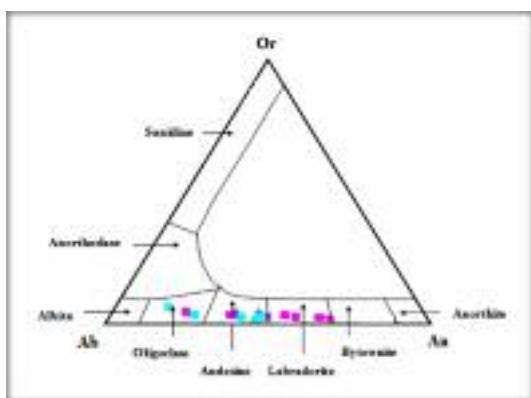
زمین دماسنجد هورنبلنده- پلازیوکلاز

روش بلوندی و هولاند [۲۱]

مهم‌ترین و شاید کاربردی‌ترین روش تعیین دمای توده‌های نفوذی گرانیت‌ویدهای، روش زمین دماسنجد هورنبلنده- پلازیوکلاز با سه رابطه‌ی متفاوت است. این روش یکی از روش‌های متداول برای دماسنجد سنگ‌های آهکی- قلیایی محسوب می‌شوند. بلوندی و هولاند [۲۱] روشی را برای دماسنجد بر اساس واکنش ادنیت- ترمولیت با استفاده از زوج آمفیبیول- پلازیوکلاز همzیست ارائه کردند. در این روش پلازیوکلازها باید دارای منطقه‌بندی باشند. بنابراین تنها از پلازیوکلازهایی استفاده شد که قادر منطقه‌بندی شده و با آمفیبیول‌هایی که مورد دما- فشارسنجدی قرار گرفته‌اند کاملاً همzیست باشند. این روش تنها برای سنگ‌های اسیدی و حدوات که حاوی کوارتز



شکل ۷ محاسبه‌ی تقریبی دمای تشکیل آمفیبیول‌های گرانیت‌ویدهای نشوه و سلیجرد براساس روش هلز (۱۹۷۳) [۲۰].



شکل ۸ ردیابی جدا کننده پلازیوکلазها در توده‌های گرانیتوئیدی نشو و سلیجرد.

جدول ۵ محاسبه فشار تشکیل بلورهای مختلف آمفیبول توده‌های گرانیتوئیدی با استفاده از روش زمین دماستجی زوج هورنبلند-پلازیوکلاز.

Sample	1		2
نشو	T[±۳۱۱K]	T [°C]	T [°C]
SN ۱۰-۱	۱۰۱۵,۰۸	۷۴۱,۹۳	۶۴۷,۵۴
SN ۱۰-۲	۱۰۵۳,۶۲	۷۸۰,۴۷	۶۷۱,۵۳
SN ۱۰-۳	۹۵۶,۱۵	۶۸۳,۰۰	۶۶۲,۶۸
SN ۱۰-۴	۱۰۰۰,۸۹	۷۲۷,۷۴	۶۴۹,۱۷
SN ۱۱-۱	۹۸۳,۴۰	۷۱۰,۲۵	۶۵۰,۵۶
SN ۱۱-۲	۹۲۰,۰۲	۶۴۶,۸۷	۶۴۹,۸۷
SN ۴۴-۱	۱۱۱۵,۸۶	۸۴۲,۷۱	۷۰۵,۰۸
SN ۴۴-۲	۱۰۸۲,۲۵	۸۰۹,۱۰	۶۷۹,۸۰
SN ۴۴-۳	۱۰۱۵,۹۴	۷۴۲,۷۹	۷۰۰,۳۰
SN ۴۴-۴	۹۱۳,۷۲	۶۴۰,۵۷	۶۸۱,۷۸
Average[kbar]	۱۰۰۵,۶۹	۷۳۲,۵۴	۶۶۹,۸۳
سلیجرد			
SS ۲۳-۱	۱۰۱۵,۶۸	۷۴۲,۵۳	۷۰۱,۱۲
SS ۶۱-۱	۸۳۵,۷۰	۵۶۲,۵۵	۶۲۰,۹۸
Average[kbar]	۹۲۵,۶۹	۶۵۲,۵۴	۶۶۱,۰۵

$$1. T (\pm 311 \text{ kbar}) = 0.677\text{VP} (\text{kbar}) - 4.8/9.8 + Y_{\text{Ab}}/(-0.0429 - 0.0083144 \ln(\text{Si}-\text{Al}-\text{Si})) X_{\text{ab}}^{\text{Plg}}, [21].$$

$$2. T [\text{°C}] = 654.9 + 25.3P, [12].$$

عمیق منطقه را متبلور کرده‌اند ولی شواهد سنگ‌شناختی مانند بافت پوروفیری سنگ‌ها وجود بافت‌های میرمکیتی و گرانوفیری حاکی از عمق نسبتاً کم توده‌های نشو و سلیجرد (۱ تا ۴ کیلومتر) است.

تعیین گریزندگی اکسیژن محیط تشکیل آمفیبول‌ها گریزندگی اکسیژن از جمله فاکتورهایی است که مجموعه کانی‌های سنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از روش‌های ارزیابی مقدار گریزندگی اکسیژن در سنگ‌های نفوذی، بررسی ترکیب آمفیبول‌هایی است که از نظر شیمیایی دارای $\text{Fe}^{*}/(\text{Fe}^{*}+\text{Mg}) > 0.3$ و $\text{Al}^{IV} > 0.75$ هستند [۱۸]. از میان نتایج ریز پردازشی آمفیبول‌های منطقه، منیزیوهرنبلندهای این سنگ‌ها دارای این شرایط هستند.

وینهال و همکاران [۱۲]

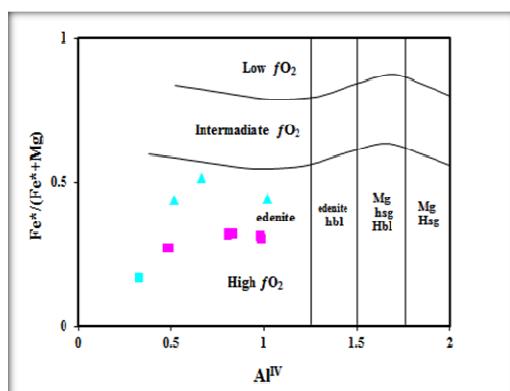
وینهال و همکاران [۱۲] نیز رابطه‌ی زیر را در فشارهای ۱-۲۰ کیلوبار و گریزندگی HM-QFM برای تعیین دمای تعادل هورنبلند همزیست با پلازیوکلاز ارائه کرده‌اند.

$$T [\text{°C}] = 654.9 + 25.3P$$

براساس فرمول بالا میانگین دمای توده‌ی نشو و سلیجرد به ترتیب $669,83$ و $661,04$ درجه‌ی سانتیگراد به دست آمدند (جدول ۵) که به نتایج دماستجی بلوندی و هولاند بسیار نزدیکاند. با توجه به کم بودن فشار در توده‌های منطقه، به نظر می‌رسد که آمفیبول نوع پارگاسیت همراه با پلازیوکلاز کلسیک به صورت فنوکریست از عمق زیاد ریشه گرفته و بدون تغییر شیمیایی به نزدیکی سطح زمین رسیده و سنگ‌های نیمه

اکسیژن با رابطه‌ی زیر از ونز [۲۲] تأیید می‌شود. برای نمونه‌های توده‌های نشوه و سلیجرد، مقدار میانگین Log fO_2 در زمان تشکیل سنگ، به ترتیب برابر با (bars) ۱۵/۸۱ و ۱۸/۷۴ - به دست آمده است (جدول ۶). قابل یادآوری است که حضور همزمان مگنتیت، اسفن و کوارتز همراه با آمفیبول در کوارتزموزنودیوریت‌ها، گرانودیوریت‌ها و گرانیت‌های منطقه نیز مبین بالا بودن گریزندگی اکسیژن در مagma‌ای سازنده‌ی این سنگ‌هاست [۲۲]. گریزندگی بالای اکسیژن نشان‌دهنده‌ی تشکیل این توده‌های گرانیتوئیدی در ارتباط با مرزهای ورقه‌ای همگراست [۱۹,۱۸]. همچنین حضور مگنتیت در این سنگ‌ها دلالت بر سری مگنتیت یا I-Type بودن این گرانیتوئیدها دارد [۲۳].

نسبت $(Fe^{IV+Mg})/(Fe^{IV}+Mg)$ در منیزیوهرنبلندها با افزایش روند جداش، از ۰/۳۱ تا ۰/۵۶ افزایش می‌یابد و مقدار آلومینیم چار وجهی از ۰/۴۷۹ تا ۱/۰۱۹ تغییر می‌کند. چنانکه در شکل ۹ نشان داده شد، آمفیبول‌های مورد بررسی در شرایط گریزندگی اکسیژن نسبتاً بالا تشکیل شده‌اند. در سنگ‌هایی که آمفیبول کلسيک دارند، ترتیب سنگ بیشتر غنی از سیلیس و آهن است. تغییر ترتیب آمفیبول‌ها، ناشی از تغییر در گریزندگی اکسیژن و فعالیت سیلیس magma‌ای است. در حقیقت هر چه گریزندگی اکسیژن کمتر باشد، Fe^{2+} می‌تواند به مقدار بیشتری در شبکه‌ی هورنبلنده جایگزین شود. بالا بودن نسبت Fe^{3+}/Fe^{2+} باعث جانشینی بیشتر Mg به وسیله Al می‌شود [۷]. این ادعا با محاسبه‌ی کمی مقدار گریزندگی (مدسانی) می‌دهد.



شکل ۹ نمودار گریزندگی اکسیژن بر پایه‌ی ترتیب آمفیبول‌ها [۱۸]. نمودار بالا بودن نسبی گریزندگی اکسیژن در زمان تبلور آمفیبول را نشان می‌دهد.

جدول ۶ مقادیر محاسبه شده‌ی Log fO_2 نمونه‌های توده‌های نشوه و سلیجرد [۲۲].

Sample	Log fO^2
نشوه	
SN ۱۰-۱	-۱۵/۵۳
SN ۱۰-۲	-۱۴/۲۹
SN ۱۰-۳	-۱۷/۳۲
SN ۱۰-۴	-۱۵/۹۵
SN ۱۱-۱	-۱۶/۵۰
SN ۱۱-۲	-۱۸/۶۷
SN ۴۴-۱	-۱۲/۴۹
SN ۴۴-۲	-۱۳/۴۷
SN ۴۴-۳	-۱۵/۲۱
SN ۴۴-۴	-۱۸/۷۱
Average[kbar]	-۱۵/۸۱
سلیجرد	
SS ۲۲-۱	-۱۵/۲۲
SS ۶۱-۱	-۲۲/۲۶
Average[kbar]	-۱۸/۷۴

- [۲] قلمقاش ج، فنودی م، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش ساوه، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۷۷).
- [۳] Rezaei-Kahkhaei M., Esmaeily D., Cor fu F., "Petrogenetic modeling of rock variety in the Khalkhab-Neshveh pluton, NW of Saveh, Iran", Island Arc (2011) 1440-1783.
- [۴] التجار ح، "بررسی شیمی کانی‌های اصلی توده‌های نفوذی شمال غرب ساوه، ایران مرکزی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران (۱۳۹۰).
- [۵] 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.A., Maresch W.V., Nicket E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N. Ungareti 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", European Journal of Mineralogy 9 (1997) 623-651.
- [۶] دادیان دهکردی ع، "شیمی کانی‌ها و شرایط فشار-دمای تبلور توده‌های گرانیتیوئیدی حاشیه‌ی رودخانه‌ی زاینده‌رود، پنهانی برشی شمال شهرکرد با نگرشی ویژه به حضور اپیدوت مگمایی، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۸۹) ۴۹۵-۵۱۰.
- [۷] Stein E., Dietl C., "Hornblende thermobarometry of granitoids from the Central Odenwald (Germany) and their implications for the geotectonic development of Odenwald:", Mineralogy and petrology 72 (2001) 185-207.
- [۸] Sial A.N., Ferreira V.P., Fallick A.E., Jeronimo M., Cruz M., "Amphibole-rich clots in calc-alkalic granitoids in the Borborema province northeastern Brazil", Journal of South American Earth Science, 11, (1998) 457-471.
- [۹] Coltorti M., Bondaiman C., Faccini B., Grégoire M., O'Reilly S.Y., Powell W., "Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle", Lithos, 99 (2007) 68-84.
- [۱۰] Miyashiro A., "Volcanic rock series in island arcs and active continental margins", American Journal of Sciences, 247 (1974) 321-355.
- [۱۱] Ghent E.D.J., Nicholls P.S., Simony J.H., Sevigny M.Z., "Hornblende barometry of the Nelson batholith, southeastern British Columbia: Tectonic implications", Canadian Journal of Earth Sciences, 28 (1991) 1982-1991.

$\text{Log } f\text{O}_2 = -30930/\text{T} + 14.98 + 0.142 (\text{P}-1)/\text{T}$
نتایج کمی و کیفی حاصل از تعیین گریزندگی اکسیژن با استفاده از کانی آمفیبول که در بالا به طور کامل بحث شد، با نتایج حاصل از تعیین گریزندگی اکسیژن به یاری کانی بیوتیت موجود در همین نمونه‌ها [۴] کاملاً همخوانی نشان داد.

برداشت

بررسی شیمی کانی آمفیبول در توده‌های منطقه‌ی شمال غرب ساوه نشان می‌دهد که:

۱- کلیه‌ی آمفیبول‌های مورد بررسی طی فرآیندهای آذرین تشکیل شده و در گروه آمفیبول‌های کلسیک و زیر گروه منیزیو-هورنبلند قرار می‌گیرند که شاخص توده‌های نفوذی نوع I هستند؛

۲- این آمفیبول‌ها بیشتر در گستره‌ی آمفیبول‌های وابسته به مناطق فروزانش (S-Amph) قرار می‌گیرند که با نتایج حاصل از تعیین محیط زمین‌ساختی با استفاده از ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها و زئوژیمی سنگ کل که در بررسی‌های قبلی بررسی شده‌اند، نیز همخوانی دارند.

۳- زمین- فشارسنجی براساس مقدار آلومینیوم موجود در آمفیبول‌های مورد بررسی، کمینه و بیشینه‌ی فشار ارزیابی شده معادل $0.3 \text{ to } 1/5$ کیلوبار و عمق تقریبی $1 \text{ to } 4/5$ کیلومتر را نشان می‌دهد.

۴- حضور همزمان مگنتیت، اسفن و کوارتز همراه با آمفیبول در کوارتز-مونزونیت‌های، گرانو-دیبوریت‌ها و گرانیت‌های منطقه، نشان دهنده‌ی بالا بودن گریزندگی اکسیژن در مگمای سازنده‌ی این سنگ‌هاست. این مطلب با محاسبه‌ی کمی مقدار گریزندگی (مدسانی) اکسیژن تأیید می‌شود که برای نمونه‌های توده‌های نشو و سلیجرد، میانگین $\text{Log } f\text{O}_2$ در زمان تشکیل سنگ، به ترتیب برابر با $-15/81$ و $-18/73$ - به دست آمده است. گریزندگی بالای اکسیژن نشان دهنده‌ی تشکیل این توده‌های گرانیتیوئیدی در ارتباط با مزه‌های ورقه‌های همگراست.

مراجع

- [۱] Stone D., "Temperature and pressure Variations in suites of Archean felsic plutonic rocks, Berens River area, North west superior province Ontario, Canada", Canadian Mineralogist, 38 (2000) 455-470.

- [17] Pal N., Pal D.C., Mishra B., Meyer F.M., "The evolution of the Palim granite in the Bastar tin province, Central India", Mineralogy and Petrology, 72 (2001) 281-304.
- [18] Anderson J.L., Smith D.R., "The effects of temperature and Fo_2 on the Al- in hornblende barometer", American Mineralogist 80 (1995) 549-559.
- [19] Anderson J.L., "Proterozoic anorogenic granite plutonism of North American", Geological Society of America Memoir 161 (1983) 133-152.
- [20] Helz R., "Phase reactions of basalts in their melting range at $P_{H_2O} = 5kb$, Part II, Melt composition", Journal of Petrology, 17 (1993) 139-193.
- [21] Blundy J.D., Holland T.J.B., "Calcic amphibole equilibria a new amphibole-plagioclase thermometer", Contributions to Mineralogy and petrology, 104 (1990) 208-224.
- [22] Wones D.R., "Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks", American Mineralogist, 74 (1989) 744-749.
- [23] Ishihara S., "The magnetite series and ilmenite- series granitic rocks", Mining Geology 27 (1977) 293-305.
- [12] Vynhal C.R., McSween H.Y.Jr., "Hornblende Chemistry in southern Appalachian granitoids Implications for aluminous hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability", American Mineralogist 76 (1991) 176-188.
- [13] Hammarstrom J.M., Zen E-an, "Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer", American Mineralogist 71(1986) 1297–1313.
- [14] Hollister L.S., Grissom G.e., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.R., "Confirmation of the empirical Correlation of Al in hornblende With Pressure of solidification of Calc – alkaline Phutons", American Mineralogist 72 (1987) 231-239.
- [15] Johnson M.C., Rutherford M.J., "Experimental Calibration of the aluminium in – hornbhende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) Volcanic rocks", Geology 17 (1989) 837-841.
- [16] Schmidth 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, 110 (1992) 304-310.