



بررسی شیمی کانی بیوتیت در توده‌های گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه، ایران مرکزی

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

۱- دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده زمین‌شناسی

۲- تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زمین

(دریافت مقاله: ۹۰/۱۱/۲۹، نسخه نهایی: ۹۱/۹/۶)

چکیده: ترکیب شیمی کانی بیوتیت در سنگ‌های گرانیتوئیدی آهکی-قلیایی با ویژگی‌های نوع I در شمال غرب ساوه دارای محتوای آلومینیم بسیار اندک در برابر مقادیر نسبتاً محدود $(\text{Fe} + \text{Mg})/\text{Fe}$ است. در نمودار رده‌بندی میکاها (ASPE) که بر پایه‌ی این دو پارامتر طراحی شده، موقعیت نمونه‌های بیوتیت شکل انباشتی داشته و روندی نشان نمی‌دهند که به احتمال دلالت بر میزان ناچیز یا عدم آلودگی پوسته‌ای سنگ میزبان گرانیتوئیدی در آنها باشد. این بیوتیت‌ها، ماقمایی بوده و در محیط با گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن تشکیل شده و صفات کالک آلکالن و I-type نشان می‌دهند که با ویژگی‌های تکتونوماقمایی پیشنهادی برای این توده‌ها یعنی محیط قوسی وابسته به فرورانش همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: گرانیتوئید؛ بیوتیت؛ ساوه؛ نشووه؛ خلخاب؛ ویژگی‌های ماقمایی.

ماقمایی ارومیه دختر به منظور آگاهی بیشتر مسائل سنگ‌زایی و تکتونوماقمایی این توده‌ها بکار گرفته شد تا مکمل داده‌ها و تعبیر و تفسیرهای ژئوشیمی و سنگ‌شناسی این سنگ‌ها از این دیدگاه باشد.

روش بررسی

در این پژوهش، نخست نمونه‌برداری دقیقی از توده‌های گرانیتوئیدی خلخاب و نشووه 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 شناسایی ویژگی‌های کانی‌شناختی و سنگ‌شناسی، تعداد ۷ مقطع که نمونه‌هایی سالم و فاقد دگرسانی بودند، برای تجزیه نقطه‌ای انتخاب شدند. تجزیه‌های نقطه‌ای بیوتیت‌ها در دانشگاه اسلو در نوروز (۶ نقطه از نمونه‌های خلخاب و ۱۱ نقطه از نشووه) با یک ریزپردازنده الکترونی مدل CAMECA SX 51 با

مقدمه

بیوتیت یکی از کانی‌های مهم فرمونیزین در سنگ‌های آذرین فلزیک است و در سنگ‌های آذرین مافیک به شکل فاز فرعی ظاهر می‌شود [۱]. از ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها برای بازتاب طبیعت تشکیل این کانی و پی بردن به شرایط فیزیکوشیمیایی ماقمایهای تشکیل‌دهنده‌ی آنها استفاده می‌شود. بیوتیت‌های آذرین اطلاعات با ارزشی در زمینه سنگ‌شناسی فراهم می‌کنند که از جمله آنها دو گزارش مهمی هستند که در مورد میکاهای موجود در سنگ‌های آذرین ارائه شده‌اند [۲،۳]. بررسی ترکیب شیمی‌کانی بیوتیت برای تعیین پتروژنز و محیط زمین‌ساختی گرانیتوئیدها در ایران موضوعی است که به تازگی در دهه اخیر توجه برخی از پژوهشگران را به خود جلب کرده است [۴-۱۰]. و هدف این پژوهش نیز در این راستاست. در این بررسی، داده‌های ترکیب شیمیایی کانی بیوتیت در توده‌های گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه (توده‌ی خلخاب و توده‌ی نشووه) واقع در کمان

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

مقادیر کاتیونی بر اساس ۲۴ اکسیژن محاسبه و بنابر فرمول کلی میکاها $X_2Y_{4-6}(Z_8O_{20})[OH, F, Cl]_4$ فرمول ساختاری آنها تعیین شد.

شرایط عملیاتی باریکه‌ی الکترونی ۱۵ کیلو ولت و شدت جریان ۲۰ نانو آمپر صورت گرفت و نتایج آنالیزها در نرم افزارهای Excel و Minpet 2.02 مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آنالیز بیوتیت‌های توده‌های نشوه و خلخاب در جدول ۱ ارائه شدند.

جدول ۱ نتایج ریز پردازش الکترونی کانی بیوتیت دو توده‌ی گرانیتوئیدی نشوه (SN) و خلخاب (SK).

Sample	SK 62-1	SK 62-2	SK 62-3	SK 62-4	SK 62-5	SK 62-6	SN 10-1	SN 10-2	SN 10-3
SiO₂	۳۷,۲۱	۳۷,۰۶	۳۷,۰۸	۳۶,۱۵	۳۶,۸۰	۳۶,۸۲	۳۶,۸۴	۳۶,۱۸	۳۵,۷۹
TiO₂	۴,۵۵	۴,۵۹	۴,۵۷	۴,۶۰	۴,۶۸	۴,۵۷	۵,۳۴	۴,۷۰	۴,۶۰
Al₂O₃	۱۲,۵۶	۱۲,۳۵	۱۲,۶۸	۱۲,۸۱	۱۲,۲۵	۱۲,۶۶	۱۲,۸۵	۱۲,۳۲	۱۲,۲۵
FeO	۲۰,۷۹	۲۰,۴۷	۲۰,۳۹	۲۰,۱۶	۲۰,۴۹	۱۹,۷۰	۱۹,۵۰	۲۰,۶۱	۲۰,۷۷
MnO	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۰	۰,۱۳	۰,۱۶	۰,۱۱
MgO	۱۱,۵۸	۱۱,۴۶	۱۱,۰۲	۱۱,۰۱	۱۱,۲۶	۱۱,۵۵	۱۱,۹۹	۱۱,۰۸	۱۱,۱۳
CaO	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۸	۰,۲۵
Na₂O	۰,۱۶	۰,۱۰	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۱۵
K₂O	۹,۲۸	۹,۵۱	۹,۳۲	۹,۴۳	۹,۳۹	۹,۱۴	۹,۲۹	۹,۵۵	۸,۹۲
Cr₂O₃	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱
F	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۵	۰,۳۱	۰,۲۲	۰,۴۱	۰,۲۱
Cl	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۹	۰,۴۴	۰,۴۴	۰,۹۳	۱,۰۶
H₂O	۴,۰۰	۳,۹۷	۳,۹۶	۳,۹۰	۳,۶۷	۳,۶۸	۳,۷۹	۳,۴۷	۳,۵۰
Total	۱۰۰,۲۶	۹۹,۶۷	۹۹,۳۳	۹۸,۳۳	۹۹,۶۷	۹۹,۰۹	۱۰۰,۰۴	۹۹,۶۱	۹۸,۷۵
Si	۵,۵۹	۵,۶۰	۵,۶۱	۵,۵۶	۵,۶۰	۵,۶۰	۵,۵۲	۵,۵۶	۵,۵۵
Al^{IV}	۲,۲۲	۲,۲۰	۲,۲۶	۲,۳۲	۲,۲۰	۲,۲۷	۲,۲۷	۲,۲۳	۲,۲۴
Al^{VI}	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Ti	۰,۵۱	۰,۵۲	۰,۵۲	۰,۵۳	۰,۵۴	۰,۵۲	۰,۶۰	۰,۵۴	۰,۵
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe	۲,۶۱	۲,۵۹	۲,۵۸	۲,۵۹	۲,۶۱	۲,۵۱	۲,۴۴	۲,۶۵	۲,۷۰
Mn	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱
Mg	۲,۵۹	۲,۵۸	۲,۴۹	۲,۵۲	۲,۵۶	۲,۶۲	۲,۶۸	۲,۵۴	۲,۵۷
Ca	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۴,۰۰
Na	۰,۰۵	۰,۰۳	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۰,۰۵
K	۱,۷۸	۱,۸۳	۱,۸۰	۱,۸۵	۱,۸۲	۱,۷۷	۱,۷۸	۱,۸۷	۱,۷۷
OH	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۳,۷۳	۳,۷۴	۳,۷۸	۳,۵۶	۳,۶۲
F	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۰	۰,۲۰	۰,۱۰
Cl	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۵	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۲۴	۰,۲۸

ادامه جدول ۱ نتایج ریز پردازش الکترونی کانی بیوتیت دو توده‌ی گرانیتوئیدی نشوه (SN) و خلخاب (SK).

Sample	SN 10-4	SN 10-5	SN 11-1	SN 11-2	SN 11-3	SN 11-4	SN 11-5	SN 11-6
SiO ₂	۳۷,۱۲	۳۶,۵۰	۳۶,۹۷	۳۶,۳۰	۳۶,۲۵	۳۶,۶۱	۳۶,۴۶	۳۶,۱۴
TiO ₂	۴,۷۹	۴,۲۶	۴,۷۰	۴,۴۹	۴,۸۳	۴,۹۷	۴,۹۸	۴,۳۰
Al ₂ O ₃	۱۲,۲۲	۱۲,۶۳	۱۲,۶۵	۱۲,۵۰	۱۲,۵۰	۱۲,۹۳	۱۲,۵۲	۱۲,۸۹
FeO	۱۸,۱۴	۱۹,۷۵	۱۹,۰۵	۱۹,۳۹	۱۹,۲۹	۱۹,۳۰	۱۹,۱۹	۱۹,۴۷
MnO	۰,۱۰	۰,۱۵	۰,۱۹	۰,۲۴	۰,۱۹	۰,۲۱	۰,۲۶	۰,۲۲
MgO	۱۲,۸۶	۱۱,۵۸	۱۲,۰۵	۱۲,۰۱	۱۱,۲۹	۱۱,۴۰	۱۱,۴۱	۱۱,۵۶
CaO	۰,۳۱	۰,۲۵	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Na ₂ O	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۰
K ₂ O	۸,۹۸	۹,۰۵	۹,۴۷	۹,۵۷	۹,۳۸	۹,۴۱	۹,۳۷	۹,۳۸
Cr ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱
F	۰,۴۴	۰,۳۶	۰,۳۹	۰,۲۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Cl	۰,۶۵	۰,۴۰	۰,۴۴	۰,۳۹	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
H ₂ O	۳,۶۰	۳,۶۶	۳,۶۸	۳,۷۰	۳,۸۹	۳,۹۵	۳,۹۲	۳,۹۰
Total	۹۹,۳۴	۹۸,۷۰	۹۹,۷۵	۹۸,۹۷	۹۷,۷۳	۹۸,۸۹	۹۸,۲۲	۹۷,۹۷
Si	۵,۶۰	۵,۵۹	۵,۵۸	۵,۵۶	۵,۵۹	۵,۵۶	۵,۵۸	۵,۵۶
AlIV	۲,۱۷	۲,۲۸	۲,۲۵	۲,۲۵	۲,۲۷	۲,۳۱	۲,۲۶	۲,۳۴
AlVI	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Ti	۰,۵۴	۰,۴۹	۰,۵۳	۰,۵۲	۰,۵۶	۰,۵۷	۰,۵۷	۰,۵۰
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe	۲,۲۹	۲,۵۳	۲,۴۰	۲,۴۸	۲,۴۹	۲,۴۵	۲,۴۶	۲,۵۱
Mn	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳
Mg	۲,۸۹	۲,۶۴	۲,۷۱	۲,۷۴	۲,۵۹	۲,۵۸	۲,۶۰	۲,۶۵
Ca	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Na	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳
K	۱,۷۳	۱,۷۷	۱,۸۲	۱,۸۷	۱,۸۴	۱,۸۲	۱,۸۳	۱,۸۴
OH	۳,۶۲	۳,۷۴	۳,۷۰	۳,۷۸	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰
F	۰,۲۱	۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۱۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Cl	۰,۱۷	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰

توده‌ی گرانودیوریتی نشوه هستند که در شمال غرب ساوه [۱۱] رخمنون دارند (شکل ۱).

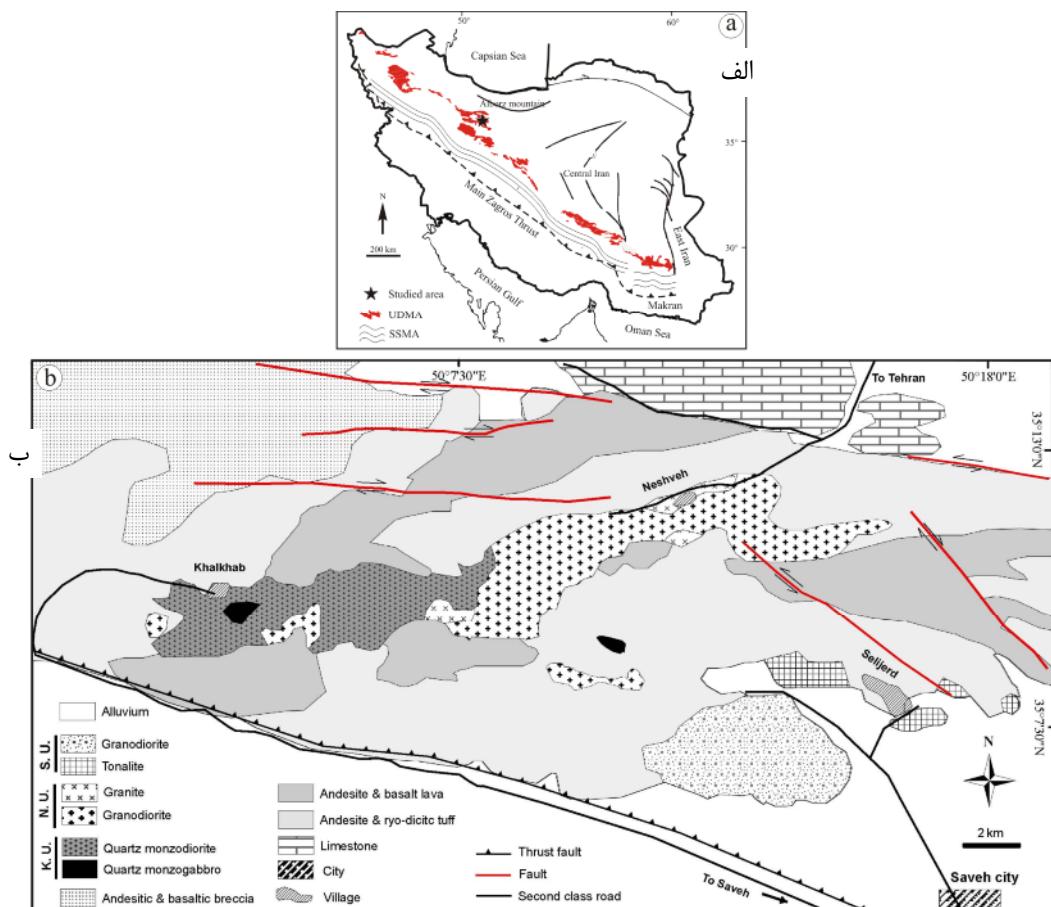
توده خلخاب که در کوههای شاهپسند، زرو و جنوب روستای کوشک بیرون زدگی دارد؛ به وسیله‌ی دایک‌های

زمین‌شناسی توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه از نظر زمین‌شناسی منطقه‌ی ساوه بخشی از ایران مرکزی بوده و در کمان ماقمایی ارومیه- دختر واقع شده است. توده‌های نفوذی مورد بحث شامل توده‌ی تونالیتی- دیوریتی خلخاب و

سنگ‌های مافیک‌تر این توده به صورت نیمه‌شکل‌دار تا کاملاً بی‌شکل دیده می‌شود. این کانی در سنگ‌های فلزیک‌تر شکل‌دار بوده و رخ کامل نشان می‌دهد و همراه با کانی هورنبلند دیده می‌شود. کانی‌هایی نظیر اکسیدهای آهن و بتیتان از جمله کانی‌های فرعی این سنگ‌ها به شمار می‌آیند. این توده دارای ویژگی‌های ماقم‌تیسم نوع آندی یعنی آهکی-قلیایی و نوع I است [۶، ۱۳-۱۶].

توده‌ی گرانوپیریتی نشوه با وسعت تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع در جنوب روستای نشوه قرار دارد. سن این توده جوانتر از سنگ‌های آتش‌فشاری اثوسن است [۶، ۱۳-۱۶]. سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی نشوه از نظر ژئوشیمی متالومین و آهکی-قلیایی [۶، ۱۳-۱۶] هستند و دارای ترکیب سنگ‌شناسی گرانوپیریت تا گرانیت‌اند. کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌های این توده از کوارتزهای بی‌شکل، پلاژیوکلازهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، فلدسپار قلیایی بیشتر از نوع ارتوکلاز،

دیابازی و رگه‌های سیلیسی بریده شده است. بزرگترین رخمنون این توده در کوه ززو (اطراف روستای خلخاب) و با وسعت تقریبی ۲۰ کیلومتر مربع است. توده‌ی نفوذی خلخاب دارای ترکیب سنگ‌شناسی تووالیت، کوارتزمنزودیبوریت و کوارتزدیبوریتی است. وجود ساختار منطقه‌ای در پلاژیوکلازها می‌تواند نشانگر نفوذ توده در عمق کم و تحت فشار آب باشد [۱۲]. همچنین پلاژیوکلازها در برخی موارد سریسیتی و سوسوریتی شده‌اند. کانی‌های اصلی و تیره‌ی این سنگ‌ها را کلینوپیروکسن، هورنبلند و بیوتیت تشکیل می‌دهند. پیروکسن‌ها در بعضی مقاطع در حال تجزیه (اورالیتی شدن) و تبدیل به آمفیبول هستند. آمفیبول‌ها نیز اغلب کلریتی شده‌اند. کانی کلینوپیروکسن به صورت فرعی در کوارتزمنزودیبوریت‌ها دیده شده و هورنبلند به صورت یک کانی نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار در بیشتر نمونه‌ها دیده می‌شود. با افزایش مقدار کوارتز در سنگ‌های خلخاب، کلینوپیروکسن ناپدید یا به بیوتیت و هورنبلند تبدیل می‌شود. کانی بیوتیت در



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه که از نقشه‌ی زمین‌شناسی [۱۱] که توسط [۱۴، ۱۵] ساخته [۱۰، ۱۰] تصحیح گردیده، اقتباس شده است..

نفوذی نشوه و خلخاب در اثر فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی تشکیل شده‌اند و ویژگی‌های گرانیتوئیدهای قوسی و منطقه‌ی کوه‌زایی را نشان می‌دهند [۶] که توسط [۱۶-۱۳] هم تأیید می‌شود.

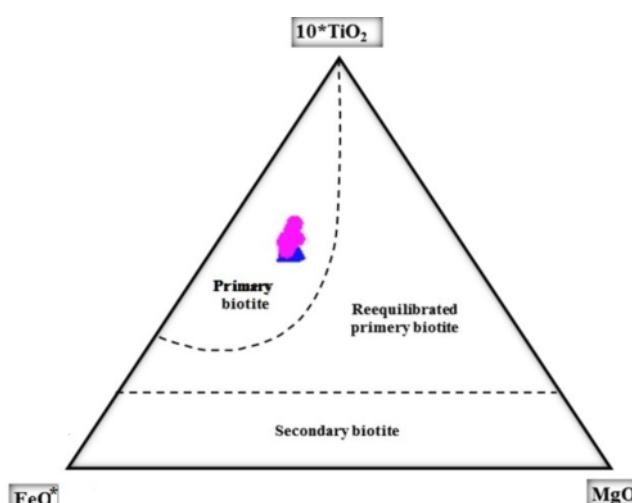
بحث و بررسی

شناسایی بیوتیت‌های اولیه از بیوتیت‌های ثانوی
به منظور شناسایی بیوتیت‌های اولیه از ثانویه از نمودار سه‌تایی $\text{MgO} + \text{FeO}_* + 10\text{TiO}_2$ استفاده شده است. این نمودار می‌تواند بیوتیت‌های اولیه یا ماقمایی را از بیوتیت‌های اولیه‌ای که دستخوش تعادل مجدد شده‌اند و نیز بیوتیت‌های اولیه‌ای که دستخوش تعادل مجدد شده‌اند و نیز بیوتیت‌های مورد بررسی در هر دو واحد گرانیتوئیدی خلخاب و نشوه، نسبتاً غنی از FeO و TiO_2 بوده و در قلمرو بیوتیت‌های اولیه یا ماقمایی قرار می‌گیرند (شکل ۲). مقادیر Ti بیوتیت‌های دو توده‌ی خلخاب و نشوه تفاوت قابل ملاحظه‌ای نشان نمی‌دهند. بنابر نظر [۱۷]، مقدار Ti بیوتیت‌ها وابسته به دما بوده و با $X_{\text{FeO}^*} = [(\text{FeO}^* + \text{MnO}) / (\text{FeO}^* + \text{MnO} + \text{MgO})]$ سنگ میزان تغییر می‌کند. مقدار X_{FeO^*} در بیوتیت‌های مورد بررسی به ترتیب حدود ۰,۷۲ و ۰,۶۱ بوده (جدول ۱) و بیوتیت‌های سنگ‌های اخیر به طور چشمگیری با فازهای اکسیدی $\text{Fe}-\text{Ti}$ همزیست‌اند که احتمالاً این ویژگی توانسته تا حدودی مقدار Ti آنها را افزایش دهد. معمولاً مقدار Ti در بیوتیت‌های همزیست با فازهای اکسیدی اشباع از Ti افزایش نشان می‌دهد [۱۸].

هورنبلند و بیوتیت و کانی‌های ثانوی نظیر کلریت و سریسیت تشکیل شده‌اند. تجزیه و دگرسانی پلازیوکلازها باعث ایجاد ادخال میکای ریزدانه (سریسیت) در آن‌ها شده است. آمفیبیول‌ها که بیشتر از نوع هورنبلند هستند، معمولاً در زیر نور طبیعی به رنگ سبز، قهوه‌ای و یا زرد متمایل به قهوه‌ای و به صورت شکل‌دار دیده می‌شوند. در مقاطع، گاهی آمفیبیول به طور کامل یا از حاشیه‌ها به کلریت تبدیل شده و گاهی هورنبلند به بیوتیت تبدیل می‌شود. آمفیبیول‌های ثانوی از نوع اکتینولیت-ترمولیت نیز مشاهده می‌شود. معمولاً مقدار کانی‌های مافیک در گرانیتوئیدها خیلی کمتر از کانی‌های فلزیک است و تقریباً ۱۰-۱۵ درصد حجم کل مقاطع را اشغال می‌کنند.

از دیگر کانی‌های مافیک موجود در مقاطع، بیوتیت است که معمولاً به رنگ قهوه‌ای تا سیز زیتونی دیده می‌شود. این کانی در مقاطع مورد بررسی شکل‌دار بوده و به صورت ورقه‌ای و مستطیلی دیده می‌شود. اندازه‌ی این کانی بیشتر ریز تا متوسط دانه بوده و در مقاطع پراکنده است. در بعضی قسمت‌های مقاطع، بیوتیت‌ها به کلریت تبدیل شده‌اند. این توده نیز از نوع I است [۶، ۱۶-۱۳]. از کانی‌های فرعی موجود در این سنگ‌ها می‌توان به اکسیدهای آهن و تیتان اشاره کرد. بعضی قسمت‌های توده به وسیله‌ی دایک‌های مافیک بریده شده‌اند. این دایک‌ها، دانه‌ریز، آفانیتیک و تیره‌رنگ هستند. در محل برخورد دایک با توده‌ی گرانیتوئیدی آثار هوازدگی و دگرسانی بیشتر مشاهده می‌شود.

با توجه به شواهد زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی توده‌های

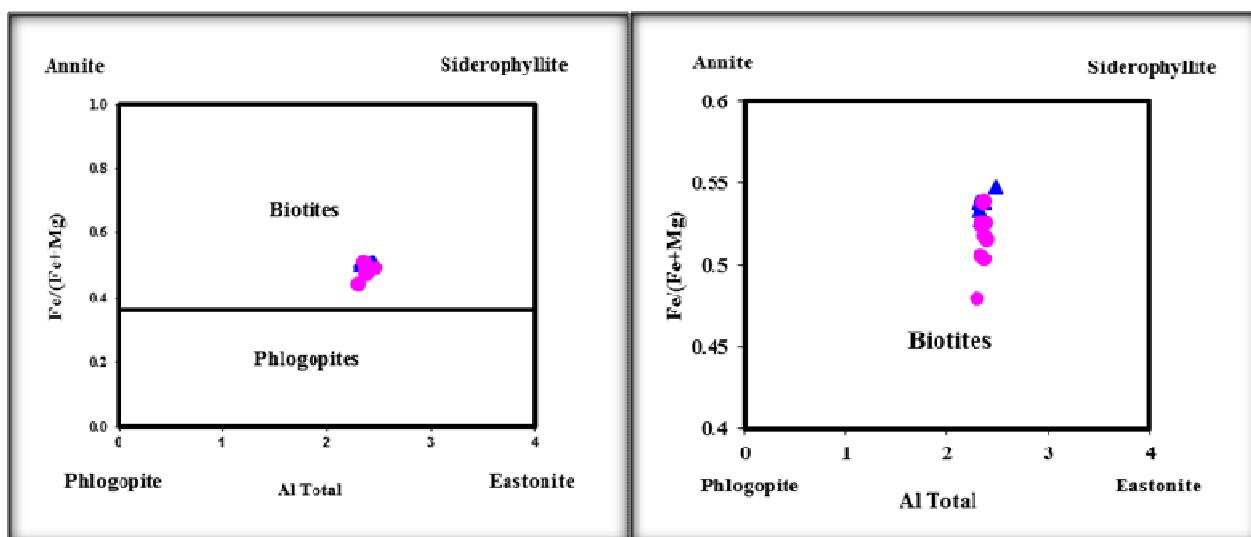


شکل ۲ نمودار سه‌تایی $\text{MgO}, 10\text{TiO}_2, \text{FeO}_*$ [۱۷] که بیوتیت‌های اولیه و بیوتیت‌هایی که دستخوش تعادل مجدد در محیط شده‌اند را از بیوتیت‌های ثانوی متمایز می‌سازد. دایره‌ی صورتی نشانه سنگ‌های گرانوپیوریتی نشوه و مثلثهای آبی رنگ نشانه سنگ‌های کوارتزمنزودیوریتی خلخاب هستند.

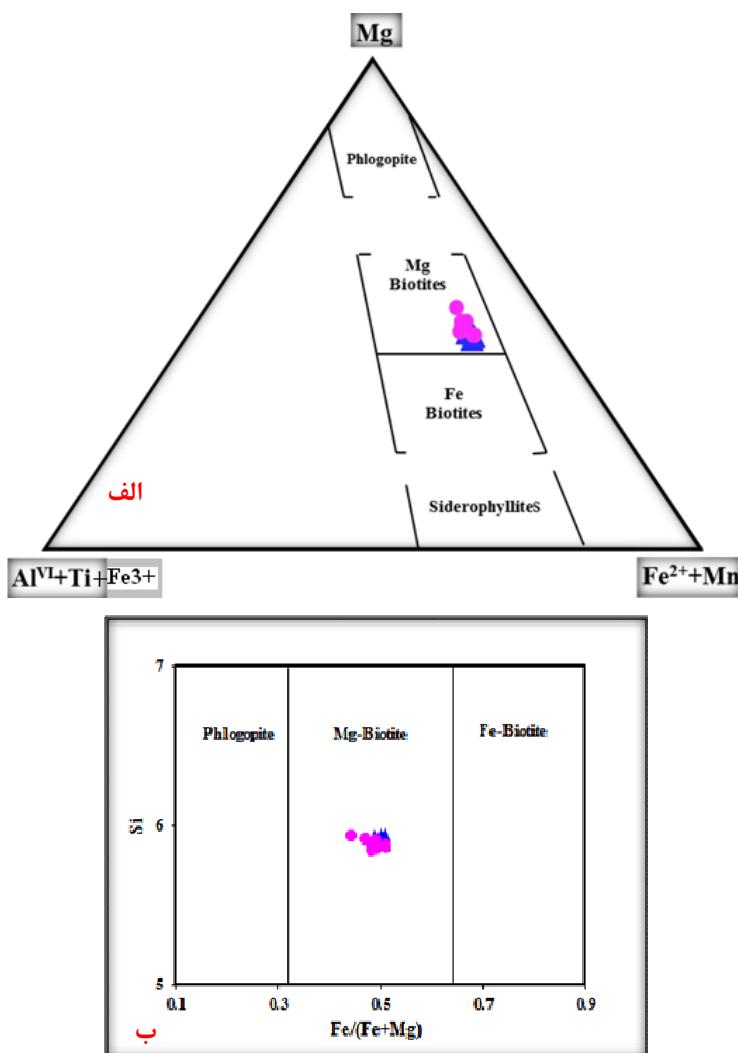
دارای بازه‌ی بسیار کوچکی است ولی همین تغییرات کوچک در هر دو توده روندی نشان نداده و الگوی ابافتی به خود می‌گیرند. چنین الگویی مختص بیوتیت است در گرانیتوئیدهایی است که دستخوش آلودگی پوسته‌ای نشده‌اند [۸]. کانی بیوتیت در سیستم‌های ماگمایی، دگرگونی و دگرنهادی، به تغییرات دما، فشار و فعالیت سازنده‌هایی چون، F , H_2O , O_2 , SiO_2 کاملاً حساس است [۲۰]. فاکتورهای فیزیکوشیمیایی یاد شده همراه با امکان جانشینی در چهار جایگاه ساختاری شامل جایگاه چهار وجهی (Z), هشت وجهی (Y), میان لایه‌ای (X) و هیدروکسیل (OH , F , Cl) تغییر-پذیری ترکیبی بیوتیتها را ممکن ساخته است. بیوتیتها سنگ‌های آذرین غنی از سیلیس معمولاً یک روند غنی‌شدگی از آهن را نسبت به انواع فقیر از سیلیس نشان می‌دهند [۲۰]. بنابر نمودار مثلثی $Mg-(Al^{VI}+Ti)-(Fe^{2+}+Mn)$ [۲] (شکل ۴) بیوتیت‌های هر دو توده در گستره‌ی بیوتیت‌های منیزیم‌دار قرار گرفته که در واقع به دلیل تبلور اولیه‌ی اکسیدهای آهن در قالب مگنتیت و تیتانیم به صورت تیتانیت است. حضور این مجموعه کانی یعنی بیوتیت منیزیم‌دار، مگنتیت و تیتانیت دلالت بر گرینزندگی نسبتاً بالای اکسیژن در ماگمات است [۲۱].

ترکیب شیمی کانی بیوتیت

بیوتیت محلول جامد چهار عضو انتهایی یعنی آنیت، سیدروفیلیت، فلوگوبیت و ایستونیت است که بر پایه این چهار فاز، نموداری تحت عنوان چهارضلعی (ASPE) طراحی شد که برای تعیین ترکیب میکاهای هشت وجهی سه گانه به کار می‌رود [۱۹,۳]. آنیت $KFe_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$, فلوگوبیت $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$, سیدروفیلیت $KFe_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$ و ایستونیت $KMg_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$ که اعضای نهایی چهار ضلعی (ASPE) هستند. در این چهار ضلعی، دو متغیر Al total و $Fe/(Fe+Mg)$ به کار گرفته شده‌اند که به ترتیب شاخص گرینزندگی اکسیژن و پرآلومینه بودن ماگما در زمان تبلور بیوتیت است. ترکیب میکاهای مورد بررسی چنانکه از شکل ۳ پیداست در قلمرو بیوتیت قرار گرفته و هیچ‌یک در قلمرو فلوگوبیت قرار نگرفته است. چنانکه مشاهده می‌شود همه نمونه‌های بیوتیت موجود در توده‌های گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه یعنی دو توده‌ی خلخاب و نشوه دارای مقادیر Al کل متوسط و آهن کم هستند. نکته آنکه بیوتیت‌های توده نشوه نسبت به بیوتیت‌های توده خلخاب دارای مقادیر نسبتاً کمتر آهن هستند و اگرچه مقدار تغییرات آهن و نیز Al کل



شکل ۳ رده بندی شیمیایی میکاهای دو توده خلخاب و نشوه در مقیاس بزرگتر تهیه شده تا تغییرات اندک نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ نسبت به مقدار ثابت آلومینیم را نشان دهد. علامت مشابه شکل ۲ هستند.



شکل ۴ رده بندی شیمیابی میکاهای دو توده خلخاب و نشوه [۲]. علامت مشابه شکل ۲ هستند.

گریزندگی اکسیژن در طول تبلور مagma دارد به این دلیل که در شرایط اکسایش از منیزیم غنی شده و در شرایط احیاء از آهن غنی می‌شوند. بنابراین، سنگ‌های هر دو توده مطابق شکل ۳ در شرایط اکسیدان تشکیل شده‌اند. علت این روند می‌تواند به تأثیر ترکیب کلی گونه‌های سنگی وابسته باشد که منحصرًا بیوتیت‌های آن را بازتاب می‌دهند که حاصل دمای بالای تبلور سنگ‌های با سیلیس کمتر باشند که تنها بیوتیت‌های غنی از Mg در آن شرایط ماقمایی پایدارند [۲۰].

تعیین گریزندگی اکسیژن در محیط تشکیل بیوتیت‌ها براساس نمودار دوتایی $\text{Log } f\text{O}_2$ و آگستر [۲۰] طراحی شده است که از آن برای واکنش‌های استفاده می‌شود که در آن مجموعه بیوتیت، سانیدین، مگنتیت

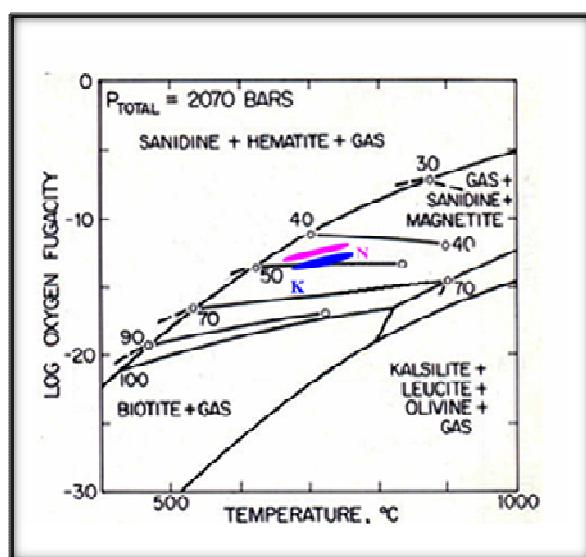
مقدار Al^{VI} در بیوتیت‌ها به عنوان یکی از معیارهای مهم برای بررسی ویژگی‌های آنهاست. در مورد تجزیه‌هایی که Al^{VI} به دست می‌دهند، به جای جانشینی $(\text{Mg}, \text{Fe})^{\text{VI}}$ $= \text{Si}^{\text{IV}} = \text{Al}^{\text{VI}} \text{Al}^{\text{IV}}$ جانشینی $(\text{Mg}, \text{Fe})^{\text{VI}}$ پایین تا هشت وجهی را فراهم می‌کند [۲]. همچنین Al^{VI} به طور میانگین $< \text{Al}^{\text{VI}}$ بر اساس ۲۴ اکسیژن) از ویژگی‌های بیوتیت‌های ماقمایی است [۱۷] که در مورد بیوتیت‌های موردن بررسی (۰۰۴ به طور میانگین) صدق می‌کند. مطابق شکل ۴ بیوتیت‌های هر دو توده دارای مقدار تقریباً برابر سیلیس در ترکیب خود هستند که این بیانگر خویشاوندی کوارتزمنزودیوریت‌ها با گرانودیوریت‌ها و شباهت آشکار فرآیندهای ماقمایی سازنده-سنگ‌های دو توده‌ی خلخاب و نشوه است. به عقیده‌ی [۲۰] روند غنی‌شدن از آهن و منیزیم در بیونیت بستگی به

می‌شوند (P) و گرانیت‌های کوهزایی آهکی- قلیایی از نوع I که به طور متوسط غنی از منیزیم بوده و عموماً همراه با آمفیبول کلسیم‌دار و یا پیروکسن کلسیم‌دار و باسته به فرورانش هستند (C). در شکل ۶ موقعیت نمونه‌های مورد بررسی به تصویر در آمداند. تمام نمونه‌های بیوتیت توده‌های خلخاب و نشوه که از نوع گرانیت‌های I هستند، در پهنه‌ی C قرار می‌گیرند که به قلمرو بیوتیت در گرانیت‌ویدهای قوسی آهکی- قلیایی فرورانشی باسته‌اند. این یافته، خاستگاه ماقمایی باسته به فرورانش توده‌های شمال غرب ساوه را تأیید می‌کند.

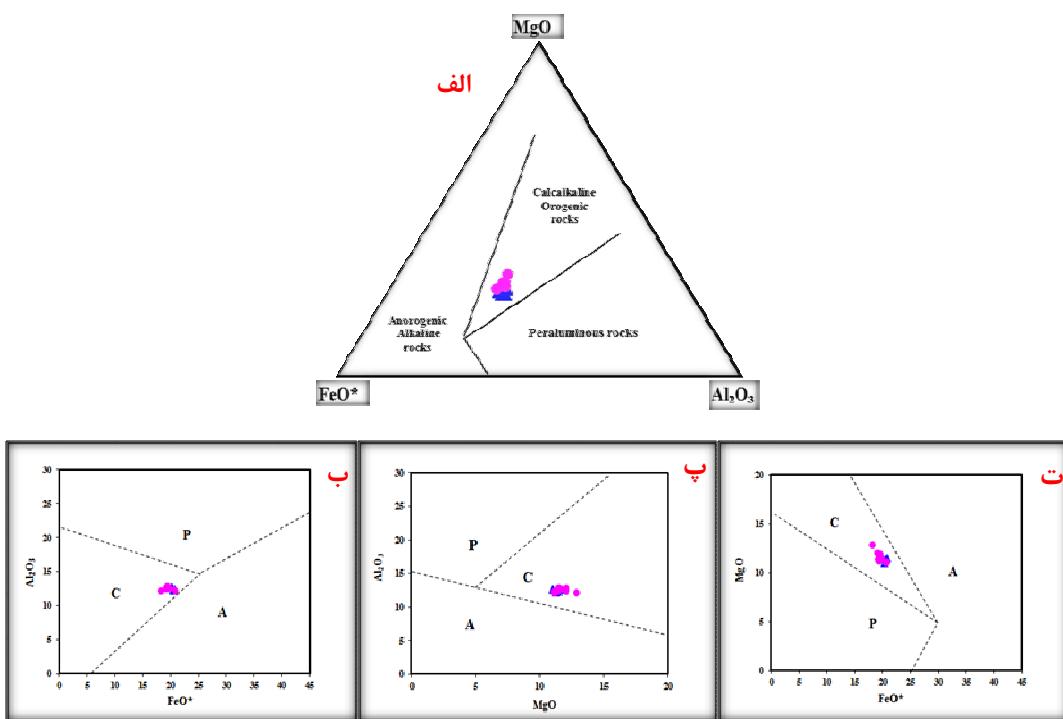
به عقیده‌ی عبدالرحمن [۱] نمودار Al_2O_3 نسبت به FeO^* که در شکل ۶ ب نشان داده شده، نتایج بهتری را برای بیوتیت‌های گروه‌های متنوع سنگ‌های آذرین ماقمایی ارائه می‌دهند. دو گروه C و P از لحاظ داشتن FeO تقریباً مشابه‌اند (بطور متوسط ۲۰-۲۲ wt%) و در مقدار ثابت FeO^* ، افزایش Al_2O_3 باعث جدایش بین این دو گروه می‌شود. در گروه A، Al_2O_3 روند افزایش FeO^* با کاهش Al_2O_3 همراه بوده که این نامخوانی با جایگزینی Fe^{2+} و Al در جایگاه هشت وجهی صورت گرفته و به صورت $2\text{Al} = 3\text{Fe}^{2+}$ است. بر همین اساس نمونه‌های هر دو توده دارای FeO (بطور متوسط ۲۲ wt%) بوده و در گستره‌ی آهکی- قلیایی قرار می‌گیرند.

و گاز در فشار معادل ۲۰۷۰ بار در تعادل قرار می‌گیرند. چنانکه در شکل ۵ دیده می‌شود، در دو توده‌ی خلخاب و نشوه مقدار $\text{Log } f\text{O}_2$ برای سنگ‌های این دو توده تقریباً در حدود 10^{-12} - 10^{-14} بار است که نشان می‌دهد گریزندگی اکسیژن در محیط تشکیل بیوتیت‌های هر دو توده نسبتاً بالا بوده است (دما بر حسب زمین گرما- دما‌سنجی آمفیبول- پلازیوکلاز محاسبه شده است [۶]).

تعیین سری ماقمایی و محیط زمین ساختی
با توجه به اینکه بیوتیت‌ها ماهیت و شرایط فیزیکوشیمیایی ماگما را نشان می‌دهند و ترکیب بیوتیت در مجموع تابع ترکیب و شرایط تبلور ماقمایی است که از آن متبادر شده است، بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک معیار مناسب برای شناسایی محیط زمین‌ساختی گرانیت‌ها استفاده کرد. عبدالرحمن [۱] با استفاده از آنالیزهای سه اکسید Al_2O_3 ، FeO^* و MgO در کانی بیوتیت، یک نمودار مثلثی ارائه داد (شکل ۶ الف) که سنگ‌های گرانیتی را در سه گروه دسته بندی می‌کند: سنگ‌های قلیایی و ناکوهزایی (A)، سنگ‌های پرآلومنین که بیوتیت‌های آنها از آلومینیوم غنی و به سوی قطب سیدروفیلیتیک تمایل دارند و عموماً همراه با مسکوویت و یا دیگر کانی‌های آلومینیوسیلیکات مثل گارنت، کردیریت و یا S-Type آندالوزیت هستند و شامل گرانیت‌های برخورده نوع



شکل ۵ نمودار $\text{Log } f\text{O}_2$ نسبت به دما در دو توده‌ی خلخاب و نشوه برای واکنش‌هایی که در آنها بیوتیت، سانیدین، مگنتیت و گاز در فشار معادل ۲۰۷۰ بار در تعادل قرار می‌گیرند [۲۰]. ایزوپلیت‌ها نشان‌دهنده نسبت $(\text{Fe} + \text{Mg}) / (\text{Fe} + \text{Mg})$ هستند. دما بر اساس زمین‌دما‌سنجی کانی آمفیبول محاسبه شده است. گستره‌ی آبی رنگ مربوط به نمونه‌های توده‌ی خلخاب است که با حرف K نشان داده شده است. گستره‌ی آبی رنگ مربوط به نمونه‌های توده‌ی نشوه است که با حرف N نشان داده شد.



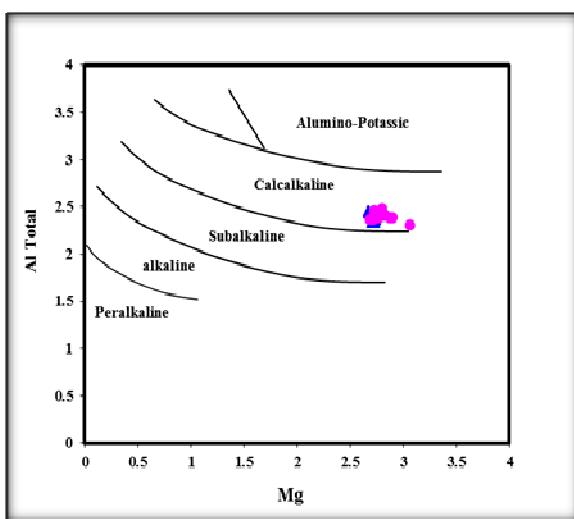
شکل ۶ تعیین سری ماقمایی توده‌های مورد بررسی بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت در نمودارهای جداکننده محیط زمین ساختی گرانیتها [۱]. الف: سنگ‌های قلیایی و غیرکوهزایی، ب: سنگ‌های پرآلومین، پ: سنگ‌های آهکی-قلیایی. علائم مشابه شکل ۲ هستند.

کاهش نسبی در مقدار Al_2O_3 نشان می‌دهند که می‌تواند در اثر فرآیندهای تبلور بیوتیت‌های غنی از Al در گذارهای آلومینیومدار باشد و نیز ناهمخوانی Al_2O_3 و FeO را می‌توان ناشی از رفتار مشابه بین آهن و منیزیم دانست، ولی در نمودارهای وابسته به توده‌های مورد بررسی روند محسوسی دیده نمی‌شود تا بتوان ارتباط بین عناصر را نشان داد. هر سه کاتیون Fe, Al و Mg در جایگاه هشت وجهی قرار گرفته و می‌توانند جانشین یکدیگر شوند ($3\text{Mg} = 2\text{Al}$) و ($2\text{Al} = 3\text{Fe}^{+2}$)

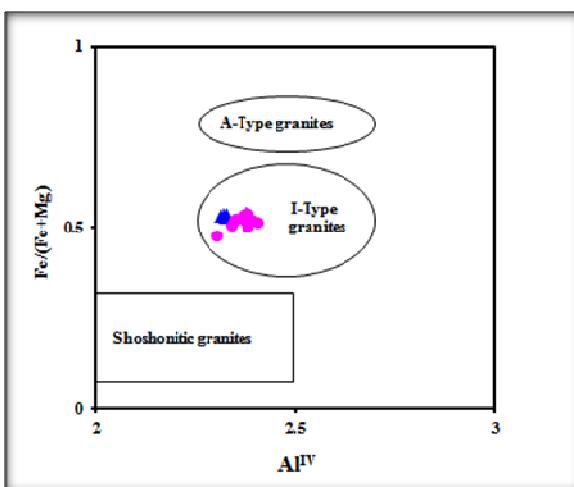
در نمودار total-Mg [۲۲] نیز سنگ‌های هر دو توده در گستره‌ی منیزیم بالا و آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۷) که با نتایج روش عبدالرحمن [۱] کاملاً همخوانی دارد. از طرف دیگر ترکیب شیمی بیوتیت قادر به جدایی سنگ گرانیتی میزبان خود بر پایه‌ی رده‌بندی الفایی گرانیت‌هاست، به گونه‌ای که جیانگ و همکاران [۲۳] بر حسب تغییرات نسبت $\text{Al}^{\text{IV}}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ نسبت به FeO/MgO در بیوتیت نموداری را ارائه کردند که جدا کننده انواع گرانیتها بر پایه خاستگاه آنهاست. در این نمودار تمام نمونه‌های بیوتیت مورد بررسی در گستره‌ی گرانیت‌های کوهزایی نوع I قرار می‌گیرند که با نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمی سنگ کل [۱۳-۱۶] کاملاً همخوانی دارد (شکل ۸).

در نمودار Al_2O_3 نسبت به MgO دو گروه C و P عموماً روند افزایش MgO با کاهش Al_2O_3 نشان می‌دهد که این ناهمخوانی به جایگزینی منیزیم و آلومینیوم در جایگاه هشت وجهی ($3\text{Mg} = 2\text{Al}$) بین بیوتیت‌ها مربوط می‌شود [۱]. بر اساس این نمودار هم بیوتیت‌های هر دو توده مورد بررسی، در گستره‌ی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۶ پ).

بر اساس نتایج نمودار FeO^*/MgO نسبت به [۱] MgO نیز، سنگ‌های گروه C غنی از منیزیم بوده و دارای مقدار متوسط $\text{FeO}^*/\text{MgO} = 11 \text{ wt\%}$ و نسبت $\text{MgO} = 11 \text{ wt\%}$ یک ناهمخوانی را نشان می‌دهد. گروه A نیز به طور متوسط $\text{FeO}^*/\text{MgO} = 3 \text{ wt\%}$ و نسبت $\text{MgO} = 6 \text{ wt\%}$ دارد و گروه P به طور متوسط دارای $\text{FeO}^*/\text{MgO} = 7.04$ است. بطور مشابه، مقدار $\text{FeO}^*/\text{MgO} = 3.48$ و نسبت $\text{MgO} = 3 \text{ wt\%}$ در هر دو گروه P و C تقریباً ثابت است و میزان FeO^* باعث جدایی این دو گروه می‌شود. بین دو گروه A و C یک جایگزینی $\text{FeO}-\text{MgO}$ کنترل شده در ترکیبات بیوتیت وجود دارد [۱]. براساس این نمودار نمونه‌های بیوتیت هر دو توده خلخاب و نشوه نسبت به منیزیم غنی شدگی نشان می‌دهند و در گستره‌ی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۶ ت). به طور کلی بیوتیت‌های آهکی-قلیایی با افزایش MgO



شکل ۷ تعیین سری ماقمایی گرانیت‌های مورد بررسی براساس ترکیب شیمیایی بیوتیت [۲۲]. علائم مشابه شکل ۲ هستند.



شکل ۸ نمودار تغییرات نسبت $\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ در مقابل Al^{IV} موقعيت ترکیب بیوتیت‌های گرانیت‌های تودهای نفوذی نشو و خلخاب را نشان می‌دهد. محدوده‌های گرانیت‌های نوع A و I و شوشونیتی توسط [۲۳] رائه شده است. علائم مشابه شکل ۲ هستند.

کمپلکس سنگ‌های گرانیت‌های تودهی نفوذی نظرنگ که در کمان ارومیه-دختر رخنمون دارند به خاطر ترکیب سنگ‌شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی شباهت زیادی با تودهای مورد بررسی ما دارند. بررسی‌های دقیق و گستردۀ سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ترکیب شیمی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها و داده‌های ژئوشیمی عنصر اصلی، فرعی، ردیاب و ایزوتوبی روی سنگ‌های گرانیت‌های تودهی نفوذی نظرنگ نشان داد که این یک کمپلکس نفوذی آهکی-قلایایی، متا‌آلومین و نوع I، است و دارای ویژگی‌های ماقماتیسم حاشیه فعال قاره‌ای است، به عبارت دیگر پلوتونیسم آن را به فروزانش پوسته‌ای اقیانوسی نتوتیس به زیر پوسته‌ی قاره‌ای ایران مرکزی در نظر

تعیین میزان آلودگی پوسته‌ای گرانیت‌ها به کمک شیمی کانی بیوتیت

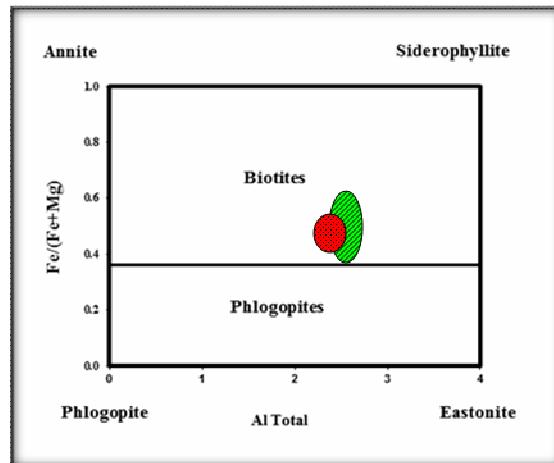
یکی از راه‌های تشخیص آلودگی، استفاده از چهار ضلعی ASPE است که در آن دو متغیر Al total و $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ به ترتیب شاخص گریزندگی اکسیژن و پرآلومینه بودن ماقما در زمان تبلور بیوتیت است [۸]. چنان‌که پیشتر نشان دادیم ترکیب میکاهای مورد بررسی (شکل ۲) دارای مقادیر Al کل متوسط کم و بازه‌ی بسیار کوچکی است و روندی نشان نداده و شکل یا الگوی انباشتی ایجاد می‌کنند. چنین الگویی مختص بیوتیت در گرانیت‌هایی است که دستخوش آلودگی پوسته‌ای نشده‌اند [۸].

(Moderately Contaminated I-type granites) I-SC (۳) گرانیت‌های نوع I به شدت آلوده (Strongly Contaminated I-type granites) I-SCR (۴) گرانیت‌های نوع I احیایی به شدت آلوده (Strongly Contaminated and reduced I-type granites) گرانیت‌های نوع I-SCR سنگ‌های احیایی حاوی بیوتیت‌های با $\text{Log}(\text{X}_F/\text{X}_{\text{Cl}}) < -0.21$ هستند. اصطلاح آلودگی در اینجا از واکنش ماقمای نوع I مشتق شده از گوشهٔ بالایی، پوستهٔ عمیق و یا لیتوسفر فرورونده با تشکیل دهنده‌ای از پوستهٔ قاره‌ای از هر راه ممکن (ذوب‌بخشی، اختلاط ماقمایی و یا هضم) را شامل می‌شود. بیوتیت‌هایی که از Al غنی‌ترند، نسبت Mg/Fe پائین‌تری دارند، زیرا بیوتیت‌هایی که از Al غنی شده‌اند، تمایل به ذخیرهٔ کمتر Mg در نوع I-SCR و بیوتیت‌های I-SC و تا حدودی I-SCR گرایش به داشتن Mn بیشتر دارند و غنی از منگنز هستند. از طرفی افزایش مقدار فلور، بیشتر در بیوتیت‌های منیزیم‌دار دیده می‌شود و بیوتیت‌های آهن‌دار مقادیر کلر بیشتری دارند که در رده‌ی I-SCR جای می‌گیرند [۲۶]. بنابر شکل ۱۰، نمونه‌های هر دو تودهٔ خلخاب و نشوه در گسترهٔ گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک I-WC و آلودگی متوسط I-MC قرار می‌گیرند. این سنگ‌ها آلومینیوم کمتر و منیزیم بیشتری داشته و گرایش به داشتن منگنز کمتر و مقدار فلور بالاتری در ساختار بیوتیت‌های خود دارند. بر عکس کلر در آنها کاهش نشان می‌دهد که همه این موارد بر آلودگی اندک ماقمای سازنده آنها با پوستهٔ قاره‌ای دلالت دارد.

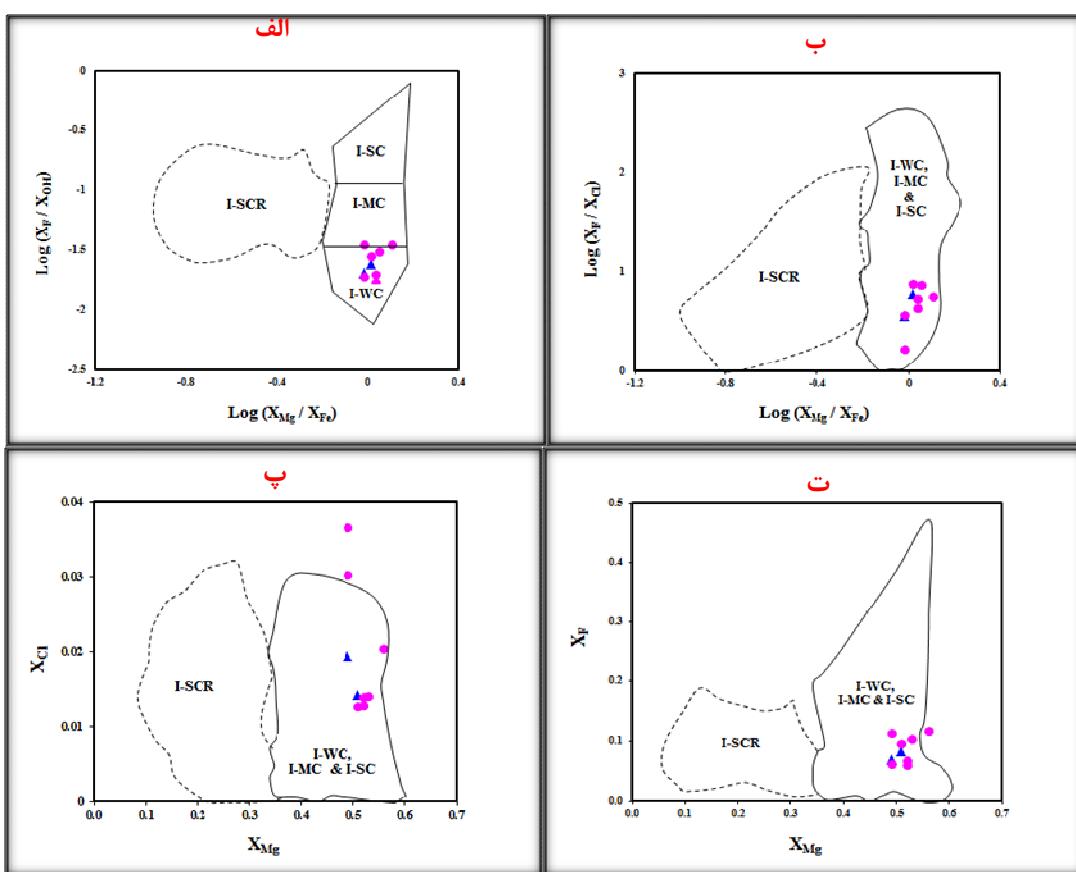
می‌گیرند [۲۴]. مقایسه‌ی ترکیب شیمی بیوتیت‌های گرانیتوئیدهای نطنز با نمونه بیوتیت‌های مورد بررسی در چهار ضلعی (ASPE) تائیدی دیگر بر شباهت کمپلکس نفوذی نطنز با توده‌های شمال غرب ساوه در نمودار (شکل ۹). پورحسینی [۲۴] با تکیه بر داده‌های ایزوتوپی، عقیده دارد که گرانیتوئیدهای نطنز دستخوش آلودگی پوسته‌ای نشده‌اند. بنابراین با توجه به این نکته و نیز بازه‌ی کوچک تغییرات مقادیر آلومینیم و الگوی انباشتی بیوتیت‌های توده‌های گرانیتوئیدی نطنز و شمال ساوه در نمودار (شکل ۹)، می‌توان نتیجه گرفت توده‌های نفوذی شمال غرب ساوه فاقد آلودگی پوسته‌ای یا حداقل آلودگی هستند.

در روش دیگر از عناصر فرار برای تعیین میزان آلودگی پوسته‌ای در گرانیت‌ها استفاده می‌شود. در ساختار بیوتیت، F، Cl و OH آنیون‌های قابل جایگزینی در مراحل اولیه، در موقعیت آبدارند. در صورتی که Fe و Mg عناصر اصلی سازنده این کانی بوده و در جایگاه‌های هشت وجهی قرار می‌گیرند. بر این اساس آگو و بریمهال [۲۵] یک طرح رده‌بندی برای واحدهای مختلف گرانیتی با تولیت کالیفرنیا ارائه کرده و با استفاده از عناصر ردیاب و شیمی آمفیبول، آن را کامل کرده‌اند. بنابراین رده‌بندی سنگ‌های حاوی بیوتیت با $\text{Log}(\text{X}_F/\text{X}_{\text{Cl}})$ بزرگتر از ۱۲٪ با توجه به افزایش نسبت F/OH به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند:

- (۱) گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک I-WC (Weakly Contaminated I-type granites)
- (۲) گرانیت‌های نوع I دارای آلودگی متوسط I-MC



شکل ۹ مقایسه‌ی گستره‌ی ترکیبی بیوتیت‌های دو تودهٔ خلخاب و نشوه (منطقه مورد پژوهش) با گسترهٔ بیوتیت‌های همبافت (کمپلکس) نفوذی نطنز [۲۴] در چهار ضلعی ASPE. گسترهٔ سرخ رنگ به توده‌های مورد بررسی و گسترهٔ هاشوری سیزرنگ به تودهٔ نطنز مربوط‌اند.



شکل ۱۰ ترکیب شیمی بیوتیت‌های توده‌های نشو و خلخاب روی نمودارهای [۲۵]. علامت مشابه شکل ۲ هستند. C (گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک)، I-MC (گرانیت‌های نوع I دارای آلودگی متوسط)، I-SCR (گرانیت‌های نوع I احیایی به شدت آلوده)، I-WC (گرانیت‌های نوع I احیایی به شدت آلوده).

نمونه‌های بیوتیت این دو توده در چهار ASPE شکل انباشتی داشته و نشانه‌ی عدم آلودگی پوسته‌ای هستند. از طرفی نمونه‌های هر دو توده خلخاب و نشو آلومینیوم کمتر و منیزیم بیشتری داشته و گرایش به داشتن منگنز کمتر و مقدار فلوئور بالاتری در ساختار بیوتیت‌های خود دارند. بر عکس کلر در آنها کاهش نشان می‌دهد که همگی دلیل بر آلودگی اندک ماقمای سازنده آنها با پوسته‌ی قاره‌ای است. این بیوتیت‌ها ماقمایی و غنی از منیزیم بوده و در گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن تشکیل شده‌اند. بر اساس نمودارهای جدا کننده محیط زمین‌ساختی گرانیت‌ها، ترکیب بیوتیت‌های موجود منحصراً در پهنه گرانیت‌های آهکی - قلیایی نوع I قرار می‌گیرند که نشان دهنده محیط‌های قوسی وابسته به فروزانش‌اند.

مراجع

- [1] Abdel-Rahman A.M., "Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous

این یافته‌ها در مقایسه با نتایج حاصل از داده‌های ایزوتوبی [۱۶] که براساس آنها مقدار نسبت اولیه‌ی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ برای تمام مجموعه‌های سنگی پایین و چیزی در حدود ۰.۷۰۴ است و آلودگی اندک با پوسته‌ی قاره‌ای [۱۶] سنگ‌های هر دو توده از دارند و بنابراین به عقیده‌ی [۱۶] خاستگاه همگن غنی‌تر از Rb سرچشمه منشأ خاستگاه همگن غنی‌تر از Sr نسبت به $\epsilon_{\text{Nd}} = ۳/۰$ است گرفته‌اند. از طرف دیگر میانگین مقدادر ϵ_{Nd} حدود ۰.۲۲ تا ۰.۳۹ (+۰.۳) که بیشتر با یک خاستگاه تهی‌شده از عناصر لیتوفیل سازگار است تا با یک پوسته‌ی قاره‌ای قدیمی با نسبت پایین Sm/Nd و این با مقدادر اولیه $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ نیز تأیید می‌شود [۱۶].

برداشت

ترکیب شیمی کانی بیوتیت در سنگ‌های گرانیتوئیدی توده‌های خلخاب و نشو در شمال غرب ساوه دارای بازه بسیار اندک محتوای آلومینیم کل نسبت به مقدادر نسبتاً محدود

oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt and tectonic implications", Journal of African Earth Sciences 38, (2004), 255-268.

[۱۳] رخشانی م، "کانی‌شناسی و ژنر کانه‌زایی آهن در شمال-غرب ساوه (ایران مرکزی)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (۱۳۷۴).

[۱۴] رضایی م، "ژئوکرونوژوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی شمال غرب ساوه (ایران مرکزی)"، پایان نامه دکترا، دانشگاه تهران (۱۳۹۰).

[۱۵] کشاورزی ر، "پترولوجی توده گرانیتوئیدی نشووه (شمال غرب ساوه)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران (۱۳۸۸).

[16] Rezaei-Kakhkhaei M., Esmaeily D., Corfu F., "Petrogenetic modeling of rock variety in the Khalkhab-Neshveh pluton, NW of Saveh, Iran", Island Arc (2011) 1440-1783.

[17] Nachit H., Ibhi A., Abia E.H., Ohoud M.B., "Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neofomed biotites", Geomaterials (Mineralogy), Geoscience 337 (2005) 1415-1420.

[18] Dymek R.F., "Titanium, aluminum and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade Gneisses, west Greenland", American Mineralogist 68(9-10) (1983) 880-899.

[19] Rieder M., Cavazzini G., Yakonov Y.D., Frank-kanetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Muller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R., "Nomenclature of the micas", Canadian Mineralogist 36(3) (1998) 905-912.

[20] Wones D.R., Eugster H.P., "Stability of biotite: experiment, theory, and application", American Mineralogist 50 (1965) 1228-1272.

[21] Ishihara S., "The magnetite series and ilmenite-series granitic rocks", Mining Geology 27 (1977) 293-305.

[22] Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P., "Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides", Comptes Rendus Hebdomadaires de l' Académie des Sciences 301(11) (1985) 813-818.

[23] Jiang Y.H., Jiang S.Y., Ling H.F., Zhou X.R., Rui X.J., Yang W.Z., "Petrology and geochemistry of shoshonitic plutons from the western Kunlun orogenic belt, Xinjiang, northwestern China:

magmas", Journal of petrology 35(2) (1994) 525-541.

[2] Foster M. D., "Interpretation of the composition of trioctahedral micas", United States Geological Survey Professional Paper, 354-B (1960) 11-46.

[3] Spear J.A., "Micas in igneous rocks", In: Micas, Bailey, S.W., (ed); Mineralogical Society of America, Review in Mineralogy, 13 (1984) 299-356.

[4] Barzegar H., "Relationship between biotite composition and tectonomagmatic affinity of the granodiorite intrusion at the Seridune prospect, Iran", International Geological Congress, Oslo, Aug (2008) 6th-14th.

[5] Esmaeily D., Maghdour-Mashhour R., "Geochemistry of biotites from Boroujerd granitoid complex, SSZ, Iran: A crucial factor for illustration petrogenesis and tectonomagmatic environment of host rock?", Geophysical Research Abstracts, vol. 11, EGU (2009) 7980.

[۶] نجار ح، "بررسی شیمی کانی‌های توده های نفوذی شمال غرب ساوه، ایران مرکزی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران (۱۳۹۰).

[7] Karimpour M. H., Stern C. R., Mouradi M., "Chemical composition of biotite as a guide to petrogenesis of granitic rocks from Maherabad, Dehnow, Gheshlagh, Khajehmourad and Najmabad, Iran", Iranian Society of Crystallography and Mineralogy, 18, no. 4 (2011) 89-100.

[8] Shabani A.A.T., Masoudi F., Tecce F., "An investigation on biotite composition from Mashhad granitoid rocks, NW Iran", Journal of Science of Islamic Republic of Iran, 21(4) (2010) 321-331.

[۹] اشرفی ن، جهانگیری ا، عامری ع، هسب ن، ابی ن، "شیمی کانی بیوتیت در توده‌های آذرین قلیابی بزقوش و کلیبر، شمال غرب ایران"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳ ۳۹۴-۳۸۱ (۱۳۸۸).

[۱۰] معظمی گودرزی ف، "کاربرد ترکیب شیمیابی بیوتیت در تعیین جایگاه تکتونیکی گرانیتوئید های بروجرد همدان (شمال غرب کمان سنندج-سیرجان)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۸۵).

[۱۱] قلمقاش ج، فنودی م، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوشه ساوه، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۷۷).

[12] Helmy H.M., Ahmed A.F., El Mahallawi M.M., Ali S.M., "Pressure, temperature and

- [25] Ague J.J., Brimhall G.H., "Regional variation in bulk chemistry, mineralogy and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholithes of California", Geological Society of America Bulletin, 100 (1988) 891-911.
- [26] Monuz J.L., "F-OH and Cl-OH exchange in mica with application to hydrothermal ore deposits", Reviews in Mineralogy 13 (1984) 469-493.
- implications for granitoid genesis", Lithos 63 (2002) 165-187.
- [24] Pourhosseini F., "Petrogenesis of Iranian Plutons: a study of the Natanz and Bazman intrusive complexes", Geological Survey of Iran, Report (1983) no. 53.