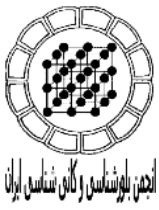
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و دوم، شمارهٔ اول، بهار ۹۳، از صفحهٔ ۸۹ تا ۱۰۲




# 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 زمین شناسی*

*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 Fe/(Fe + Mg) 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، ماگمایی بوده و در محیط با گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن تشکیل شده و صفات کالک آلکالن و I-type نشان می‌دهند که با ویژگی‌های تکتونوماگمایی پیشنهادی برای این توده‌ها یعنی محیط قوسی وابسته به فرورانش همخوانی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** *گرانیتوئید؛ بیوتیت؛ ساوه؛ نشوه؛ خلخاب؛ ویژگی‌های ماگمایی.*

**مقدمه**

بیوتیت یکی از کانی‌های مهم فرومنیزین در سنگ‌های آذرین فلسیک 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 ماگماهای 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 [۳،۲]. 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، داده-های ترکیب شیمیایی کانی بیوتیت در توده‌های گرانیتوئیدی شمال‌غرب ساوه (توده‌ی خلخاب و توده‌ی نشوه) واقع در کمان ماگمایی ارومیه دختر به منظور آگاهی بیشتر مسائل سنگ‌زایی و تکتونوماگمایی 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 نشوه 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 نروژ (۶ نقطه از نمونه‌های خلخاب و ۱۱ نقطه از نشوه) با یک ریزپردازنده‌ی الکترونی مدل CAMECA SX 51 با

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

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

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

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.

**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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | ۳۷٫۲۱ | ۳۷٫۰۶ | ۳۷٫۰۸ | ۳۶٫۱۵ | ۳۶٫۸۰ | ۳۶٫۸۲ | ۳۶٫۸۴ | ۳۶٫۱۸ | ۳۵٫۷۹ |
| $TiO_2$ | ۴٫۵۵ | ۴٫۵۹ | ۴٫۵۷ | ۴٫۶۰ | ۴٫۶۸ | ۴٫۵۷ | ۵٫۳۴ | ۴٫۷۰ | ۴٫۶۰ |
| $Al_2O_3$ | 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 |
| $Na_2O$ | ۰٫۱۶ | ۰٫۱۰ | ۰٫۱۴ | ۰٫۱۲ | ۰٫۱۴ | ۰٫۱۲ | ۰٫۱۴ | ۰٫۱۲ | ۰٫۱۵ |
| $K_2O$ | ۹٫۲۸ | ۹٫۵۱ | ۹٫۳۲ | ۹٫۴۳ | ۹٫۳۹ | ۹٫۱۴ | ۹٫۲۹ | ۹٫۵۵ | ۸٫۹۲ |
| $Cr_2O_3$ | 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 |
| $H_2O$ | 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 | ۱۰۰٫۵۴ | 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 | 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 |

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

**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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SiO2 | ۳۷٫۱۲ | ۳۶٫۵۰ | ۳۶٫۹۷ | ۳۶٫۳۰ | ۳۶٫۲۵ | ۳۶٫۶۱ | ۳۶٫۴۶ | ۳۶٫۱۴ |
| TiO2 | ۴٫۷۹ | ۴٫۲۶ | ۴٫۷۰ | ۴٫۴۹ | ۴٫۸۳ | ۴٫۹۷ | ۴٫۹۸ | ۴٫۳۰ |
| Al2O3 | 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 |
| Na2O | ۰٫۱۳ | ۰٫۱۱ | ۰٫۱۴ | ۰٫۱۲ | ۰٫۱۰ | ۰٫۱۱ | ۰٫۱۱ | ۰٫۱۰ |
| K2O | ۸٫۹۸ | ۹٫۰۵ | ۹٫۴۷ | ۹٫۵۷ | ۹٫۳۸ | ۹٫۴۱ | ۹٫۳۷ | ۹٫۳۸ |
| Cr2O3 | 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 |
| H2O | 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 |

**زمین‌شناسی توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی شمال غرب ساوه**

از نظر زمین شناسی منطقه‌ی ساوه بخشی از ایران مرکزی بوده و در کمان ماگمایی ارومیه– دختر واقع شده است. توده های نفوذی مورد بحث شامل توده‌ی تونالیتی- دیوریتی خلخاب و توده‌ی گرانودیوریتی نشوه هستند که در شمال غرب ساوه [۶، ۱۱] رخنمون دارند (شکل ۱).

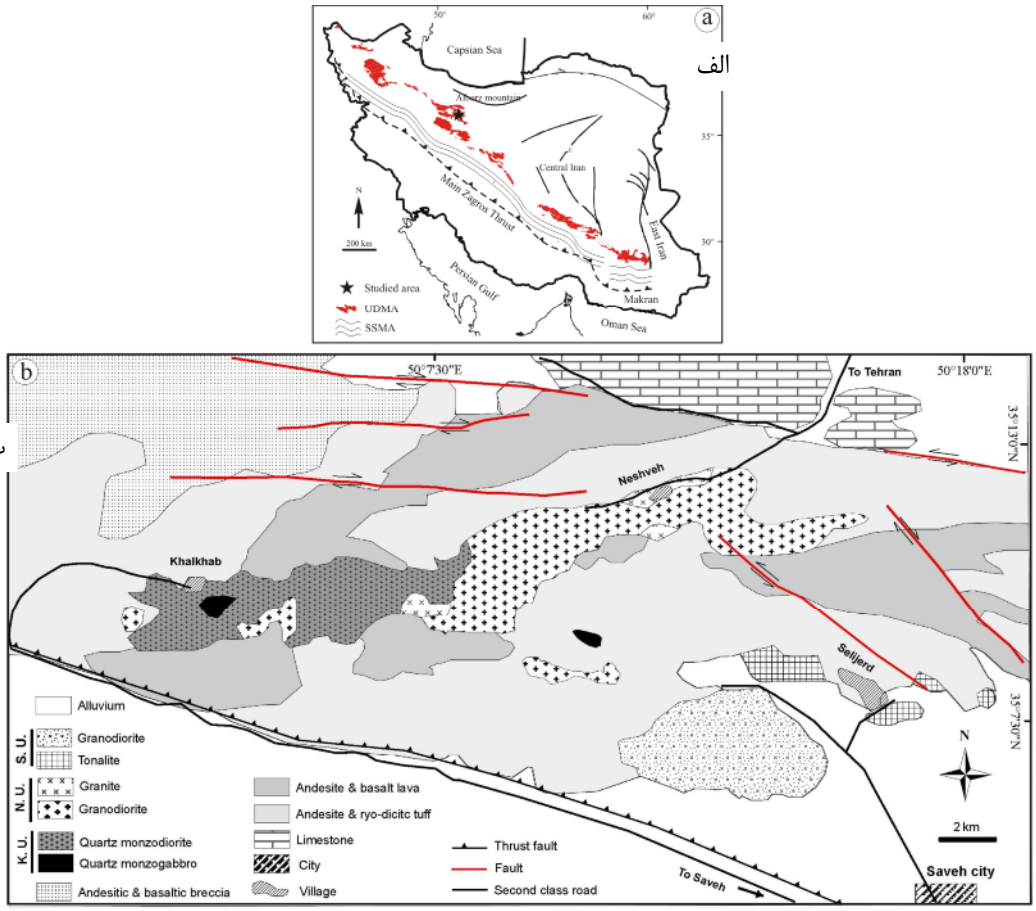
توده خلخاب که در کوه‌های شاه‌پسند، زرو و جنوب روستای کوشکک بیرون زدگی دارد؛ به وسیله‌ی دایک‌های

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

دیابازی و رگه‌های سیلیسی بریده شده است. بزرگترین رخنمون این توده در کوه زرو (اطراف روستای خلخاب) و با وسعت تقریبی ۲۰ کیلومتر مربع است. توده‌ی نفوذی خلخاب دارای ترکیب سنگ‌شناسی تونالیت، کوارتزمونزودیوریت و کوارتزدیوریتی 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 کوارتزمونزودیوریت‌ها 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 می شود. کانی بیوتیت در سنگ‌های مافیک‌تر این توده به صورت نیمه‌شکل‌دار تا کاملاً بی‌شکل دیده می‌شود. این کانی در سنگ‌های فلسیک‌تر شکل-دار بوده و رخ کامل نشان می‌دهد و همراه با کانی هورنبلند دیده می‌شود. کانی‌هایی نظیر اکسیدهای آهن و تیتان از جمله کانی‌های فرعی این سنگ‌ها به شمار می‌آیند. این توده دارای ویژگی‌های ماگماتیسم نوع آندی یعنی آهکی- قلیایی و نوع I است [۶، ۱۳-۱۶].

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




**شکل ۱** نقشه‌ی زمین شناسی منطقه که از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساوه [۱۱] که توسط [۱۴،۱۵] تصحیح گردیده، اقتباس شده است.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

هورنبلند و بیوتیت و کانی‌های ثانوی نظیر کلریت و سریسیت تشکیل شده‌اند. تجزیه و دگرسانی پلاژیوکلازها باعث ایجاد ادخال میکای ریزدانه (سریسیت) در آن‌ها شده است. آمفیبول-ها که بیشتر از نوع هورنبلند هستند، معمولاً در زیر نور طبیعی به رنگ سبز، قهوه ای و یا زرد متمایل به قهوه‌ای و به صورت شکل‌دار دیده می‌شوند. در مقاطع، گاهی آمفیبول به طور کامل یا از حاشیه‌ها به کلریت تبدیل شده و گاهی هورنبلند به بیوتیت تبدیل می شود. آمفیبول‌های ثانوی از نوع اکتینولیت–ترمولیت نیز مشاهده می‌شود. معمولاً مقدار کانی‌های مافیک در گرانیتوئیدها خیلی کمتر از کانی‌های فلسیک است و تقریباً ۱۰ تا ۱۵ در صد حجم کل مقاطع را اشغال می‌کنند.

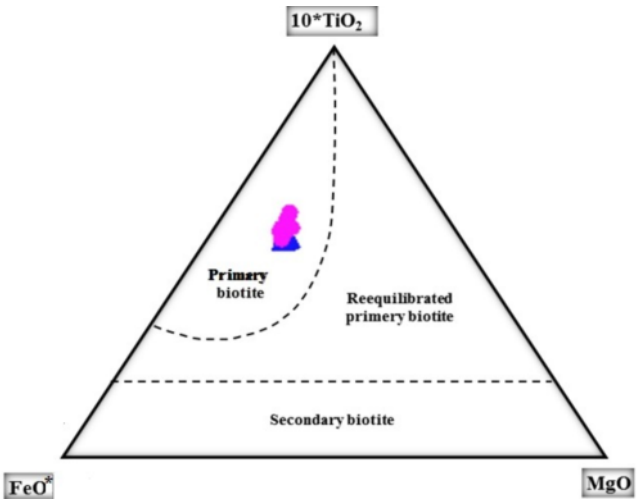
از دیگر کانی‌های مافیک موجود در مقاطع، بیوتیت است که معمولاً به رنگ قهوه‌ای تا سبز زیتونی دیده می‌شود. این کانی در مقاطع مورد بررسی شکل‌دار بوده و به صورت ورقه‌ای و مستطیلی دیده می‌شود. اندازه‌ی این کانی بیشتر ریز تا متوسط دانه بوده و در مقاطع پراکنده است. در بعضی قسمت-های مقاطع، بیوتیت‌ها به کلریت تبدیل شده‌اند. این توده نیز از نوع I است [۶، ۱۳-۱۶]. از کانی‌های فرعی موجود در این سنگ ها 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 نفوذی نشوه و خلخاب در اثر فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی تشکیل شده‌اند و ویژگی‌های گرانیتوئیدهای قوسی و منطقه‌ی کوهزایی را نشان می‌دهند [۶] که توسط [۱۳-۱۶] هم تأیید می‌شود.

## بحث و بررسی

### شناسایی بیوتیت های اولیه از بیوتیت های ثانوی

به منظور شناسایی بیوتیت‌های اولیه از ثانویه از نمودار سه-تایی FeO + MnO، $10TiO_2$، MgO [۱۷] استفاده شده است. این نمودار می تواند بیوتیت‌های اولیه یا ماگمایی را از بیوتیت‌های اولیه‌ای که دستخوش تعادل مجدد شده‌اند و نیز بیوتیت‌های ثانویه جدا کند. بر اساس این نمودار همه‌ی 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 ماگمایی قرار می‌گیرند (شکل ۲). مقادیر Ti بیوتیت-های دو توده‌ی خلخاب و نشوه تفاوت قابل ملاحظه‌ای نشان نمی‌دهند. بنابر نظر [۱۷]، مقدار Ti بیوتیت‌ها وابسته به دما بوده و با $X_{Feo*} = [(FeO^*+MnO)/FeO^*+MnO+MgO)]$ سنگ میزبان تغییر می‌کند. مقدار $X_{FeO*}$ در بیوتیت‌های مورد بررسی به ترتیب حدود ۰/۷۲ و ۰/۶۱ بوده (جدول۱) و بیوتیت-های سنگ‌های اخیر به طور چشمگیری با فازهای اکسیدی Fe-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 می-دهد [۱۸].



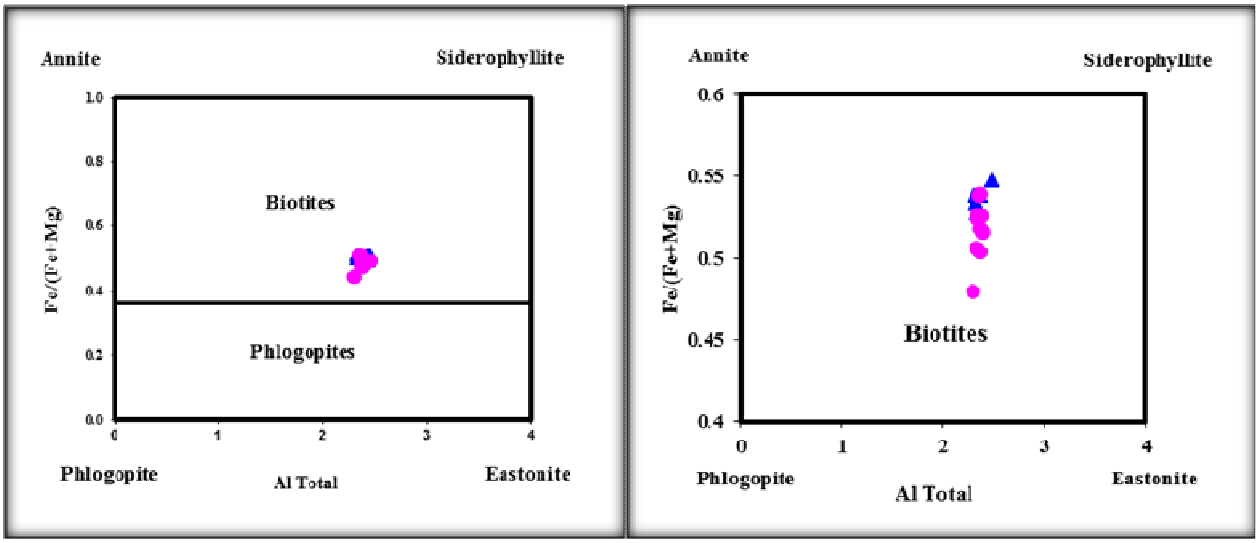

**شکل ۲** نمودار سه‌تایی FeO*، $10TiO_2$، MgO [۱۷] که بیوتیت‌های اولیه و بیوتیت‌هایی که دستخوش تعادل مجدد در محیط شده‌اند را از بیوتیت‌های ثانوی متمایز می‌سازد. دایره‌ی صورتی نشانه سنگ‌های گرانودیوریتی نشوه و مثلث‌های آبی رنگ نشانه‌ی سنگ‌های کوارتزمونزودیوریتی خلخاب هستند.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

**ترکیب شیمی کانی بیوتیت**

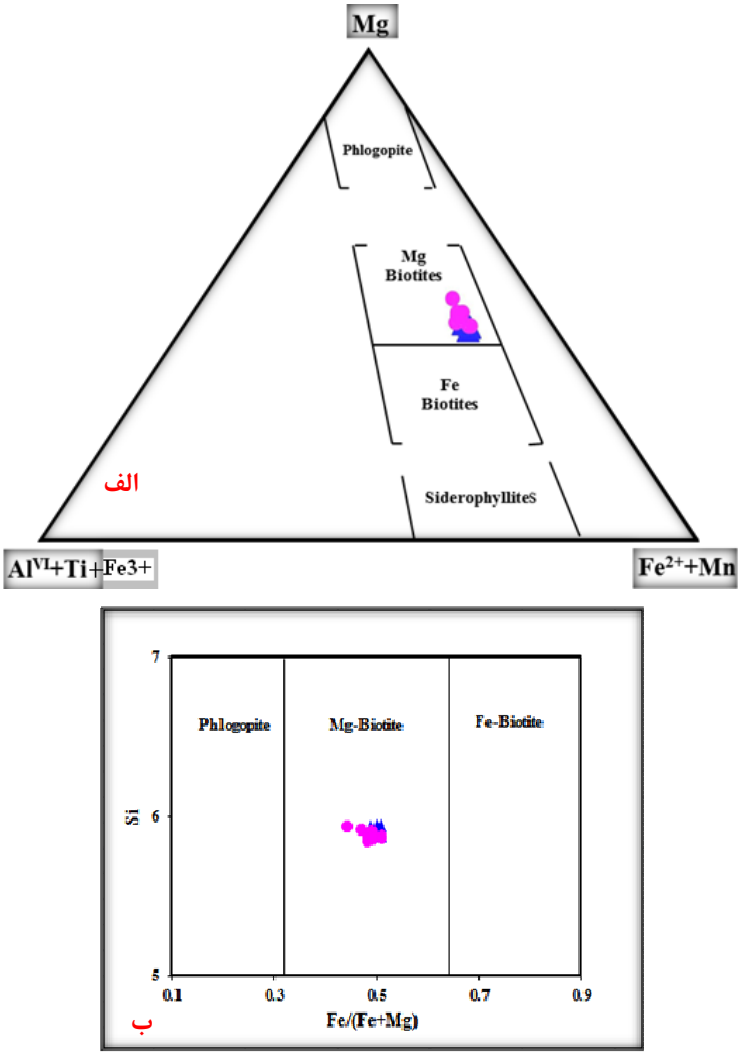
بیوتیت محلول جامد چهار عضو انتهایی یعنی آنیت، سیدروفیلیت، فلوگوپیت و ایستونیت است که بر پایه این چهار فاز، نموداری تحت عنوان چهارضلعی (ASPE) طراحی شد که برای تعیین ترکیب میکاهای هشت وجهی سه گانه به‌کار می‌رود [۱۹،۳]. آنیت $KFe_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$، فلوگوپیت $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$، سیدروفیلیت $KFe_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$ و ایستونیت $KMg_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$ که اعضای نهایی چهار ضلعی (ASPE) هستند. در این چهار ضلعی، دو متغیر Fe/(Fe+Mg) و Al total به‌کار گرفته شده‌اند که به ترتیب شاخص گریزندگی 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 فلوگوپیت 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 دارای بازه‌ی بسیار کوچکی است ولی همین تغییرات کوچک در هر دو توده روندی نشان نداده و الگوی انباشتی به خود می‌گیرند. چنین الگویی مختص بیوتیت 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. بیوتیت‌های 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 گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن در ماگماست [۲۱].




**شکل ۳** رده بندی شیمیایی میکاهای دو توده خلخاب و نشوه در چهارضلعی (ASPE) [۳]. شکل سمت راست در مقیاس بزرگتر تهیه شده تا تغییرات اندک نسبت Fe/(Fe+Mg) نسبت به مقدار ثابت آلومینیم را نشان دهد. علائم مشابه شکل ۲ هستند.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]




**شکل ۴** رده بندی شیمیایی میکاهای دو توده خلخاب و نشوه[۲]. علائم مشابه شکل ۲ هستند.

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 $(Mg, Fe)^{VI}$ $Si^{IV}=Al^{VI}Al^{IV}$ جانشینی $3(Mg, Fe)^{VI} =Al^{VI}Al^{IV}$ فضای هشت وجهی را فراهم می‌کند [۲]. همچنین $Al^{VI}$ پایین تا صفر ($Al^{VI} <$ ۱ بر اساس ۲۴ اکسیژن) از ویژگی‌های بیوتیت-های ماگمایی است [۱۷] که در مورد بیوتیت‌های مورد بررسی (۰/۰۴ به طور میانگین) صدق می‌کند. مطابق شکل ۴ بیوتیت-های هر دو توده دارای مقدار تقریباً برابر سیلیس در ترکیب خود هستند که این بیانگر خویشاوندی کوارتزمونزودیوریت‌ها با گرانودیوریت‌ها و شباهت آشکار فرآیندهای ماگمایی سازنده-ی سنگ‌های دو توده‌ی خلخاب و نشوه است. به عقیده‌ی [۲۰] روند غنی‌شدگی از آهن و منیزیم در بیوتیت بستگی به گریزندگی اکسیژن در طول تبلور ماگما 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 منحصراً بیوتیت‌هایی آن را بازتاب می‌دهند که حاصل دمای بالای تبلور سنگ‌های با سیلیس کمتر باشند که تنها بیوتیت‌های غنی از Mg در آن شرایط ماگمایی پایدارند [۲۰].

**تعیین گریزندگی اکسیژن در محیط تشکیل بیوتیت ها**

براساس نمودار دوتایی $Log\ fO_2$ نسبت به دما که توسط ونز و آگستر [۲۰] طراحی شده است که از آن برای واکنش‌هایی استفاده می‌شود که در آن مجموعه بیوتیت، سانیدین، مگنتیت

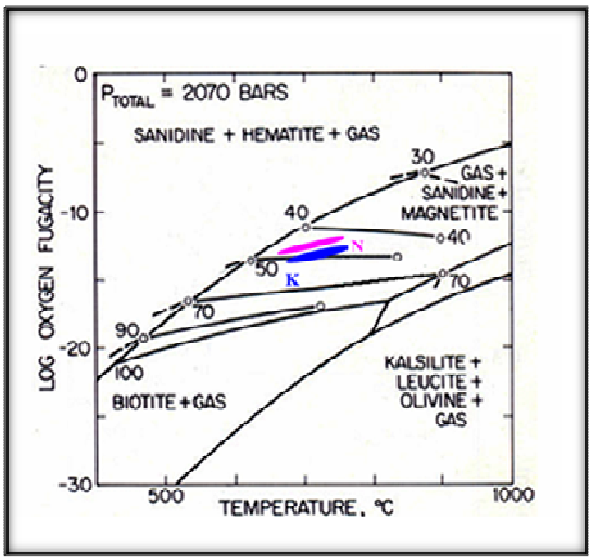
[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

و گاز در فشار معادل ۲۰۷۰ بار در تعادل قرار می‌گیرند. چنانکه در شکل ۵ دیده می‌شود، در دو توده‌ی خلخاب و نشوه مقدار Log $fO_2$ برای سنگ‌های این دو توده تقریباً در حدود $10^{-12}$ تا $10^{-14}$ بار است که نشان می‌دهد گریزندگی اکسیژن در محیط تشکیل بیوتیت‌های هر دو توده نسبتاً بالا بوده است (دما برحسب زمین گرما- دماسنجی آمفیبول- پلاژیوکلاز محاسبه شده است [۶]).

**تعیین سری ماگمایی و محیط زمین ساختی**

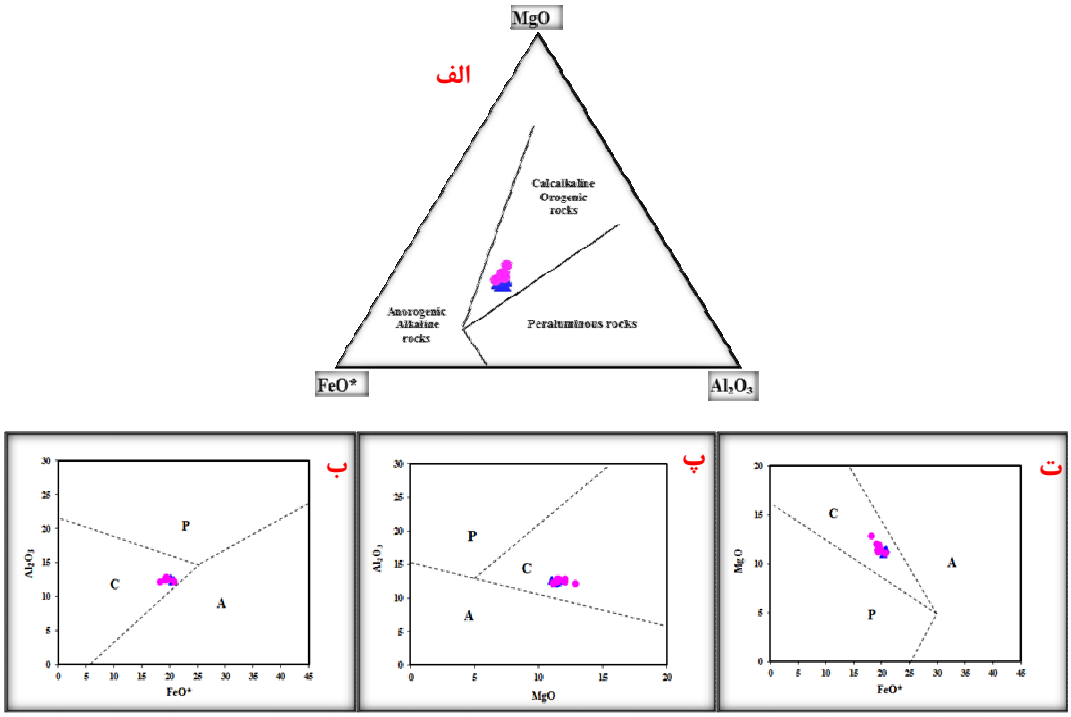
با توجه به اینکه بیوتیت‌ها ماهیت و شرایط فیزیکوشیمیایی ماگما را نشان می‌دهند و ترکیب بیوتیت در مجموع تابع ترکیب و شرایط تبلور ماگمایی است که از آن متبلور شده است، بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک معیار مناسب برای شناسایی محیط زمین‌ساختی گرانیت‌ها استفاده کرد. عبدالرحمن [۱] با استفاده از آنالیزهای سه اکسید $Al_2O_3$، MgO و FeO* 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 پرآلومین که بیوتیت‌های آنها از آلومینیوم غنی و به سوی قطب سیدروفیلیتیک تمایل دارند و معمولاً همراه با مسکوویت و یا دیگر کانی‌های آلومینیوسیلیکات مثل گارنت، کردیریت و یا آندالوزیت هستند و شامل گرانیت‌های برخوردی نوع S-Type می‌شوند (P) و گرانیت‌های کوهزایی آهکی- قلیایی از نوع I که به‌طور متوسط غنی از منیزیم بوده و معمولاً همراه با آمفیبول کلسیم‌دار و یا پیروکسن کلسیم‌دار و وابسته به فرورانش هستند (C). در شکل ۶ موقعیت نمونه‌های مورد بررسی به تصویر در آمده‌اند. تمام نمونه‌های بیوتیت توده‌های خلخاب و نشوه که از نوع گرانیت‌های I هستند، در پهنه‌ی C قرار می‌گیرند که به قلمرو بیوتیت در گرانیتوئیدهای قوسی آهکی- قلیایی فرورانشی وابسته‌اند. این یافته، خاستگاه ماگمایی وابسته 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 ماگمایی ارائه می‌دهند. دو گروه C و P از لحاظ داشتن FeO تقریباً مشابه‌اند (بطور متوسط wt% ۲۲-۲۰) و در مقدار ثابت FeO*، افزایش $Al_2O_3$ باعث جدایش بین این دو گروه می‌شود. در گروه A، روند افزایش FeO* با کاهش $Al_2O_3$ همراه بوده که این ناهمخوانی با جایگزینی $Fe^{2+}$ و Al در جایگاه هشت وجهی صورت گرفته و به صورت $2Al = 3Fe^{+2}$ است. بر همین اساس نمونه‌های هر دو توده دارای FeO (بطور متوسط wt% ۲۲-۱۷) بوده و در گستره‌ی آهکی- قلیایی قرار می‌گیرند.




**شکل ۵** نمودار Log $fO_2$ 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 نشان‌دهنده‌ی نسبت Fe/(Fe+Mg) هستند. دما براساس زمین‌دماسنجی کانی آمفیبول محاسبه شده است. گستره‌ی آبی رنگ مربوط به نمونه‌های توده‌ی خلخاب است که با حرف K نشان داده شده و بخش صورتی رنگ به نمونه‌های توده نشوه است که با حرف N نشان داده شد.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]




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

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 (3Mg = 2Al) بین بیوتیت‌ها مربوط می‌شود [۱]. بر اساس این نمودار هم بیوتیت‌های هر دو توده‌ی مورد بررسی، در گستره‌ی آهکی- قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۶ پ).

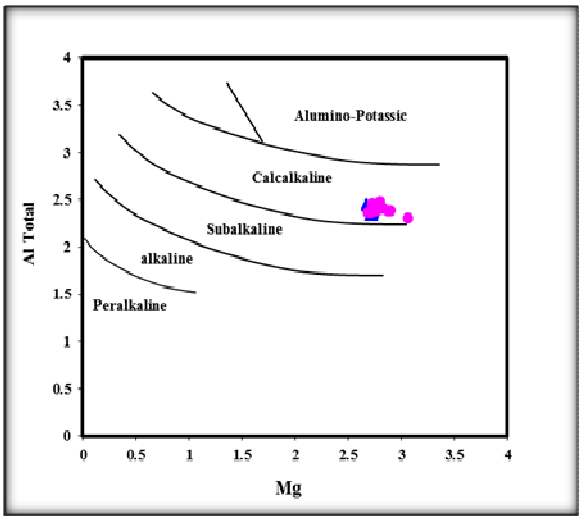
بر اساس نتایج نمودار FeO* نسبت به MgO [۱] نیز، سنگ‌های گروه C غنی از منیزیم بوده و دارای مقدار متوسط MgO = 11 wt% و نسبت FeO*/MgO = 1.76 است که یک ناهمخوانی را نشان می‌دهد. گروه A نیز به طور متوسط دارای مقدار MgO = 3 wt% و نسبت FeO*/MgO = 7.04 است و گروه P به طور متوسط دارای MgO = 6 wt% و نسبت FeO*/MgO = 3.48 است. بطور مشابه، مقدار FeO* در هر دو گروه P و C تقریباً ثابت است و میزان MgO باعث جدایی این دو گروه می‌شود. بین دو گروه A و C یک جایگزینی FeO-MgO کنترل شده در ترکیبات بیوتیت وجود دارد [۱]. براساس این نمودار نمونه‌های بیوتیت هر دو توده‌ی خلخاب و نشوه نسبت به منیزیم غنی‌شدگی نشان می‌دهند و در گستره‌ی آهکی- قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۶ ت).

به طور کلی بیوتیت‌های آهکی- قلیایی با افزایش MgO کاهش نسبی در مقدار $Al_2O_3$ نشان می‌دهند که می‌تواند در اثر فرآیندهای تبلور بیوتیت‌های غنی از Al در گدازه‌های 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 (3Mg = 2Al) و ($2Al = 3Fe^{+2}$).

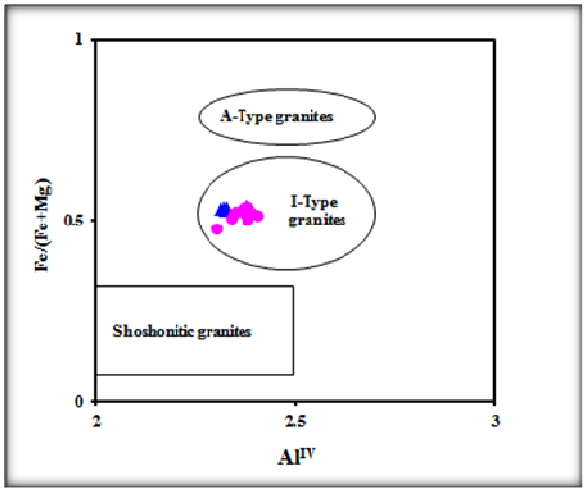
در نمودار Al total-Mg [۲۲] نیز سنگ‌های هر دو توده در گستره‌ی منیزیم بالا و آهکی- قلیایی قرار می گیرند (شکل ۷) که با نتایج روش عبدالرحمن [۱] کاملاً همخوانی دارد.

از طرف دیگر ترکیب شیمی بیوتیت قادر به جدایی سنگ گرانیتی میزبان خود بر پایه‌ی رده‌بندی الفبایی گرانیت‌هاست، به گونه‌ای که جیانگ و همکاران [۲۳] بر حسب تغییرات نسبت Fe/(Mg + Fe) نسبت به $Al^{IV}$ 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).

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]




**شکل ۷** تعیین سری ماگمایی گرانیتوئیدهای مورد بررسی براساس ترکیب شیمیایی بیوتیت [۲۲].علائم مشابه شکل ۲ هستند.




**شکل ۸** نمودار تغییرات نسبت$Fe^{2+}/(Mg+Fe^{2+})$ در مقابل $Al^{IV}$ موقعیت ترکیب بیوتیت‌های گرانیتوئیدهای توده‌های نفوذی نشوه و خلخـاب را نشان می‌دهد. محدوده‌های گرانیت‌های نوع A و I و شوشونیتی توسط [۲۳] ارائه شده است. علائم مشابه شکل ۲ هستند.

**تعیین میزان آلودگی پوسته‌ای گرانیت‌ها به کمک شیمی کانی بیوتیت**

یکی از راه‌های تشخیص آلودگی، استفاده از چهار ضلعی ASPE است که درآن دو متغیر Fe/(Fe+Mg) و Al total به ترتیب شاخص گریزندگی اکسیژن و پرآلومینه بودن ماگما 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 گرانیتوئیدهایی است که دستخوش آلودگی پوسته‌ای نشده‌اند [۸].

کمپلکس سنگ‌های گرانیتوئیدی توده‌ی نفوذی نطنز که در کمان ارومیه-دختر رخنمون دارند به خاطر ترکیب سنگ-شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی شباهت زیادی با توده‌های مورد بررسی ما دارند. بررسی‌های دقیق و گسترده سنگ-شناسی، کانی‌شناسی، ترکیب شیمی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها و داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی، ردیاب و ایزوتوپی روی سنگ‌های گرانیتوئیدی توده‌ی نفوذی نطنز نشان داد که این یک کمپلکس نفوذی آهکی- قلیایی، متا آلومین و نوع I، است و دارای ویژگی‌های ماگماتیسم حاشیه فعال قاره‌ای است، به عبارت دیگر پلوتونیسم آن را به فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته‌ی قاره‌ای ایران مرکزی در نظر

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

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 نفودی شمال‌غرب 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 باتولیت کالیفرنیا ارائه کرده و با استفاده از عناصر ردیاب و شیمی آمفیبول، آن را کامل کرده‌اند. بنابراین رده‌بندی سنگ‌های حاوی بیوتیت با $Log(X_F/X_{Cl})$ بزرگتر از ۱۲٪ با توجه به افزایش نسبت F/OH به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند:

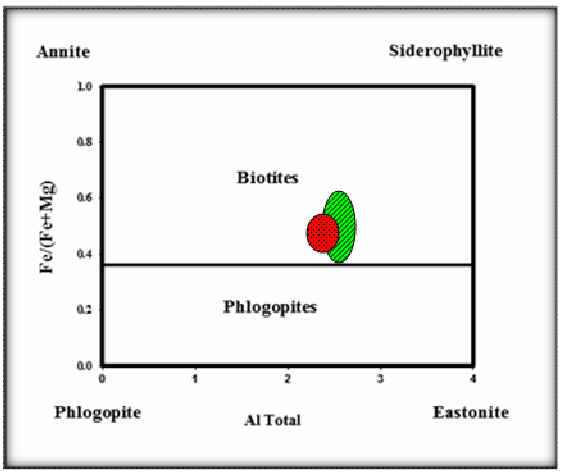
۱) گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک I-WC (Weakly Contaminated I-type granites)

۲) گرانیت‌های نوع I دارای آلودگی متوسط I-MC (Moderately Contaminated I-type granites)

۳) گرانیت‌های نوع I به شدت آلوده I-SC (Strongly Contaminated I-type granites)

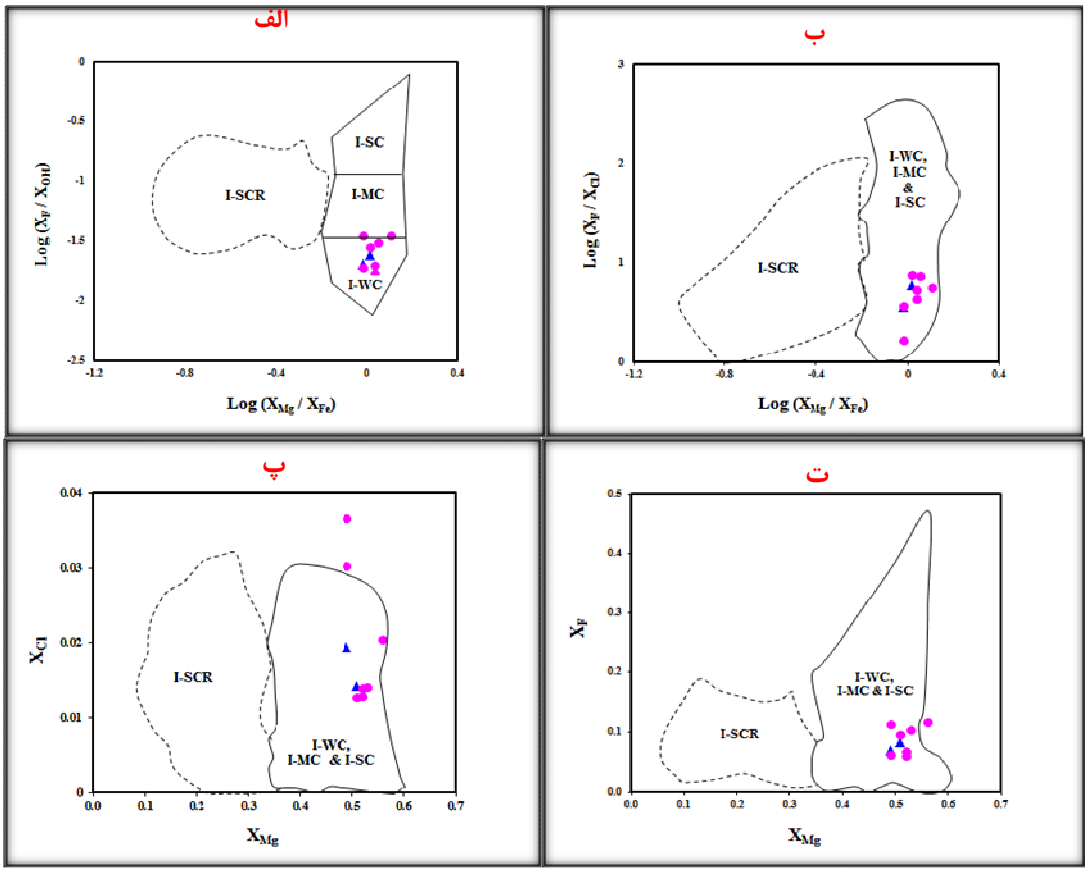
۴) گرانیت‌های نوع I احیایی به شدت آلوده I-SCR (Strongly Contaminated and reduced I-type granites)

گرانیت‌های نوع I-SCR سنگ‌های احیایی حاوی بیوتیت‌های با $Log(X_F/X_{Cl}) < -0.21$ هستند. اصطلاح آلودگی در اینجا از واکنش ماگمای نوع I مشتق شده از گوشته بالایی، پوسته‌ی عمیق و یا لیتوسفر فرورونده با تشکیل‌دهنده‌ای از پوسته‌ی قاره‌ای از هر راه ممکن (ذوب‌بخشی، اختلاط ماگمایی 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 ذخیره‌ی کمتر Mg در نوع I-SCR و بیوتیت‌های I-SCR و تا حدودی I-SC گرایش به داشتن Mn بیشتر دارند و غنی از منگنز هستند. از طرفی افزایش مقدار فلوئور، 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 توده‌ی خلخاب و نشوه در گستره‌ی 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 فلوئور بالاتری در ساختار بیوتیت‌های خود دارند. برعکس کلر در آنها کاهش نشان می‌دهد که همه این موارد بر آلودگی اندک ماگمای سازنده آنها با پوسته قاره‌ای دلالت دارد.




**شکل ۹** مقایسه‌ی گستره‌ی ترکیبی بیوتیت‌های دو توده‌ی خلخاب و نشوه (منطقه مورد پژوهش) با گستره بیوتیت‌های همبافت (کمپلکس) نفوذی نطنز [۲۴] در چهارضلعی ASPE. گستره ی سرخ رنگ به توده‌های مورد بررسی و گستره‌ی هاشوری سبزرنگ به توده‌ی نطنز مربوطاند.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]




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

این یافته‌ها در مقایسه با نتایج حاصل از داده‌های ایزوتوپی [۱۶] که براساس آنها مقدار نسبت اولیه‌ی $^{87}Sr/^{86}Sr$ برای تمام مجموعه‌های سنگی پایین و چیزی در حدود ۰٫۷۰۴ است و آلودگی اندک با پوسته‌ی قاره‌ای را نشان می‌دهد، همخوانی دارند و بنابراین به عقیده‌ی [۱۶] سنگ‌های هر دو توده از منشأ خاستگاه همگن غنی‌تر از Sr نسبت به Rb سرچشمه گرفته‌اند. از طرف دیگر میانگین مقادیر $\varepsilon_{Nd}$ حدود ۳٫۰+ است (از ۲٫۲+ تا ۳٫۹+) 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 مقادیر اولیه $^{87}Sr/^{86}Sr$ نیز تأیید می‌شود [۱۶].

## برداشت

ترکیب شیمی کانی بیوتیت در سنگ‌های گرانیتوئیدی توده‌های خلخاب و نشوه در شمال غرب ساوه دارای بازه بسیار اندک محتوای آلومینیم کل نسبت به مقادیر نسبتاً محدود Fe/(Fe+Mg) هستند. نمونه‌های بیوتیت این دو توده در چهار ضلعی ASPE شکل انباشتی داشته و نشانه‌ی عدم آلودگی پوسته‌ای هستند. از طرفی نمونه‌های هر دو توده خلخاب و نشوه آلومینیوم کمتر و منیزیم بیشتری داشته و گرایش به داشتن منگنز کمتر و مقدار فلوئور بالاتری در ساختار بیوتیت‌های خود دارند. برعکس کلر در آنها کاهش نشان می‌دهد که همگی دلیل بر آلودگی اندک ماگمای سازنده آنها با پوسته‌ی قاره‌ای است. این بیوتیت‌ها ماگمایی 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 فرورانش‌اند.

## مراجع

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

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

*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 اصلی 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 قلیایی بزقوش و کلیبر، شمال غرب ایران"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۸۸) ۳۸۱-۳۹۴.

[۱۰] معظمی گودرزی ف.، *"کاربرد ترکیب شیمیایی 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 ۱۰۰۰۰۰: ۱ چهارگوش 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 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 ژنز کانه‌زایی آهن در شمال-غرب ساوه (ایران مرکزی)"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (۱۳۷۴).

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

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

[16] Rezaei-Kahkhaei 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 neoformed 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., YakonovY.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:*

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]

[25] Ague J.J., Brimhall G.H., *"Regional variation in bulk chemistry, mineralogy and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholites 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.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-19 ]