



## بررسی شیمی کانی بیوتیت در گرانیتوئید مکسان، جنوب شرق ایران

محمد رضا قدسی<sup>\*</sup>، محمد بومری<sup>۱</sup>، سasan باقری<sup>۱</sup>، کازو ناکاشیما<sup>۲</sup>

۱-بخش زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲-دپارتمان علوم زمین و زیست محیطی، دانشگاه یام‌گاتا، یام‌گاتا، ژاپن

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۱/۱۴، نسخه نهایی: ۹۴/۲/۲۶)

**چکیده:** گرانیتوئید مکسان در حاشیه‌ی جنوبی بلوك لوت و در جنوب شرقی ایران قرار گرفته است. ترکیب این گرانیتوئید عبارتند از گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز مونزودیوریت، دیوریت و گابرو. شیمی کانی بیوتیت در سنگ‌های گرانیتی تا گابرویی با کمک ریزپردازی‌نده الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. ترکیب شیمیایی بیوتیتها از نوع بیوتیتها منیزیم‌دار بوده و با توجه به مقداری  $Al^{IV}$ ،  $FeO$ ،  $MnO$ ،  $MgO$ ،  $TiO_2$  و نیز مقداری  $Al^{IV}$  جزء انواع ماقمایی اولیه به حساب می‌آیند. این بیوتیتها در محیط با گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن تشکیل شده و صفات آهکی- قلیایی و نوع I نشان می‌دهند که با ویژگی‌های تکتونوماقمایی محیط‌های وابسته به فرورانش همخوانی دارد. همچنین شیمی کانی بیوتیت نشان می‌دهد که آولدگی ماقمای سازنده این گرانیتوئید با پوسته قاره‌ای، کم تا متوسط است.

**واژه‌های کلیدی:** شیمی کانی؛ بیوتیت؛ گرانیتوئید؛ مکسان؛ ایران.

مقدمه

خود جلب کرده است [۸-۴] و هدف این پژوهش در همین راستاست.

گرانیتوئید مکسان بخش مهمی از مجموعه گرانیتوئید بزمان به شمار می‌رود که در حاشیه جنوبی بلوك لوت و در نزدیکی پیوستگاه چندین پهنه ساختاری-رسوبی مهم ایران از قبیل کمریند آتشفسانی ارومیه - دختر، کمان آتشفسانی مکران (بزمان، تفتان و کوه سلطان) و زون فلیش شرق ایران قرار گرفته است که اهمیت بررسی آن را دو چندان می‌کند. این گرانیتوئید یک توده آذربین با کشیدگی شرقی-غربی است که در حدود ۳۰ کیلومتر طول و ۲۰ کیلومتر عرض دارد. از جمله مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در منطقه می‌توان به بررسی‌های زمین‌شناسی [۹] اشاره نمود. وی تشکیل گرانیتوئید بزمان را به زون فرورانش فعل مکران مرتبط دانسته است. ژئوشیمی رسوب‌های آبراهه‌ای و

بیوتیت یکی از کانی‌های مهم فرومینیزین در سنگ‌های آذربین فلسفیک است و در سنگ‌های آذربین مافیک به شکل فاز فرعی ظاهر می‌شود [۱]. از ترکیب شیمیایی بیوتیتها برای بازتاب طبیعت تشکیل این کانی و پی بردن به شرایط فیزیکوشیمیایی ماقمای تشکیل دهنده‌ی آن‌ها استفاده می‌شود. بررسی‌های متعدد نشان داده است که ژئوشیمی بیوتیت می‌تواند اطلاعات خوبی درباره فرآیند ذوب و شرایط ترمودینامیک تبلور مذاب گرانیتی آشکار نماید [۱-۳]. ترکیب بیوتیت بیشتر وابسته به ماهیت ماقمای‌هایی است که از آن متبλور می‌شود و پتانسیل این کانی برای انکلاس ماهیت و شرایط فیزیکوشیمیایی ماقماً بالا است [۲]. بررسی ترکیب شیمی کانی بیوتیت برای تعیین پتروژئو و محیط زمین‌ساختی گرانیتوئیدی در ایران موضوعی است که به تازگی در دهه اخیر توجه برخی از پژوهشگران را به

این بررسی، داده‌های ترکیب شیمیایی کانی بیوتیت در گرانیتوئید مکسان بهمنظور آگاهی بیشتر مسائل سنگ زایی و تکتونوماگمایی به کار گرفته شد.

### روش بررسی

در این پژوهش، نخست نمونه‌برداری دقیقی از گرانیتوئید مکسان صورت گرفت. حدود ۱۰۰ مقطع نازک از این نمونه‌ها تهیه شدند و با کمک میکروسکوپ پلاریزان مدل Olympus در بررسی قرار گرفتند و پس از آشنایی با ویژگی‌های کانی شناختی و سنگ‌شناسی، تعداد ۱۰ مقطع که نمونه‌هایی سالم و فاقد دگرسانی بودند، برای آنالیز نقطه‌ای انتخاب شدند (جدول ۱). تجزیه‌های نقطه‌ای بیوتیت (تعداد ۶۲ نقطه) با ریز پردازنده الکترونی مدل JEOL JXA-8600M در لولتاش شتاب دهنده ۱۵ کیلو وات و جریان تابشی  $10^{-8}$  amp در بخش علوم زمین و محیط زیست دانشگاه یاماگاتا در کشور ژاپن انجام شد و نتایج آنالیزها در نرم افزار Excel و Minpet 2.02 نشان دادند.

زمین‌شناسی اقتصادی برگه جازموریان را مورد بررسی و پتانسیل‌های زمین‌شناسی اقتصادی و بی‌亨جری‌های ژئوشیمیایی مرتبط با کانی‌سازی را معرفی نموده است [۱۰]. تشکیل اسکارن و کانی‌زایی مس گربدر در جنوب شرق کوه بزمان را بررسی نموده و بیان می‌کند که متامورفیسم سنگ‌های رسوبی کربنیفر-پرمین در مجاورت گرانیتوئید بزمان سبب تشکیل اسکارن و کانی‌زایی مس شده است [۱۱].

تاکنون بررسی‌های جامعی بر روی گرانیتوئید مکسان صورت نگرفته است و این نوشتار به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و شیمی کانی بیوتیت در توده‌های مختلف می‌پردازد. یکی از ویژگی‌های جالب توده نفوذی گرانیتوئیدی مکسان منطقه بندي آن است بهطوری که از حاشیه به سمت مرکز، ترکیب شیمیایی آن از بازیک تا اسیدی تغییر می‌کند و کانی بیوتیت در اکثر توده‌های نفوذی مشاهده می‌شوند. به این دلیل ممکن است این تغییرات در شیمی بیوتیت نیز معنکس شود. لذا در

جدول ۱ نتایج ریز پردازش الکترونی کانی بیوتیت در گرانیتوئید مکسان.

Samples no	۴۲۸	۱۶۰	۷	۱۳	۳۱۶	۵۰	۱۱۱	۳۲۰	۳۴۰	۱۲	
n	۸	۱۱	۹	۳	۳	۳	۲	۱۰	۲	۱۰	
Rock type	Granite				Granodiorite			Monzodiorite		Diorite	Gabbro
SiO <sub>2</sub>	-۳۲۸	۷۱.۲۵	۸۹.۳۸	۲۶.۳۷	۶۰.۳۷	۶۱.۳۷	۸۱.۳۷	۴۱.۳۷	۸۱.۳۶	۶۲.۲۷	
TiO <sub>2</sub>	۰.۲	۷۸.۲	۹۱.۲	۶۰.۲	۲۲.۳	۵۹.۳	۵۵.۳	۲۵.۴	۱۱.۴	۷۲.۴	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳۸.۱۴	۶۷.۱۴	۶۵.۱۴	۴۰.۱۴	۳۵.۱۴	۹۱.۱۴	۹۵.۱۳	۵۰.۱۳	۴۱.۱۴	۸۴.۱۳	
FeO	۶۱.۱۶	۰.۳۶	۲۲.۱۷	۹۴.۱۷	۱۹.۱۷	۳۲.۱۸	۴۶.۱۹	-۸.۱۹	۱۰.۱۷	۶۹.۱۶	
MnO	۴۷.۱	-۰.۵۱	-۰.۱	۷۸.۰	۵۰.۰	۲۹.۰	۳۵.۰	۳۳.۰	۱۳.۰	-۰.۹۰	
MgO	۳۵.۱۳	۱۳.۱۱	۳۷.۱۳	-۰.۷.۱۳	۳۳.۱۲	۲۶.۱۲	۵۸.۱۱	۹۵.۱۱	۳۸.۱۳	۱۲.۱۳	
CaO	-۰.۴۰	-۰.۴۰	-۰.۱۰	۲۲.۰	-۰.۲۰	-۰.۱۰	-۰.۷۰	-۰.۵۰	-۰.۸۰	۱۴.۰	
Na <sub>2</sub> O	-۰.۷۰	۱۱.۰	-۰.۷۰	۱۰.۰	-۰.۷۰	-۰.۶۰	-۱۰.۰	-۰.۹۰	۱۱.۰	-۰.۸۰	
K <sub>2</sub> O	۱۶.۹	۸۳.۸	۵۶.۹	۳۲.۸	۴۷.۹	۶۲.۹	۶۹.۸	۳۲.۹	۱۳.۹	-۰.۹	
BaO	-۰.۷۰	۱۷.۰	-۰.۰	-۰.۳۰	-۰.۵۰	-۰.۷۰	-۰.۹۰	-۰.۷۰	۴۵.۰	-۰.۸۰	
Cl	-۰.۲۰	-۰.۳۰	-۰.۵۰	۱۸.۰	-۰.۸۰	-۰.۷۰	۱۵.۰	۵۷.۰	۱۴.۰	۲۵.۰	
F	۹۹.۰	۵۹.۰	۹۰.۰	۷۵.۰	۳۲.۰	۱۹.۰	۳۲.۰	۲۰.۰	-۰.۷۰	۳۳.۰	
O=cl	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	
O=F	۴۲.۰	۲۵.۰	۳۸.۰	۳۲.۰	۱۴.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	-۰.۰	۱۴.۰	
H <sub>2</sub> O	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	
Total	۷۴.۹۹	۸۸.۹۴	۲۵.۱۰	۹۲.۹۸	-۰.۷۹۹	۸۱.۹۹	۷۴.۹۹	۶۱.۱۰	۸۴.۹۹	۷۹.۹۹	
T Site											
Si	۷۵.۵	۶۸.۵	۷۲.۵	۶۸.۵	۷۱.۵	۶۹.۵	۷۱.۵	۶۷.۵	۵۵.۵	۶۵.۵	
Al <sup>IV</sup>	۲۵.۲	۳۲.۲	۲۸.۲	۳۲.۲	۲۹.۲	۳۱.۲	۲۹.۲	۳۲.۲	۴۵.۲	۳۵.۲	
M Site											
Al <sup>VI</sup>	۳۱.۰	۴۴.۰	۲۷.۰	۲۶.۰	۲۸.۰	۳۴.۰	۲۱.۰	-۰.۸۰	۱۲.۰	۱۰.۰	
Ti	۲۲.۰	۳۳.۰	۳۲.۰	۳۰.۰	۳۷.۰	۳۰.۰	۴۱.۰	-۴۸.۰	۴۷.۰	۵۳.۰	
Fe	۱۰.۲	۱۳.۲	۱۲.۲	۲۹.۲	۱۸.۲	۳۲.۲	۴۷.۲	۴۲.۲	۱۶.۲	۱۰.۲	
Mn	۱۹.۰	۱۴.۰	۱۷.۰	-۰.۵۰	-۰.۶۰	-۰.۴۰	-۰.۵۰	-۰.۴۰	-۰.۲۰	-۰.۱۰	
Mg	-۰.۱۳	۶۳.۲	۹۲.۲	۹۷.۲	۷۹.۲	۷۶.۲	۶۲.۲	۷۰.۲	-۰.۱۳	۹۴.۲	
I Site											
Ca	-۰.۱۰	-۰.۱۰	-۰.۰۰	-۰.۴۰	-۰.۰۰	-۰.۰۰	-۰.۱۰	-۰.۱۰	-۰.۱۰	-۰.۲۰	
Na	-۰.۷۰	-۰.۳۰	-۰.۲۰	-۰.۲۰	-۰.۳۰	-۰.۷۰	-۰.۳۰	-۰.۳۰	-۰.۳۰	-۰.۲۰	
K	۷۷.۱	۷۹.۱	۷۹.۱	۶۷.۱	۸۴.۱	۸۶.۱	۶۸.۱	۸۰.۱	۷۶.۱	۷۴.۱	
Ba	-۰.۰۰	-۰.۱۰	-۰.۰۰	-۰.۰۰	-۰.۰۰	-۰.۰۰	-۰.۱۰	-۰.۰۰	-۰.۳۰	-۰.۰۰	
A Site											
Cl	-۰.۰۰	-۰.۰۰	-۰.۱۰	-۰.۲۰	-۰.۱۰	-۰.۱۰	-۰.۲۰	-۰.۷۰	-۰.۲۰	-۰.۳۰	
F	۲۴.۰	۱۵.۰	۲۱.۰	۱۹.۰	-۰.۸۰	-۰.۵۰	-۰.۱۰	-۰.۵۰	-۰.۲۰	-۰.۸۰	
OH*	۷۶.۳	۸۵.۳	۷۹.۳	۷۹.۳	۹۱.۳	۹۰.۳	۹۰.۳	۸۸.۳	۹۷.۳	۸۹.۳	
Fe/Fe+Mg	۴۱.۰	۴۵.۰	۴۲.۰	۴۲.۰	۴۴.۰	۴۶.۰	۴۹.۰	۴۷.۰	۴۲.۰	۴۲.۰	
Log (XF/XOH)	-۲۱.۱	-۴۲.۱	-۲۸.۱	-۳۰.۱	-۴۹.۱	-۹۵.۱	-۷۱.۱	-۰.۲۲	-۰.۰۳	-۷۸.۱	
Log (XCl/XOH)	-۱۵.۳	-۰.۸۳	-۸۵.۲	-۲۲.۲	-۰۷.۲	-۶۴.۲	-۳۲.۲	-۷۲.۱	-۲۵.۲	-۱۰.۲	
Log (XF/XCl)	۹۴.۱	۶۴.۱	۵۷.۱	۹۷.۰	۵۸.۰	۶۹.۰	۶۱.۰	-۲۹.۰	-۴۵.۰	۳۲.۰	

\*OH=4-(F+Cl)

مربوط به فعالیت‌های آتشفشنایی پلیوکواترنر آتشفشنان بزمان است که در شمال منطقه رخنمون دارند. ترکیب سنگ‌شناسی گدازه‌های آتشفشنایی عمدتاً بازالت، آندزیت، داسیت و توف‌های آتشفشنایی مرتبط با فعالیت‌های آتشفشنایی کوه بزمان است [۱۵، ۱۶].

بخش‌های جنوبی گرانیتوئید مکسان را مورد بررسی زمین‌شناسی قرار دادند و با استفاده از شواهد زمین‌شناسی نشان دادند که این گرانیتوئید ویژگی‌های ماقماتیسم نوع آندی داشته و ترکیب شیمیایی آن از حاشیه به مرکز اسیدی‌تر می‌شود [۱۶]. سنجی به روش روپیدیوم-استرانسیوم که بر روی شماری از نمونه‌های گرانیتی توسط بربیان و همکاران [۱۶] انجام شده است، سنی معادل ۷۴ تا ۶۴ میلیون سال را نشان داده است که به اواخر کرتاسه پسین و اوایل پالئوسن مربوط می‌شود. برایان [۹] پیشنهاد می‌کند که مجموعه گرانیتوئید بزمان بر روی منطقه فروزانش عمان (پوسته اقیانوسی عربی) جای دارد و حاصل ذوب گوشه‌یا پوسته اقیانوسی (عمان) به زیر ورقه ایران مرکزی است که در کواترنری با فوران‌های آهکی قلیایی آتشفشناهای بزمان، تفتان و کوه سلطان (پاکستان) همراه شده است.

#### سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی گرانیتوئید مکسان

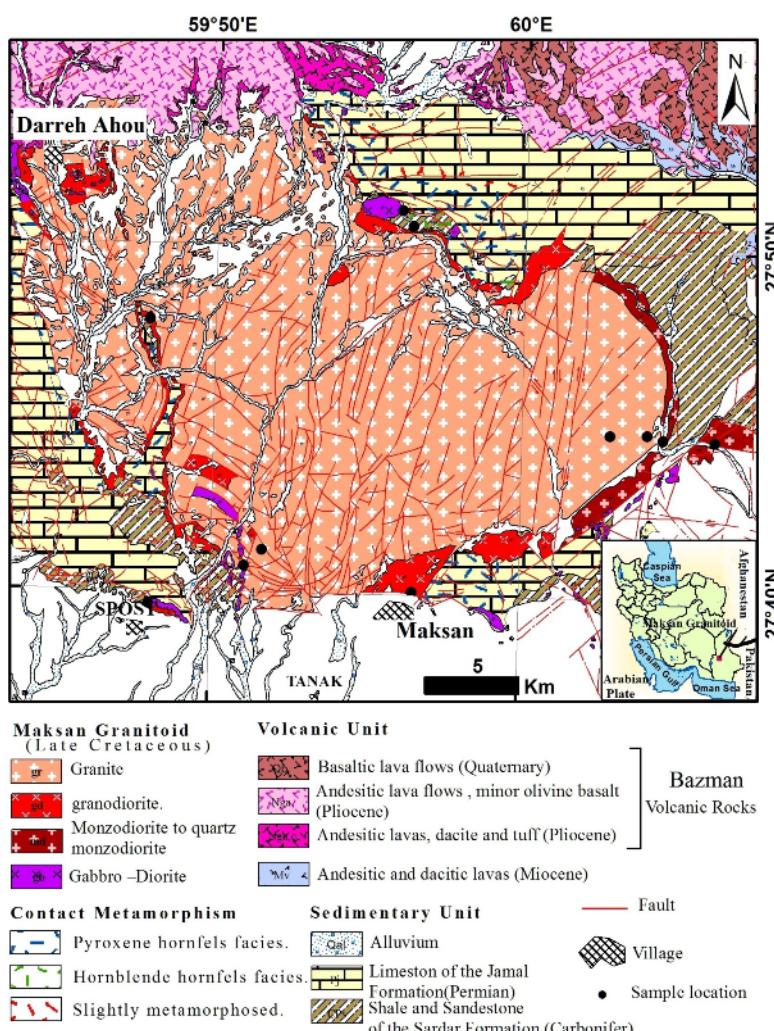
برای نامگذاری سنگ‌های نفوذی از رده بندی مدي [۱۷] استفاده شده است. شمارش ۳۰۰۰ نقطه با کمک دستگاه شمارنده کانی‌ها برای هر نمونه صورت گرفت. مطابق با این رده شمارنده کانی‌ها برای هر نمونه گرانیت، گرانوپیدوریت، کوارتزمونزدیوریت، مونزدیوریت، دیوریت و گابرو نامگذاری شده اند (شکل ۲). کانی‌های تشکیل دهنده این گرانیتوئید شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپارهای قلیایی بیشتر از نوع ارتوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، کلینوپپروکسن، اسفن، آپاتیت، زیرکن، مگنتیت و ایلمنیت است. هورنبلند و بیوتیت کانی فرومیزین غالباً در گرانیتوئید مکسان است (شکل ۲). میزان کانی‌های فرومیزین (هورنبلند و بیوتیت) از حاشیه (گابرو) به سمت مرکز (گرانیت) کاهش می‌یابد.

کانی بیوتیت عموماً به رنگ قهوه‌ای در مقاطع دیده می‌شود. این کانی در مقاطع مورد بررسی نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل بوده و به صورت ورقه‌ای و مستطیلی دیده می‌شود. چند رنگی مشخص بیوتیتها به صورت قهوه‌ای کمرنگ تا قهوه‌ای تیره قابل مشاهده است.

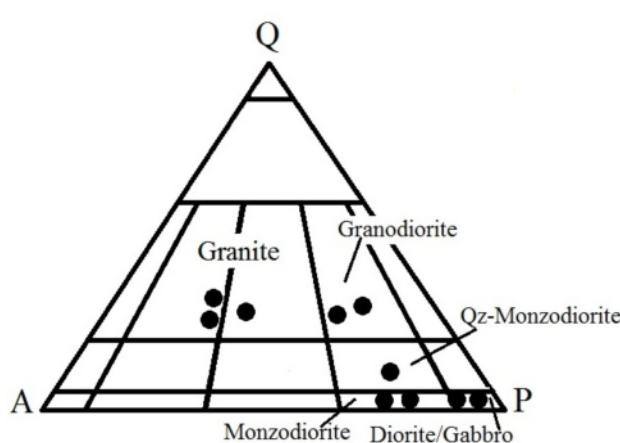
مقادیر کاتیونی بر اساس ۲۲ اکسیژن محاسبه و بنابر فرمول کلی میکا [۱۲] ( $\text{IM}_{2-3}\text{O}_{10}\text{A}_2$ )، فرمول ساختاری آن-ها تعیین شد. فلوئور و کلر موجب اکسیژن اضافی و در نتیجه افزایش جمع کل ترکیبات می‌شود و در این بررسی مقدار اضافی مذکور از طریق تقسیم وزن اتمی اکسیژن بر وزن اتمی فلوئور یا کلر محاسبه و سپس از جمع کل ترکیبات کاسته شد تا جمع واقعی به دست آید. مقدار آب با فرض ۴ اتم در جای هیدروکسیل با فرض عنصر سنجی کامل بر مبنای ۲۲ اکسیژن محاسبه شد. جهت محاسبه OH در فرمول بیوتیت، مجموع فلوئور و کلر از چهار کسر گردید. مقادیر  $\text{Fe}^{2+}$  و  $\text{Fe}^{3+}$  به روش [۱۳] محاسبه گردید.

#### زمین‌شناسی گرانیتوئید مکسان

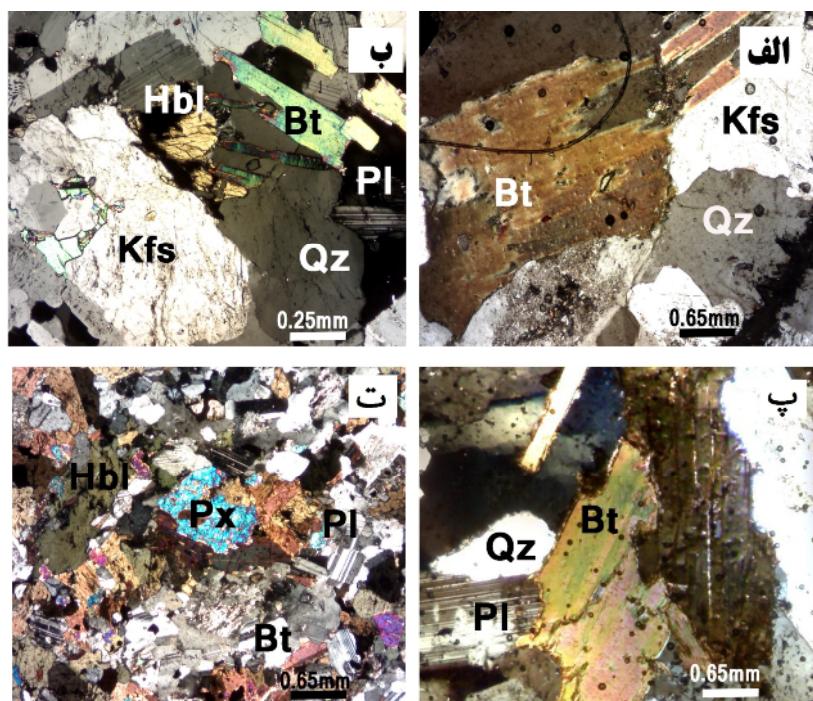
گستره مورد بررسی در ۱۰۰ کیلومتری شمال غرب ایرانشهر، حاشیه جنوبی بلوك لوت و در جنوب شرق ایران واقع شده است. گرانیتوئید مکسان با وسعت تقریبی ۶۰ کیلومتر مربع بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰/۰۰۰ هامون جازموریان و ۱:۱۰۰/۰۰۰ مکسان است که در حد فاصل بین طول‌های جغرافیایی  $59^{\circ} ۴۴' \text{ تا } ۵۹^{\circ} ۵۹'$  و  $۳۶^{\circ} ۲۷' \text{ تا } ۳۶^{\circ} ۵۴'$  شمالي قرار دارد (شکل ۱). این گرانیتوئید بخش مهمی از مجموعه گرانیتوئید بزمان است که در غرب بزمان (شمال روستای مکسان) قرار گرفته است و به درون سنگ‌های قدیمی‌تر از قبیل شیل، ماسه‌سنگ و سنگ آهک (سازند سردر) به سن کربنیfer و آهک و دولومیت‌های (سازند جمال) به سن پرمین نفوذ گرده است [۱۴]. سنگ‌های بازیک و حد واسط به صورت نوار باریکی در حاشیه‌ی گرانیتوئید و در اطراف بخش‌های اسیدی رخنمون دارند. شار حرارتی برخاسته از نفوذ گرانیتوئید مکسان به درون سازند سردر منجر به پیدایش رخساره‌های دگرگونی مجاورتی از قبیل آندالوزیت، کردیریت هورنفلس گردیده است. چگونگی همبrij زیرین این واحد بدلیل نبود برونزدهایی از واحدهای سنگی قدیمیتر مشخص نیست، ولی همبrij زیرین آن با واحد سنگی جمال ناپیوسته و پیشرونده است بدین صورت که واحد سنگی سازند جمال به‌وسیله ماسه سنگ کوارتز آرنایت پایه بروی سازند سردر قرار می‌گیرد [۱۴]. سازند جمال در منطقه مورد بررسی عمدتاً شامل ماسه سنگ، کوارتز آرنایت، دولومیت و آهک است که در اثر شارحرارتی گرانیتوئید مکسان تبدیل به مرمر شده است [۱۴]. جوانترین فعالیت ماقمایی در گستره‌ی مورد بررسی



شکل ۱ نقشه‌ی ساده زمین‌شناسی گرانیت‌وئید مکسان ، اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ بزمان و مکسان [۱۴، ۱۵] با تغییرات توسط نگارندگان.



شکل ۲ موقعیت نمونه‌ها در مثلث نام‌گذاری مدی سنگ‌های نفوذی [۱۷].



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی انتخابی از رخمنون‌های مختلف سنگی (XPL): (الف) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های گرانیتی همراه با بلورهای بیوتیت، فلدسپار و کوارتز (ب) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های گرانودیبوریت همراه با بلورهای هورنبلند، بیوتیت، کوارتز، پلاژیوکلاز و ارتوز (پ) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های کوارتز مونزودیبوریتی همراه با بلورهای کوارتز، بیوتیت و پلاژیوکلاز (ت) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های گابرویی همراه با بلورهای پیروکسن، پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت.

هورنبلند ۵ تا ۹ درصد، اسفن، زیرکن، آپاتیت و کانی‌های تیره (کمتر از یک درصد) مشخص می‌شوند (شکل ۳). هورنبلند و بیوتیت کانی فرومینیزین غالب در گرانودیبوریت مکسان هستند. بررسی‌های کانی‌شناسی و شواهد بافتی حاکی از حضور بیوتیت‌های اولیه (آذرین) به صورت صفحه‌های نامنظم و با چند رنگی قهقهه‌ای کمرنگ تا تیره در این گروه از سنگ‌ها است. کانی‌های تیره بیشتر شامل مگنتیت و ایلمنیت است.

#### دیبوریت - مونزودیبوریت

این گروه از سنگ‌ها بیشتر به صورت نوار باریکی در حاشیه شرقی گرانیت‌وئید مکسان رخمنون دارند. غالباً بافت دانه‌ای دارند. پلاژیوکلاز ۵۰ تا ۶۶ درصد، ارتوکلاز بین ۱۵ تا ۱۷ درصد، بیوتیت ۱ تا ۱۲ درصد، هورنبلند ۲ تا ۱۸ درصد، کوارتز کمتر از ۵ درصد، اسفن، زیرکن، آپاتیت (کمتر از یک درصد) و کانی‌های تیره (کمتر از دو درصد) مشخص می‌شوند (شکل ۳). کانی‌های تیره غالب مگنتیت و ایلمنیت است. بیوتیت‌های اولیه به صورت صفحات بزرگ نامنظم مشاهده می‌شوند.

**گرانیت**  
گرانیت‌ها گسترده‌ترین واحد سنگی گرانیت‌وئید مکسان به شمار می‌آیند. بافت اصلی در سنگ‌های گرانیتی پورفیروئید است اما بافت‌های دانه‌ای و گرانوفیری نیز در نمونه‌ها دیده می‌شود. گرانیت‌های دارای بافت پورفیروئیدی، حاوی درشت بلورهای ارتوز کلاز به رنگ صورتی بوده که اندازه آن‌ها به ۲ تا ۳ سانتی متر می‌رسد. کوارتز در حدود ۲۷ تا ۲۹ درصد، ارتوکلاز بین ۳۹ تا ۴۵ درصد، پلاژیوکلاز ۲۲ تا ۲۹ درصد و کانی‌های فرعی بیوتیت و هورنبلند (کمتر از ۳ درصد)، اسفن، زیرکن، آپاتیت و کانی‌های تیره (کمتر از یک درصد) مشخص می‌شوند. کانی بیوتیت به صورت بلورهای صفحه‌ای شکل در مقاطع دیده می‌شود و چند رنگی مشخص بیوتیت‌ها به صورت قهقهه‌ای کمرنگ تا قهقهه‌ای تیره قابل مشاهده است (شکل ۳).

#### گرانودیبوریت

گرانودیبوریت‌ها به صورت توده‌های کوچکی در حاشیه جنوبی و غربی گرانیت‌وئید مکسان مشاهده می‌شوند. اغلب بافت دانه‌ای دارند. پلاژیوکلاز ۴۱ تا ۴۶ درصد، کوارتز در حدود ۲۰ تا ۲۳ درصد، ارتوکلاز بین ۱۴ تا ۲۶ درصد، بیوتیت ۲ تا ۹ درصد،

[۲] بنابر نمودار مثلثی  $Mg-(Al^{IV} + Ti) - (Fe^{2+} + Mn)$  (شکل ۵ الف)، بیوپتیت‌های گرانیتوئید مکسان در گستره‌ی بیوپتیت‌های منیزیم دار قرار گرفته که در واقع به دلیل تبلور اولیه‌ی اکسیدهای آهن در قالب مگنتیت و تیتانیم بهصورت تیتانیت است. همچنین در نمودار Si نسبت به Fe/(Mg + Fe) شکل (۵ ب)، بیوپتیت‌ها در گستره بیوپتیت‌های منیزیم دار قرار می‌گیرد. حضور این مجموعه کانی یعنی بیوپتیت منیزیم‌دار، مگنتیت و تیتانیت دلالت بر گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن در مagmaست [۱۹].

مقدار  $Al^{VI}$  در بیوپتیت‌ها به عنوان یکی از معیارهای مهم برای بررسی ویژگی‌های آن‌هاست. همچنین  $Al^{VI} < 1$  پایین تا صفر ( $Al^{VI} > 1$ ) از ویژگی‌های بیوپتیت‌های magmaی است [۲۰] که در مورد بیوپتیت‌های مورد بررسی (۰٪ به طور میانگین) صدق می‌کند. به عقیده‌ی [۱۸] روند غنی شدگی از آهن و منیزیم در بیوپتیت بستگی به 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 گرانیتوئید مکسان مطابق شکل ۵ در شرایط اکسیدان تشکیل شده‌اند.

از لحاظ محتوای هالوژن‌ها، بیوپتیت گرانیت‌های مکسان از مقدار فلوئور بیشتری (کلر کمتر) نسبت به سنگ‌های بازیک و حدواسط برخوردارند. به طوری که مقدار میانگین فلوئور در سنگ‌های گرانیتی تا گابرویی از حدود ۰٪ تا ۲۸٪ درصد وزنی و مقدار میانگین کلر از حدود ۰٪ تا ۲۳٪ درصد وزنی متغیر است. هرچند توزیع فلوئور و کلر با تفیریک مagma روند افزایشی را در مذاب سیلیکاته نشان می‌دهد اما در مراحل آخر که یک فاز آبی در حال تشکیل است توزیع آن‌ها بین فاز آبی و مذاب سیلیکاته متفاوت است به طوری که فلوئور در مذاب سیلیکاته و کلر در فاز آبی غنی می‌شوند [۲۱]. معمولاً محلول‌های magmaی در دمای بالا از کلر غنی هستند و در دمای پایین‌تر از نقطه بحرانی از کلر فقریرتر می‌شوند [۲۲]. همچنین بنا بر اصل طرد آهن-فلوئور [۲۳، ۲۴]، افزایش آهن در محلول‌های magmaی با کاهش میزان فلوئور همراه است. بررسی‌های کانی‌شناسی نیز حاکی از افزایش مقدار اکسیدهای آهن (مگنتیت) از گرانیت تا گابرو است. لازم به یاد آوری است که میزان جانشینی F و Cl در منظر هیدروکسیل میکاها به فعالیت F و Cl، ترکیب شیمیایی میکا و دما magma نیز بستگی دارد.

## گابرو

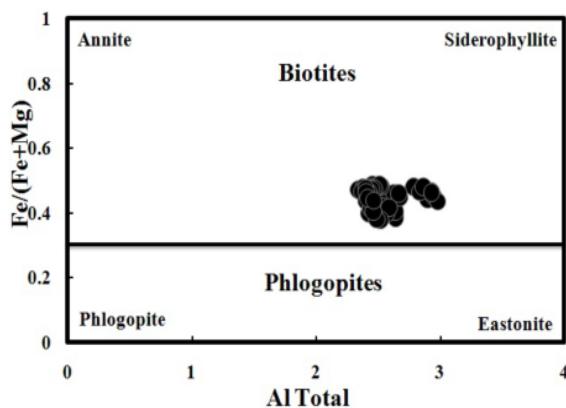
سنگ‌های گابرویی به صورت برونzedهای کوچکی در حاشیه جنوبی گرانیتوئید مکسان مشاهده می‌شوند. بافت‌های دانه‌ای و پوئی کلیتیک دارند. کانی‌های پلازیوکلاز ۶۵ تا ۴۷ درصد، هورنبلند ۰ تا ۳۰ درصد، کلینوپیروکسن ۶ تا ۱۸ درصد، بیوپتیت ۴ تا ۶ درصد، تشکیل دهنده اصلی این گروه هستند (شکل ۳). میزان کانی‌های تیره (Fe-Ti) در سنگ‌های گابرویی حداقل به ۵ درصد می‌رسد و کانی تیره غالب مگنتیت است. بلورهای پلازیوکلاز در برخی از مقاطع تحت تاثیر نیروهای زمین ساختی کج شده‌اند. کانی کلینوپیروکسن به طور معمول از ناحیه رخها و شکستگی‌ها به اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند. کانی بیوپتیت از بلورهای صفحه‌ای بی‌شک تا کشیده دیده و در برخی از مقاطع به اکسیدهای آهن و کلریت تجزیه شده است.

## بحث و بررسی

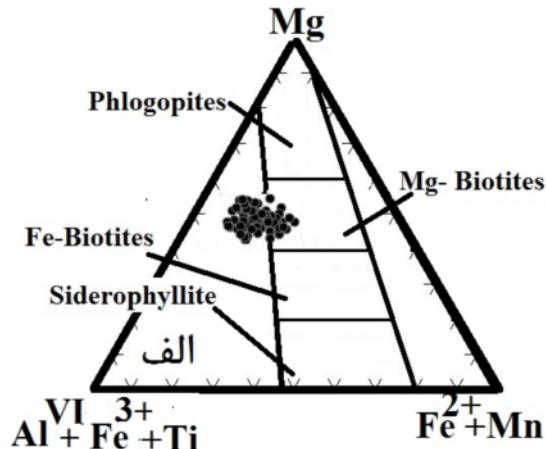
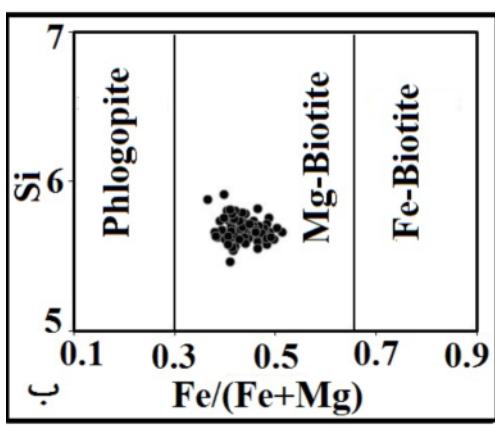
### ترکیب شیمیی کانی بیوپتیت

ترکیب میکاهای مورد بررسی چنانکه از شکل ۴ پیداست در قلمرو بیوپتیت (آنیت-سیدروفیلیت) قرار گرفته و هیچ یک در قلمرو فلوگوبیت قرار نگرفته است. چنانکه مشاهده می‌شود همه نمونه‌های بیوپتیت موجود در گرانیتوئید مکسان دارای بازه مقادیر Al کل متوسط (۲۹۸-۲۳۴٪) و آهن کم (۴۹٪-۰٪) هستند. میانگین مقادیر Al کل از گرانیت تا گابرو روند کاهشی را نشان می‌دهد. به طوری که مقدار میانگین Al کل سنگ‌های گرانیتی ۲۶۴٪، گرانودیوریت ۲۵۸٪، مونزودیوریت ۲۵۸٪، گابرو ۲۴۷٪ و دیوریت ۲۴۱٪ تغییر پیدا می‌کند. افزایش میزان Al کل نسبت به تغییرات کم آهن در بیوپتیت‌های گرانیتوئید مکسان می‌تواند بیانگر آلودگی پوسته ای باشد [۶].

کانی بیوپتیت در سیستم‌های magmaی، دگرگونی و دگرنهادی، به تغییرات دما، فشار و فعالیت سازنده‌هایی چون  $O_2$ ,  $SiO_2$ ,  $F$ ,  $H_2O$ , کاملاً حساس است [۱۸]. فاکتورهای فیزیکوشیمیایی یاد شده همراه با امکان جانشینی در چهار جایگاه ساختاری شامل جایگاه چهار وجهی (T) هشت وجهی (M)، میان لایه‌ای (X) و هیدروکسیل (OH, F, Cl) تغییر پذیری ترکیبی بیوپتیت‌ها را ممکن ساخته است. بیوپتیت‌های سنگ‌های آذرین غنی از سیلیس معمولاً یک روند غنی شدگی از آهن را نسبت به انواع فقیر از سیلیس نشان می‌دهند [۱۸].



شکل ۴ رده بندی شیمیایی میکاهای گرانیتیوئید مکسان در چهار ضلعی (ASPE).



شکل ۵ رده بندی شیمیایی میکاهای گرانیتیوئید مکسان.

از ۰،۵۲ تا ۰،۶۴ متغیر بوده و بیوتیت‌های سنگ‌های حدواسط (دیوریتی) و بازیک (گابرویی) به طور چشمگیری با فازهای اکسیدی همزیست‌اند که احتمالاً این ویژگی توانسته تا حدودی مقدار Ti آن‌ها را افزایش دهد. معمولاً مقدار Ti در بیوتیت‌های همزیست با فازهای اکسیدی اشبع از Ti افزایش نشان می‌دهد [۲۵]. بررسی‌های کانی‌شناسی حضور کانی‌های تیتان دار (اسفن و ایلمنیت) را تایید می‌کند و میزان کانی‌های مگنتیت و ایلمنیت از گرانیت تا گابرو روند افزایشی از خود نشان می‌دهد.

تعیین سری ماقمایی و محیط زمین‌ساختی با توجه به اینکه بیوتیت‌ها ماهیت و شرایط فیزیکوشیمیایی ماقما را نشان می‌دهند و ترکیب بیوتیت در مجموع تابع ترکیب و شرایط تبلور ماقمایی است که از آن متبلور شده است بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک معیار مناسب برای شناسایی محیط زمین‌ساختی گرانیت‌ها استفاده کرد. عبدالرحمان [۱] با

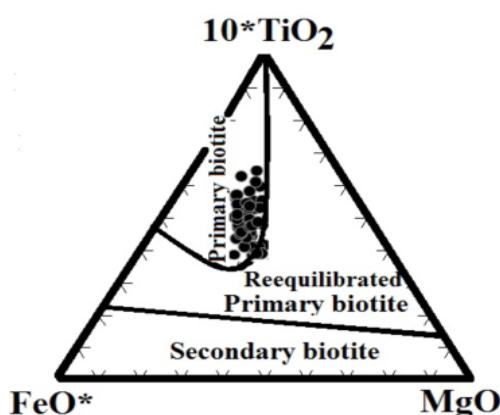
شناسایی بیوتیت‌های اولیه از بیوتیت‌های ثانوی به منظور شناسایی بیوتیت‌های اولیه از ثانویه از نمودار سه‌تایی  $MgO + MnO + TiO_2$  [۲۰]. استفاده شده است این نمودار می‌تواند بیوتیت‌های اولیه یا ماقمایی را از بیوتیت‌های اولیه‌ای که دستخوش تعادل مجدد شده‌اند و نیز بیوتیت‌های ثانویه جدا کند. براساس این نمودار همه‌ی بیوتیت‌های بروزی در گرانیتیوئید مکسان، نسبتاً غنی از  $TiO_2$  و  $FeO$  و در قلمرو بیوتیت‌های اولیه یا ماقمایی قرار می‌گیرند (شکل ۶). بیوتیت‌های سنگ‌های گابرویی و دیوریتی، مقادیر  $TiO_2$  و  $FeO$  بالاتری نسبت به گرانیت‌ها دارند (جدول ۱). مقدار  $FeO$  میانگین  $TiO_2$  از حدود ۰/۵ (گرانیت) تا ۰/۶ (درصد وزنی (گابرو) متغیر است. بنابر نظر [۲۰]، مقدار Ti بیوتیت وابسته به دما بوده و با  $X_{FeO^*} = [(FeO^* + MnO)/(FeO^* + MnO + MgO)]$  سنگ می‌زنان تغییر می‌کند. مقدار  $X_{FeO^*}$  در بیوتیت‌های مورد بررسی

گرانیتوئید مکسان دارای  $\text{FeO}$  (به طور متوسط ۱۷,۳۹wt%) و در گستره‌ی آهکی - قلیایی قرار می‌گیرند. در نمودار  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$  نسبت به  $\text{P}, \text{C}$  دو گروه  $\text{P}, \text{C}$  عموماً روند افزایش  $\text{MgO}$  با کاهش  $\text{Al}_2\text{O}_3$  نشان می‌دهد که این ناهمخوانی به جایگزینی منیزیم و آلومینیوم در جایگاه هشت وجهی بین بیوتیت‌ها مربوط می‌شود [۱]. بر اساس این نمودار هم بیوتیت‌های مورد بررسی در گستره‌ی آهکی - قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۷ پ).

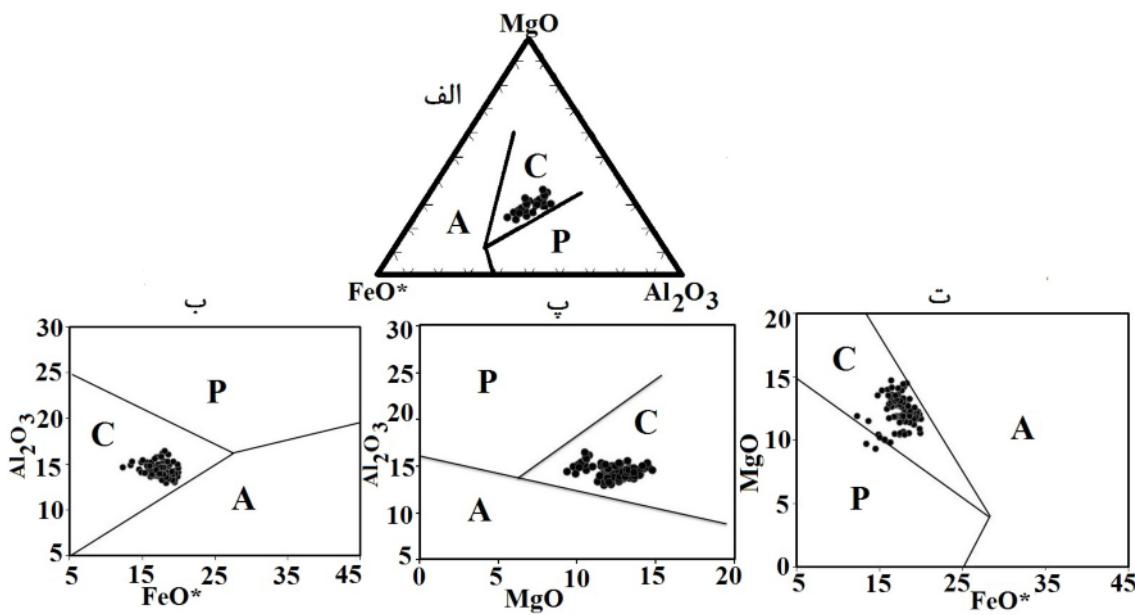
براساس نتایج نمودار  $\text{FeO}^*$ - $\text{MgO}$  نسبت به  $\text{C}$  [۱] نیز، سنگ‌های گروه  $\text{C}$  غنی از منیزیم بوده و به طور مشابه مقدار  $\text{FeO}^*$  در هر دو گروه  $\text{C}, \text{P}$  تقریباً ثابت است و میزان  $\text{MgO}$  باعث جدایی این دو گروه می‌شود. بین دو گروه  $\text{A}$  و  $\text{C}$  یک  $\text{FeO}$  -  $\text{MgO}$  کنترل شده در ترکیبات بیوتیت وجود دارد [۱]. براساس این نمودار نمونه‌های بیوتیت گرانیتوئید مکسان نسبت به منیزیم غنی‌شدگی نشان می‌دهند و در گستره‌ی آهکی - قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۷ ت).

به طور کلی بیوتیت‌های آهکی - قلیایی با افزایش  $\text{MgO}$ ، کاهش نسبی در مقدار  $\text{Al}_2\text{O}_3$  نشان می‌دهند که می‌تواند در اثر فرآیندهای تبلور بیوتیت‌های غنی از  $\text{Al}$  در گذارهای آلومینیوم دار باشد و نیز ناهمخوانی  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{FeO}$  را می‌توان ناشی از رفتار مشابه بین آهن و منیزیم دانست. در نمودارهای موردن بررسی با افزایش  $\text{Al}_2\text{O}_3$  میزان  $\text{MgO}$  و  $\text{FeO}^*$  کاهش می‌یابد.

استفاده از آنالیزهای سه اکسید  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{FeO}^*$  در کانی بیوتیت یک نمودار مثلثی ارائه داد (شکل ۷ 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 برخورداری نوع نو  $\text{S}$  می‌شوند (P) و گرانیت‌های کوهزایی آهکی - قلیایی از نوع I که به طور متوسط غنی از منیزیم بوده و معمولاً همراه با آمفیبیول کلسیم دار و یا پیروکسن کلسیم دار و وابسته به فرورانش هستند (C). در شکل ۷ موقعیت نمونه‌های بیوتیت گرانیتوئید مکسان از نوع گرانیت‌های نوع I هستند و در پهنه‌ی C قرار می‌گیرند که به قلمرو بیوتیت در گرانیت‌های آهکی - قلیایی فرورانشی وابسته‌اند. این یافته خاستگاه ماقمایی وابسته به فرورانش گرانیت‌وئید مکسان را تأیید می‌کند. نمودار  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$  نسبت به  $\text{FeO}^*$  که در شکل ۷ ب نشان داده شده نتایج بهتری را برای بیوتیت‌های گروه‌های متنوع سنگ‌های آذرین ماقمایی ارائه دهد [۱]. دو گروه  $\text{C}$  و  $\text{P}$  از لحاظ داشتن  $\text{FeO}$  تقریباً مشابه‌اند و در مقدار ثابت  $\text{FeO}^*$ ، افزایش  $\text{Al}_2\text{O}_3$  باعث جدایش بین این دو گروه می‌شود. در گروه A، روند افزایش  $\text{FeO}^*$  با کاهش  $\text{Al}_2\text{O}_3$  همراه بوده که این ناهمخوانی با جایگزینی  $\text{Al}$  و  $\text{Fe}^{2+}$  در جایگاه هشت وجهی صورت می‌گیرد. بر همین اساس نمونه‌های



شکل ۶ نمودار سه تایی  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}^*$ ,  $10\text{TiO}_2$  که بیوتیت‌های اولیه و بیوتیت‌های که دستخوش تعادل مجدد در محیط شده‌اند را از بیوتیت‌های ثانوی تمایز می‌سازد.



شکل ۷ تعیین سری ماگمایی توده‌های مورد بررسی براساس ترکیب شیمیایی بیوتیت در نمودارهای جداسندهٔ محیط زمین‌ساختی گرانیت‌ها [۱]. A: سنگ‌های قلیایی و غیرکوهزایی، P: سنگ‌های برآلومین، C: سنگ‌های آهکی – قلیایی.

بررسی‌های سنگ‌شناسی، و داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی و ایزوتوپی بروی سنگ‌های مجموعه گرانیت‌وئید بزمان نشان داد که این مجموعه یک کمپلکس نفوذی آهکی-قلیایی از نوع I است و دارای ویژگی‌های ماگماتیسم حاشیه فعال قاره ای است، به عبارت دیگر پلوتونیسم آن را به فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی عمان (پوسته عربی) به زیر پوسته‌ی قاره‌ای ایران مرکزی در نظر می‌گیرند [۱۶]. بربریان [۹] با تکیه بر داده‌های ایزوتوپی، عقیده دارد که این گرانیت‌وئید دستخوش آلودگی‌های پوسته‌ای کمی شده است. بنابراین با توجه به این نکته و نیز بازه متوسط تغییرات مقدار آلومینیم بیوتیت‌های گرانیت‌وئید مکسان در نمودار (شکل ۹)، می‌توان نتیجه گرفت گرانیت‌وئیدی مکسان دارای آلودگی پوسته‌ای کم تا متوسط است.

در روش دیگر از عناصر فرار برای تعیین میزان آلودگی پوسته ای در گرانیت‌ها استفاده می‌شود. در ساختار بیوتیت،  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$  و  $\text{OH}$  آنیون‌های قابل جایگزینی در مراحل اولیه، در موقعیت  $\text{OH}$  و در جایگاه‌های هشت وجهی قرار می‌گیرند بر این اساس آگو و بریمهال [۲۸] یک طرح رده‌بندی برای واحدهای مختلف گرانیتی با تولیت کالیفرنیا ارائه کرده و با استفاده از عناصر ردیاب و شیمی آمفیبیول، آن را کامل کرده‌اند. بنابر این رده بندی سنگ‌های حاوی بیوتیت با توجه به  $\text{LogX}_{\text{F}}/\text{X}_{\text{Cl}}$  و افزایش نسبت  $\text{F}/\text{OH}$ ، به گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک-

در نمودار  $\text{Al total}-\text{Mg}$  [۲۶] نیز سنگ‌های گسترده مورد بررسی در گستردهٔ منیزیم بالا و آهکی – قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۸) که با نتایج روش [۱] کاملاً همخوانی دارد.

از طرف دیگر ترکیب شیمی بیوتیت قادر به جدایی سنگ گرانیتی می‌باشد خود بر پایه‌ی رده بندی الفبایی گرانیت‌های است، به گونه‌ای که [۲۷] بر حسب تغییرات نسبت  $\text{Fe}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  نسبت به  $\text{Al}^{\text{IV}}$  در بیوتیت نموداری را ارائه کردند که جدا کننده انواع گرانیت‌ها بر پایه خاستگاه آن هاست. در این نمودار تمام نمونه‌های بیوتیت مورد بررسی در گستردهٔ گرانیت‌های کوهزایی نوع I قرار می‌گیرند که با نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمی سنگ کل [۹] کاملاً همخوانی دارد (شکل ۹).

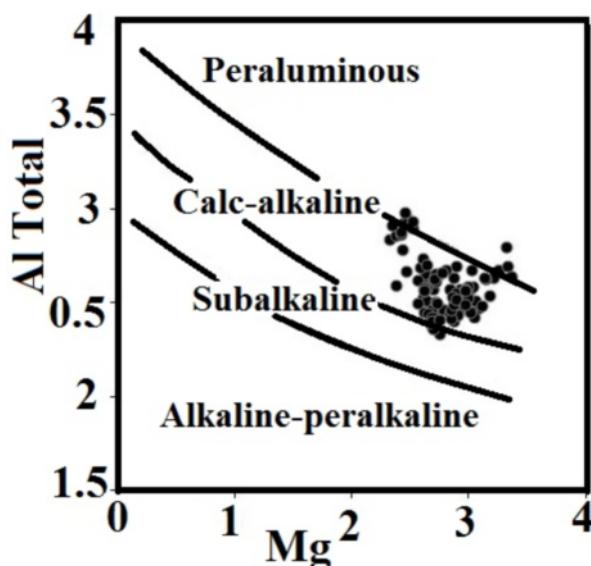
تعیین میزان آلودگی پوسته‌ای گرانیت‌ها به کمک شیمی کانی بیوتیت

یکی از راه‌های تشخیص آلودگی، استفاده از چهار ضلعی ASPE است که در آن دو متغیر  $\text{Al total}$  و  $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg}$  به ترتیب شاخص گرینزندگی اکسیژن و پرآلومینه بودن ماغما در زمان تبلور بیوتیت است [۶]. چنانکه پیشتر نشان دادیم ترکیب میکاهای مورد بررسی دارای مقادیر  $\text{Al}$  کل متوسط و آهن کم (متوسط) است. چنین الگویی مختص بیوتیت در گرانیت‌وئیدهایی است که دستخوش آلودگی کمی از پوسته شده اند [۶].

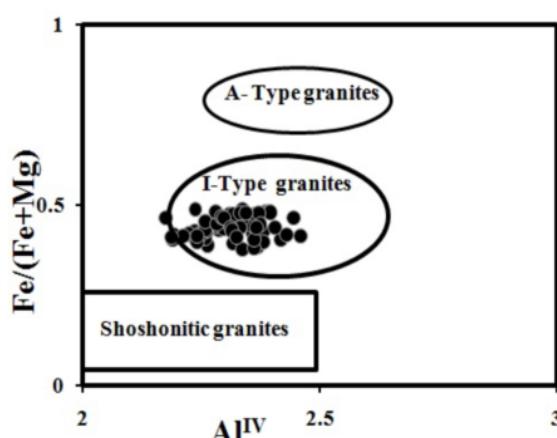
بیشتری داشته و گرایش به داشتن منگنز کمتر و مقدار فلورور بالاتری در ساختار بیوپتیت‌های خود دارند. بر عکس کلر در آن‌ها واکنش نشان می‌دهد که همه این موارد بر آلودگی کم تا متوسط مagma‌های سازنده آن‌ها با پوسته قاره‌ای دلالت دارد. این یافته‌ها در مقایسه با نتایج حاصل از داده‌های ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  برای [۱۶، ۹] که بر اساس آن‌ها مقدار نسبت اولیه‌ی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  تعدادی از سنگ‌های مجموعه گرانیتوئید بزمان پایین و چیزی در حدود ۷۰٪ است و آلودگی اندک با پوسته قاره‌ای را نشان می‌دهد، همخوانی دارند.

(I-type granites Weakly Contaminated) WC گرانیت‌های نوع I دارای آلودگی متوسط (I-MC) I-type ) گرانیت‌های متوسط (granites Moderately Contaminated به شدت آلوده (I-type granites Strongly ) I-SC (Contaminated گرانیت‌های نوع I احیایی به شدت آلوده I-type granites Strongly Contaminated and ) I-SCR Reduce تقسیم شده‌اند.

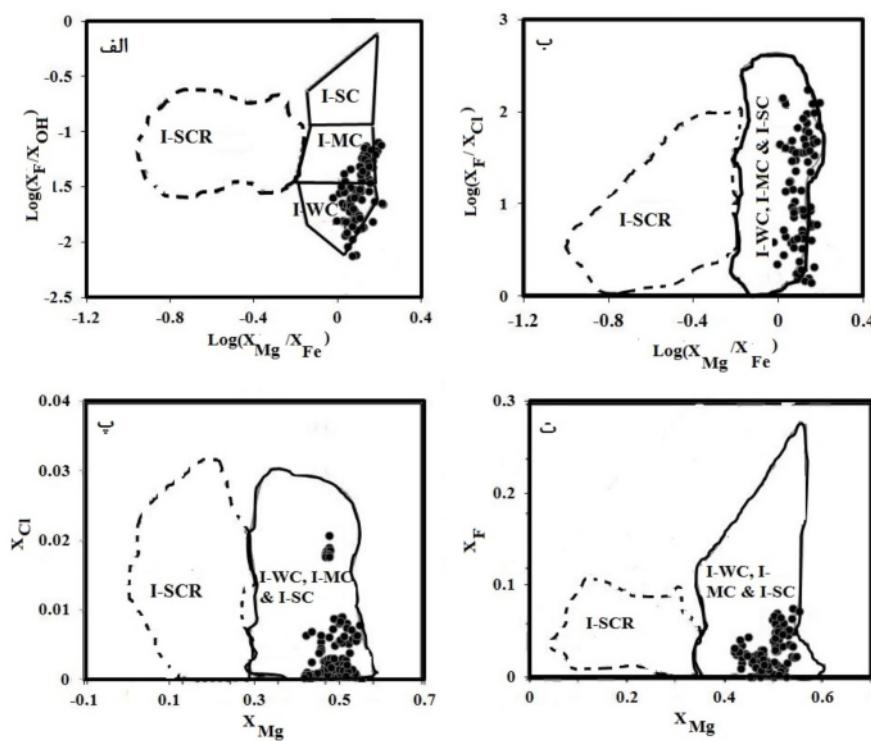
بنابر شکل ۱۰، نمونه‌های گرانیتوئید مکسان در گستره‌ی گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک I-WC و آلودگی متوسط I-MC قرار می‌گیرند. این سنگ‌ها آلومینیم کمتر و منیزیم



شکل ۸ تعیین سری magma‌ای گرانیتوئیدهای مورد بررسی براساس ترکیب شیمیابی بیوپتیت [۲۶].



شکل ۹ نمودار تغییرات نسبت  $\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Fe}(\text{Mg}+\text{Fe})$  مقابل  $\text{Al}^{\text{IV}}$  موقعیت ترکیب بیوپتیت‌های گرانیتوئید مکسان را نشان می‌دهد. گستره‌های گرانیت‌های نوع A و شوشونیتی توسط [۲۷] ارائه شده است.



شکل ۱۰ ترکیب شیمی بیوتیت‌های گرانیتوئید مکسان روی نمودارهای [۲۸] (گرانیت‌های نوع I با آلوگی اندک)، I-MC (گرانیت‌های نوع I دارای آلوگی متوسط)، I-SCR (گرانیت‌های نوع I به شدت آلوگه)، I-WC (گرانیت‌های نوع I احیایی به شدت آلوگه).

[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] 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.

[5] 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 .

[6] Shabani A.A.T., Masudi 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.

#### برداشت

براساس رده‌بندی شیمیایی میکاهای، ترکیب میکاهای مورد بررسی در حدفاصل بین دو قطب آنیت و سیدروفیلیت قراردارند و با توجه به مقدار  $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$  جزء بیوتیت‌ها محسوب شده و از فلوجوپیت جدا می‌شوند. ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها از نوع بیوتیت‌های منیزیم‌دار بوده و با توجه به مقدار اکسیدهای  $\text{Al}^{IV}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$  و نیز مقدار  $\text{FeO}$ ،  $\text{MnO}$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{TiO}_2$  این بیوتیت‌ها در محیطی با گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن تشکیل شده و صفات آهکی قلیایی و نوع I نشان می‌دهند که با ویژگی تکتونوماگمایی محیط‌های وابسته به فرورانش همخوانی دارد. همچنین شیمی کانی بیوتیت نشان می‌دهد که آلوگی ماگمای سازنده این گرانیتوئید با پوسته قاره‌ای، کم تا متوسط است.

#### مراجع

- [1] Abdel-Rahman A.M., "Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous Magmas", Journal of Petrology 35 (2) (1994) 525–541.

- [17] Streckeisen A., *To each plutonic rock its proper name*, Earth-Science Reviews 12 (1976), 1-33.
- [18] Wones D.R Eugster H.P., "Stability of biotite: experiment, theory, and application", American Mineralogist 50(1965) 1228-1272.
- [19] Ishihara S., "The magnetite series and ilmenite-series granitic rocks", Mining Geology 27(1977)293-305.
- [20] Nachit H., Lbhi A., Abia E.H., Ohoud M.B., "Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and magmatic biotites and neoformed biotites", Geomaterials (Mineralogy), Geoscience 337 (2005) 1415-1420.
- [21] Zhu C., Sverjensky D.A., "Partitioning of F-Cl-OH between biotite and apatite", Geochim Cosmo Chim Acta, 56 (1992) 3435-3467.
- [22] Webster J.D., "Partitioning of Cl between magmatic hydrothermal fluids and highly evolved granitic magmas", Geological Society of America, Special Publication (1990) 246p.
- [23] Monuz J.L., Ludington S.D., "Fluoride hydroxyl exchange in biotite", American Journal of Science 274 (1974) 396-413.
- [24] Monuz J.L., "F-OH and Cl-OH exchange in mica with application to hydrothermal ore deposits", Reviews in Mineralogy 13 (1984) 469-493.
- [25] Dymek R.F., "Titanium and interlayer cation substitutions in biotite from high gread Gneisses, west Greenland", American mineralogist 68 (9-10) (1983) 880-889.
- [26] Nachit H., Rezfimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P., "Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes", Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Academie des Sciences 301(11) (1985)813-818.
- [27] 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:implications for granitoid genesis", Lithos 693(2002) 165-187.
- [28] 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.
- [7] Boomeri M., Mizuta T., Ishiyama D., Nakashima K., *Fluorine and Chlorine in biotite from the Sarnowsar granitic rocks, northeastern Iran*" Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A30 A1 (2006)111-125.
- [۸] اشرفی ن، جهانگیری ا، عامری ع هسب ع، ابی ن، "شیمی کانی بیوتیت در توده های آذرین قلیابی بزقوش و کلیبر، شمال غرب ایران"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳، ۱۳۸۸ (۳۹۴-۳۸۱).
- [9] Berberian F., "Petrogenesis of the Iranian Plutons: A study of the Natanz and Bazman intrusive Complexes", Ph.D. Thesis, Cambridge University (1981).
- [۱۰] قدسی م.ر، "اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک برگه کرمانچی (شمال غرب ایرانشهر)"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی تهران (۱۳۸۴).
- [۱۱] جمشیدی م، "تشکیل اسکارن و کانی زایی مس گربودار، جنوب شرق آتشفشنان بزمان" ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۹۰).
- [12] Rieder M., Cavazini 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.
- [13] Gunow A.J., Ludington S., Munoz J.L., "Fluorine in micas from the Henderson molybdenite deposits, Colorado", Economic Geology 75(1980) 1127-1137.
- [۱۴] وحدتی دانشمند ف، جرجندی م، "نقشه زمین شناسی چهارگوش مکسان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور" ، (۱۳۸۳).
- [۱۵] سهندی م.ر، پاداشی م، "نقشه زمین شناسی چهارگوش بزمان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور" ، (۱۳۸۴).
- [16] Berberian F., Muir I.D., Pankhurst R.J., Berberian M., *Late Cretaceous and Early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and central Iran*", Journal of the Geological Society of London, 139, (1982) 605-14.