



ژئوشیمی و زمین گاهشماری گرانیت گنایس بن‌دونو (بوانات فارس) و مقایسه‌ی آن با گرانیت‌های ایران مرکزی

کمال نوری خانکهدانی^{*}، مسیب سبزه‌یی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، گروه زمین‌شناسی، شیراز، ایران

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

چکیده: توده‌ی گرانیت گنایسی بن‌دونو در هسته‌ی تاقدیس کوه سفید توک و در ۲۰۰ کیلومتری شمال شرق شیراز رخمنون یافته است. این توده گرانیت‌وبیدی، بخشی از مجموعه‌دگرگونی توک است که در ورق سوریان واقع است. بررسی‌های سنگ‌شناسی، سنگ‌های مورد بررسی را در گستره‌ی اورتوگنایس قرار داده است. براساس بررسی‌های جاری ویژگی‌های ژئوشیمیایی، محیط زمین-ساختی و زمین گاهشماری گرانیت گنایس بن‌دونو با برخی از توده‌های گرانیت‌وبیدی ایران مرکزی در مناطقی مثل آریز، بنه‌شور، زریگان و دوزخ دره شباهت بسیاری نشان می‌دهد. تمامی این توده‌ها سرشت آهکی-قلیایی و پرآلومینوس داشته و در حواشی فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. بنا بر بررسی‌های زمین گاهشماری جاری، سن گرانیت گنایس‌های بن‌دونو به روش زیرکون اورانیوم-سرب معادل ۵۳۸,۵ میلیون سال تعیین شده‌است که به سن توده‌های گرانیت‌وبیدی فوق بسیار نزدیک است. سن تعیین شده معرف تشکیل گرانیت گنایس بن‌دونو در کامبرین زیرین است که در این صورت با فعالیت‌های کوهزایی کاتانگایی قابل مقایسه است.

واژه‌های کلیدی: بوانات؛ بن‌دونو؛ گرانیت گنایس؛ ژئوشیمی؛ زمین گاهشماری.

مقدمه

اورتوگنایس بن‌دونو (یا همان گرانیت گنایس بن‌دونو)، یک توده‌ی گرانیتی متورق به شکل بیضی است که از ساختار تاقدیسی منطقه پیروی کرده و با شیسته‌های سیاهرنگ میزبان خود به طور همشیب قرار گرفته است. بافت این سنگ‌ها، گرانولپیدوبلاستیک بوده و در یک جهت به صورت برگواره هستند [۴]. به گفته‌ی نوری [۵] و نوری و همکاران [۶] گنایس‌های بن‌دونو، حاصل دگرگونی حرکتی گرانیت‌های منطقه بوده و بنا به دلایل متعدد صحرایی و سنگ‌شناسی، نمی‌توانند حاصل پیشرفت دگرگونی ناحیه‌ای در شیسته‌های میزبان خود بوده باشند بلکه این گنایس‌ها در اثر فرآیندهای میللونیتی شدن هم‌چون گنایسی شدن (gneissification) در مناطق برشی موجود در گرانیت‌های منطقه شکل گرفته‌اند. این

گرانیت‌ها فراوان‌ترین سنگ‌های آدرین درونی هستند که از نظر جنبه‌های مختلف علمی مورد توجه قرار گرفته‌اند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی و زمین گاهشماری از جمله مهم‌ترین این جنبه‌های علمی محسوب می‌شوند.

در این پژوهش گرانیت گنایس‌های منطقه‌ی بن‌دونو در خاور شهرستان بوانات در شمال شرق استان فارس از نظر این ویژگی‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌است. گرچه این گرانیت گنایس‌ها، در گزارش‌های هاریسون و فالکن [۱]، طراز [۲] و ریکو [۳] مورد اشاره قرار گرفته‌اند ولی باید اذعان کرد که اولین بررسی سنگ‌شناسی بر روی آن‌ها توسط هوشمندزاده و همکاران [۴] صورت گرفته‌است. به گفته‌ی این پژوهشگران،

* نویسنده مسئول: تلفن ۰۹۱۷۷۱۲۵۱۹۶، نامبر ۰۷۱۸۲۲۹۹۹۴، پست الکترونیکی knk@iaushiraz.net

ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱). دسترسی به این منطقه از راههای متعددی همچون شیراز - خرمبید - سوریان - بن دونو و یا یزد - مروست - هرابرگان - بن دونو امکان‌پذیر است. منطقه‌ی مورد بررسی در فاصله‌ی ۲۰۰ کیلومتری شمال شرق شیراز واقع شده است.

زمین‌شناسی منطقه

شکل شماره ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه‌ی مورد بررسی را براساس [۵] نشان می‌دهد. بر این اساس مجموعه دگرگونی توتک، که گرانیت گنایس مورد بررسی بن دو نو در آن جای دارد در تاقدیس کوه سفید توتک رخنمون یافته و از هسته به سمت یال‌های تاقدیس دارای سه واحد سنگ‌شناسی زیر است:

- گرانیت گنایس بن دونو (واحد TCG) در بخش هسته‌ی تاقدیس

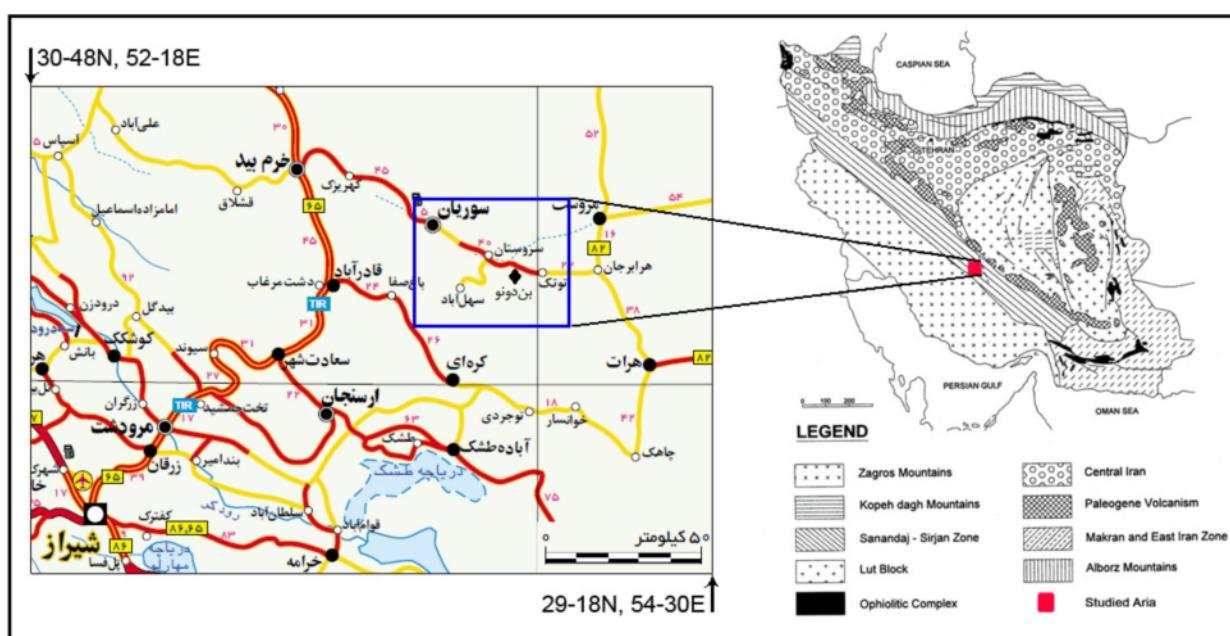
- لایه تنابی (واحد AlA) متشکل از میکاشیستهای سیاهرنگ هورنفلسی شده (بخش میزان گرانیت گنایس بن دونو)، شیست آهکی، آمفیبولیت و شیست سبز.

- مرمرهای ضخیم لایه کوه سفید توتک (واحد TCM) در یال‌های تاقدیس کوه سفید (شکل‌های ۳ و ۴)

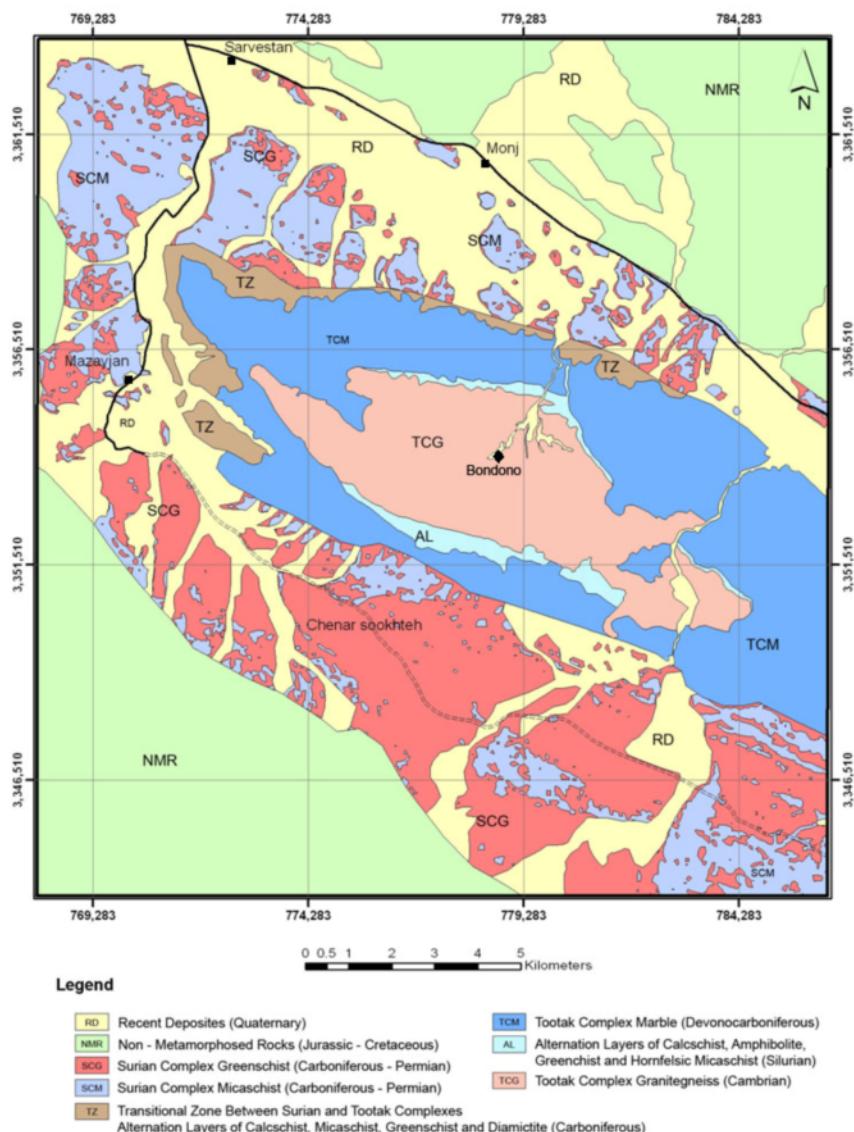
دگرگونی حرکتی، علاوه بر گرانیت‌ها، روی دیگر واحدهای سنگی منطقه از جمله میکاشیستهای نیز تأثیر گذارد به طوری که در برخی موارد میکاشیستهای دارای دو جهت برگوارگی شده‌اند [۵]. در بررسی‌های جاری، سعی شده‌است تا ضمن بررسی شرایط ژئوشیمیایی محیط تشکیل این گرانیت گنایس‌ها، نتایج آخرین بررسی بر روی آن‌ها که تعیین سن مطلق آن‌ها به روش اورانیوم - سرب بوده است ارائه شده تا بتواند راهگشای بررسی‌های بعدی باشد. هم‌چنین با استفاده از نتایج حاصل از بررسی‌های رمضانی و تاکر [۷] در خصوص شرایط زمین گاهشماری و سنگ‌زایی گرانیت‌های ایران مرکزی، سعی شده‌است مقایسه‌ای بین این نتایج و برداشت‌هایی بررسی‌های جاری صورت پذیرد چراکه این بررسی مقایسه‌ای نشان می‌دهد که گرانیت گنایس بن دونو از نظر شرایط زمین گاهشماری، ژئوشیمی و محیط زمین‌شناسی تشکیل، به برخی توده‌های گرانیت‌وبیدی ایران مرکزی شباهت دارد.

معرفی منطقه‌ی مورد بررسی

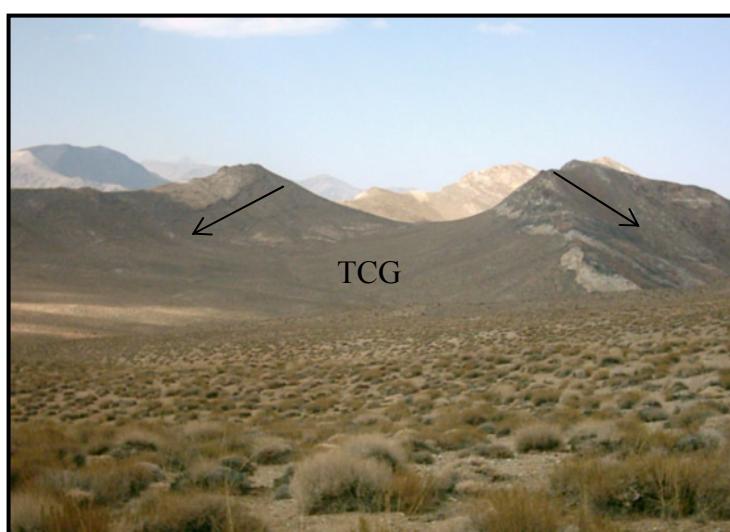
منطقه‌ی بن دونو به عنوان بخشی از شهرستان بووات (به مرکزیت سوریان) در حقیقت جزی از ایالت ساختاری سندج - سیرجان جنوبی است که در حدفاصل ایالت‌های زاگرس و



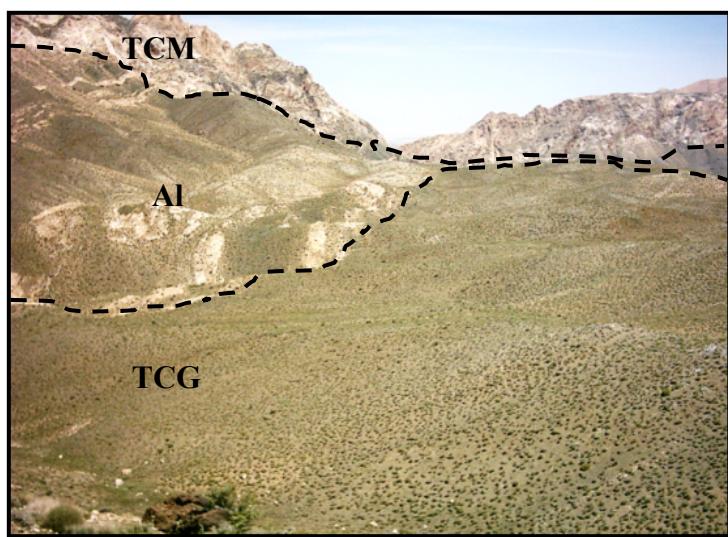
شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در نقشه‌ی ایالت‌های ساختاری ایران زمین [۸] و نقشه راههای دسترسی [۹].



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده منطقه‌ی مورد بررسی بر اساس [۱۰۵].



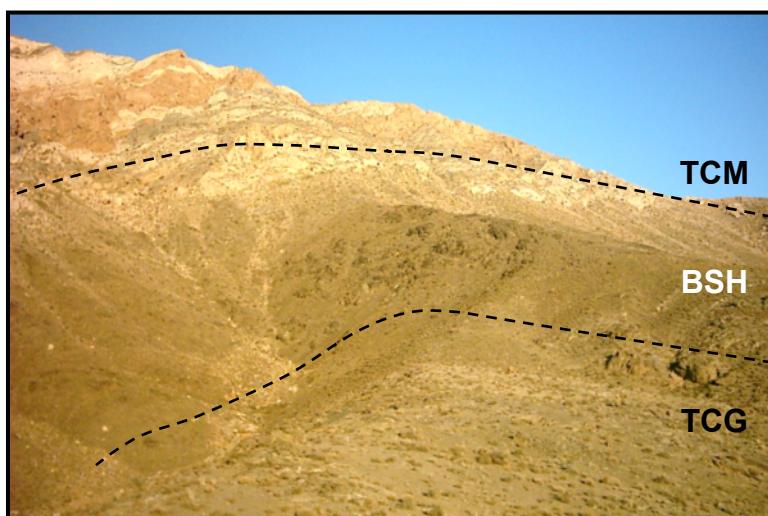
شکل ۳ چگونگی رخمنون عمومی گرانیت گنایس‌های بن‌دونو (TCG) در دماغه‌ی شمال غربی تاقدیس (NW Anticline nose) شرق مزایجان.



شکل ۴ واحدهای تشکیل دهنده مجموعه دگرگونی توتک در منطقه‌ی بن‌دونو-دیدبه سمت شمال واحد گرانیت گنایس بن‌دونو (TCG)، واحد لایه‌های تناوبی (Al) شامل میکاشیست هورنفلسی شده، شیست آهکی، شیست سبز و آمفیبولیت، واحد مرمر ضخیم لایه (TCM).

گنایس بن‌دونو کامبرین زیرین تعیین شده است لازم است این سن مورد بازبینی قرار گیرد، زیرا پیشتر ثابت شده است [۵]، که گرانیت‌های بن‌دونو روی میکاشیست‌های سیاهرنگ میزان خود اثر دگرگونی گرمایی داشته و توانسته است در برخی موارد، آن‌ها را به میکاشیست‌های هورنفلسی تبدیل کند (شکل ۵) بنابراین ضرورت دارد بخش میکاشیست‌های سیاهرنگ مجموعه‌ی دگرگونی توتک، از نظر تعیین سن، مورد بررسی‌های دقیق‌تر چینه‌شناسی قرار گیرد.

هوشمندزاده و همکاران [۴] ضمن بحث چینه‌شناسی چهارگوش اقلید، درخصوص سن میکاشیست‌های سیاهرنگ فوق اظهار داشته‌اند که هیچ گونه آثار فسیلی در این واحد مشاهده نشده است بنابراین نمی‌توان سن دقیقی برای آن متصور بود اما آنها با توجه به سن واحد مرمری کوه سفید توتک (TCM) که دونین تعیین شده است و صرفاً براساس همخوانی چینه‌شناسی، سن میکاشیست‌های یاد شده را سیلورین پیشنهاد کرده‌اند که براساس بررسی‌های جاری که سن گرانیت



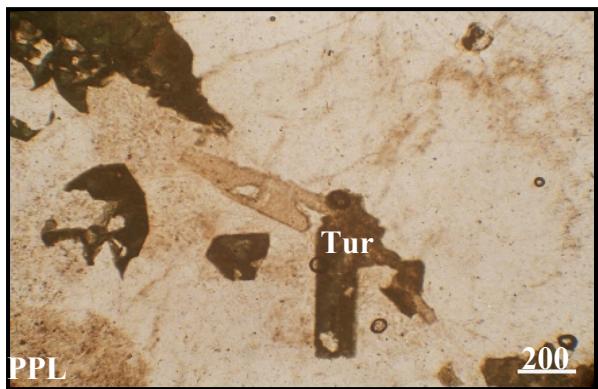
شکل ۵ ارتباط صحرایی میکاشیست‌های سیاهرنگ هورنفلسی شده (BSH) با گرانیت‌های بن‌دونو (TCG) و مرمرهای کوه سفید توتک (TCM) در منطقه‌ی اوشن پیری، تنگه‌ی بن‌دونو، دید به سمت شمال. توضیح آن که گرانیت‌های بن‌دونو روی میکاشیست‌های سیاهرنگ مجموعه توتک، اثر دگرگونی گرمایی داشته و آن‌ها را به میکاشیست هورنفلسی شده تبدیل کرده‌اند.



شکل ۷ ساختهای جهت یافته در گرانیت گنایس‌های بن دونو، این ساختها حاصل دگرگونی حرکتی و پدیده‌ی گنایسی شدن در گرانیت‌ها فرض شده و در سنگ‌های اطراف مناطق برشی مشاهده می‌شود. برش خورده‌گی از نوع راستگرد تعیین شده است [۵].



شکل ۸ کانی زیرکون (Zrn) با حاشیه‌ی متامیکتی در گرانیت گنایس‌های بن دونو.



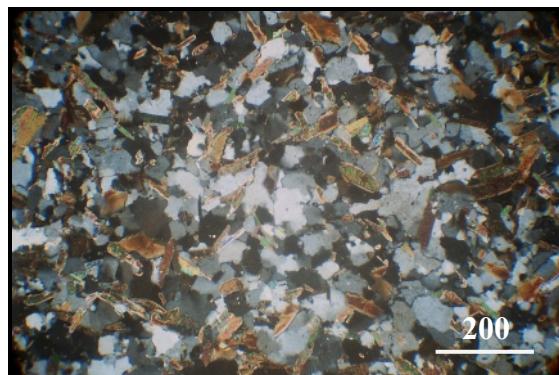
شکل ۹ بلورهای تورمالین (Tur) در گرانیت گنایس‌های بن دونو (منطقه چشممه نوچنار).

روی مرمرهای مجموعه‌ی توک، دو واحد سنگ‌شناسی شیست سبز (SCB) و میکاشیست (SCM) مجموعه‌ی سوریان به سن کربونیفر - پرمین [۴] قرار گرفته است. از نظر زمین ریخت‌شناسی، گرانیت گنایس‌های بن دونو عموماً تشکیل تپه ماهورهای کم ارتفاعی داده و فاقد فرسایش پرتگاهی (escarpment) هستند. رخنمون اصلی آن‌ها در منطقه‌ی تاقدیس کوه سفید بوده (شکل ۳) و به سمت یال‌های واحدهای سنگی دیگری همچون لایه‌ی تناوبی و مرمرهای کوه سفید ظاهر می‌شوند (شکل ۴).

در مقیاس نمونه دستی، کانی‌هایی چون کوارتز، فلدسپار، موسکویت و بیوتیت در گرانیت گنایس‌های بن دونو مشاهده می‌شوند (شکل ۶) که در نمونه‌های گنایسی شده، جهت یافتگی مشخصی به‌ویژه در میکاها قابل رویت است (شکل ۷). بررسیهای میکروسکوپی نشان داد که علاوه بر کانی‌های اصلی پاد شده، کانی‌هایی همچون زیرکون و تورمالین در این سنگ‌ها مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۸ و ۹). وجود زیرکون برای بررسیهای زمین گاهشماری با اهمیت فرض شده و ضمن بررسی میکروسکوپی گرانیت گنایس‌ها، نمونه‌های حاوی زیرکون شناسایی و متمایز شدند تا بتوان در مراحل بعدی، ضمن فرآیندهای آماده سازی، آن‌ها را از دیگر کانی‌ها جداسازی کرد. بررسی میکروسکوپی میکاشیست‌های هورنفلسی، وجود بافت‌های هورنفلسی را در میکاشیست‌های سیاهرنگ نشان داد که خود می‌تواند به عنوان اثری از دگرگونی مجاورتی گرانیت بن دونو روی میکاشیست‌های سیاهرنگ میزبان تلقی شود (شکل ۱۰).



شکل ۶ گرانیت گنایس‌های بن دونو در نمونه‌ی دستی، کانی‌هایی مثل کوارتز، فلدسپار و میکا اجزای اصلی این سنگ‌ها در مقیاس نمونه‌ی دستی هستند.



شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپی میکاشیست‌های هورنفلسی شده در منطقه‌ی تماس میکاشیست‌ها با گرانیت بن‌دونو. توضیح آن که در این منطقه‌ی تماس، میکاشیست‌ها بافت هورنفلسی نشان می‌دهند که حاکی از اثر گرمایی گرانیت بن‌دونو بر روی آن‌ها است.

بلورهای زیرکون از کانی‌های دیگر جداسازی شد تا در نهایت حدود ۲۰ گرم زیرکون خالص جمع‌آوری شد. این مقدار زیرکون، به آزمایشگاه سال سنجی MIT آمریکا ارسال شده و توسط دکتر جهان‌دار رمضانی مورد سال‌سنجی قرار گرفت که در ادامه نتایج دو بخش ژئوشیمی و زمین‌گاهشماری ارائه خواهد شد.

نتایج بررسی‌های ژئوشیمی

پس از دریافت نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های منطقه (جدول ۱) و بررسی اولیه این نتایج، از نرم افزار Minpet برای پردازش داده‌ها استفاده شد. به منظور مقایسه گرانیت‌گنایس‌های بن‌دونو با گرانیت‌های ایران مرکزی، این سنگ‌ها همزمان در نمودارهای این بخش ترسیم شدند. علائم سنگ‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند.

برای نامگذاری سنگ‌ها نخست از نمودار [۱۱] استفاده شد که بر این اساس سنگ‌های مورد بررسی عموماً در گستره‌ی گرانیت و ندرتاً در منطقه‌ی گرانو‌دیوریت قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱).

برای تعیین سری ماقمایی سنگ‌های مورد مطالعاتی از نمودار ابروین و باراکار [۱۲] استفاده شد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) بر این اساس ملاحظه می‌شود که گرانیت‌گنایس‌های بن‌دونو در گستره‌ی نیمه قلیایی و سری آهکی-قلیایی قرار گرفته‌اند که از این منظر به گرانیت‌های ایران مرکزی شباهت دارند.

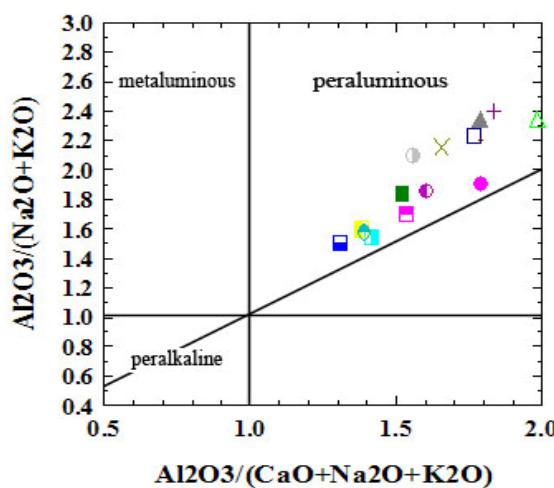
موقعیت سنگ‌های آهکی-قلیایی مورد بررسی در نمودار [۱۳] تعیین شد که در گستره‌ی پرآلومینوس قرار گرفته‌اند (شکل ۱۴). این مسئله، با ویژگی‌های سنگ‌های آهکی قلیایی هماهنگ است [۱۴].

روش بررسی

پس از پیمایش‌های متعدد صحرایی و انجام نمونه‌برداری از واحدهای گرانیت گنایس بن‌دونو، مقاطع نازک این سنگ‌ها تهیه شدند و به وسیله‌ی میکروسکوپ‌های قطبشی مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی‌ها، ضمن مطالعه‌ی شرایط کانی‌شناسی و بافتی سنگ‌ها، نمونه‌هایی که دارای کم‌ترین میزان تجزیه و دگرسانی بوده‌اند شناسایی و جدا شدند تا بتوان در بررسی‌های ژئوشیمیایی از آن‌ها استفاده کرد. از طرف دیگر، نمونه‌های حاوی زیرکون نیز به منظور تعیین سن مطلق از نمونه‌های دیگر شده شدند.

برای بررسی‌های ژئوشیمیایی و تعیین فراوانی عناصر اصلی و فرعی، ۱۱ نمونه‌ی سنگی به آزمایشگاه کانسaran بینالود ارسال شده و روی آن‌ها تجزیه شیمیایی به روش XRF و با استفاده از دستگاه فیلیپس مدل PW1480 صورت گرفته‌است از طرف دیگر تجزیه‌ی شیمیایی ICP-MS برای تعیین فراوانی REE از سوی آزمایشگاه AMDEL استرالیا صورت گرفته، و از نرم افزار Minpet برای پردازش داده‌ها استفاده شد.

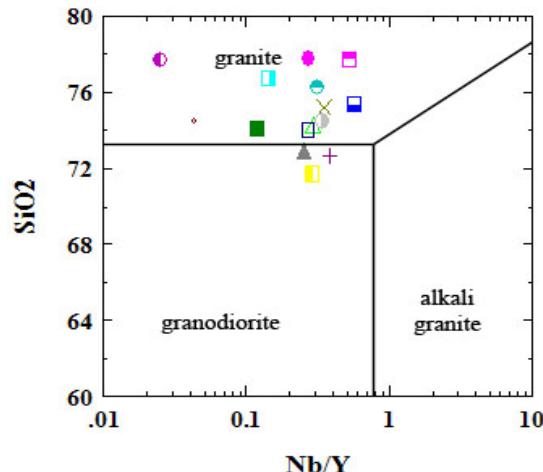
در طول بررسی‌های میکروسکوپی مشخص شد که ابعاد کانی زیرکون از ۴۰۰ میکرون بیشتر نبوده است بنا براین بررسی‌های زمین‌گاهشماری، پس از انتخاب حدود ۳۰ کیلوگرم از نمونه‌های حاوی زیرکون، آن‌ها را تا زیر ۴۰ مش خرد کرده تا حداکثر درجه‌ی آزادی زیرکون تأمین شود. سپس این نمونه خرد شده را درون شاره‌ی چگال بروموفورم ریخته تا ذرات سبک‌تر مثل کوارتز و فلدسپار شناور مانده و کانی‌های سنگین از جمله زیرکون رسوب کنند. این رسوب، جمع‌آوری و شسته شد و سپس با میکروسکوپ‌های دوچشمی (binocular)



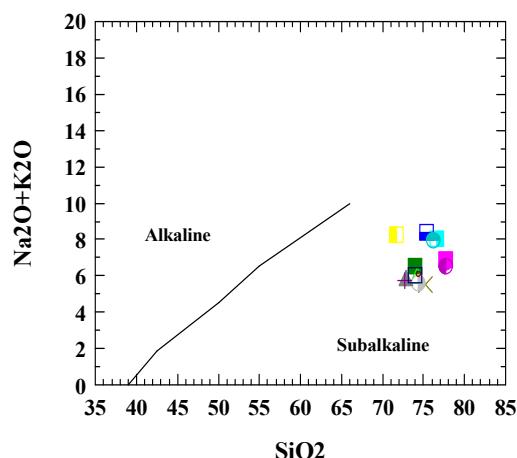
شکل ۱۴ جای گیری گرانیت گنایس‌های مورد بررسی در محدوده سنگ‌های پرآلومینوس [۱۴].

نکته‌ی ژئوشیمیایی دیگر در مورد بررسی گرانیت گنایس‌ها، تعیین خاستگاه رسوبی (پاراگنایس) یا آذرین (اورتوگنایس) آن‌هاست. گرچه برداشت‌های صحرایی و بررسی مقاطع نازک، نشان داد که گنایس‌های بن‌دونو حاصل پیشرفت دگرگونی میکاشیسته‌ای میزبان خود نیستند ولی به منظور تأیید ژئوشیمی موضع، از نمودارهای [۱۶، ۱۵] استفاده شد. به استناد این نمودارها یعنی شکل‌های ۱۵ و ۱۶، مشخص می‌شود که گنایس‌های مورد بررسی از نوع اورتوگنایس محسوب می‌شوند.

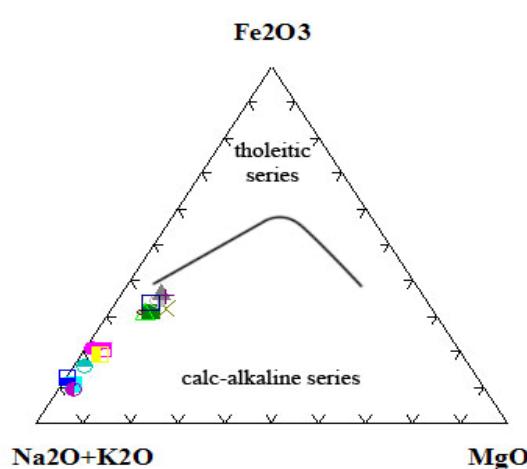
مسئله قابل بررسی دیگر در خصوص گرانیت گنایس‌های بن‌دونو و نیز گرانیت‌های مورد مقایسه با آن‌ها در ایران مرکزی، محیط زمین‌ساختی آن‌هاست. گرچه براساس ماهیت ژئوشیمیایی سری ماقمایی این سنگ‌ها که از نوع آهکی قلیایی بوده‌است، تشکیل این سنگ‌ها در یک حاشیه همگرا (Convergent margin) قابل پیش‌بینی است اما برای تایید این ادعا از نمودارهای پیرس و همکاران [۱۷] استفاده شد (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). بر این اساس سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی حواشی قاره‌ای فعال یا گرانیت‌های کمان آتشفسانی (VAG) جای گرفته‌اند که با توجه به این که جزء گرانیت‌های I بوده‌اند، این مسئله قابل توجیه است. این خصوصیت نیز ویژگی مشترک گرانیت‌های مورد بررسی منطقه بن‌دونو و گرانیت‌های مقایسه شده با آن‌ها در ایران مرکزی است.



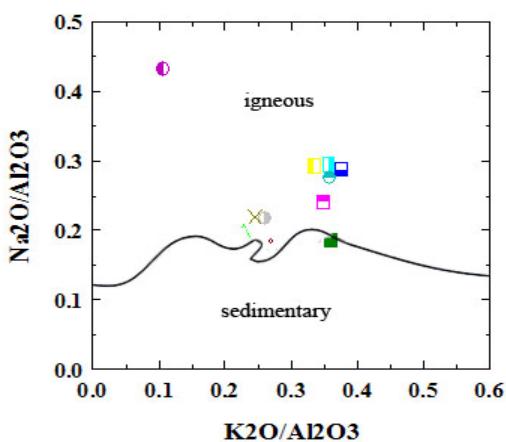
شکل ۱۱ موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در نمودار وینچستر و فلويد [۱۱].



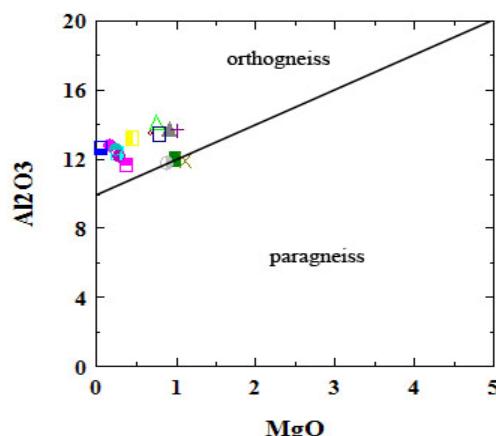
شکل ۱۲ چگونگی سنگ‌های مورد بررسی در نمودار ایروین و باراگار [۱۲].



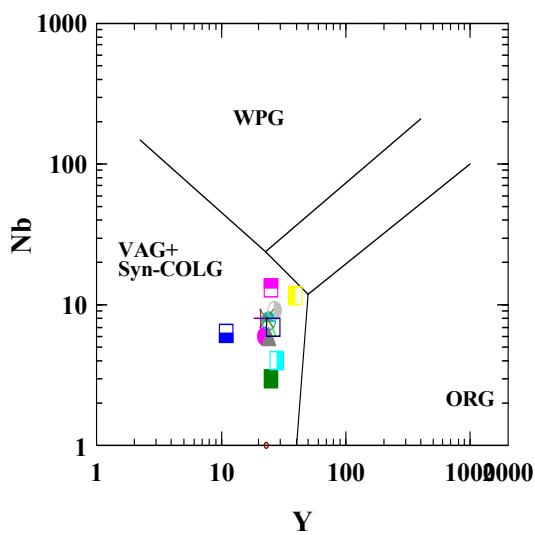
شکل ۱۳ موقعیت گرانیت‌های مورد بررسی در نمودار AFM بر اساس [۱۲].



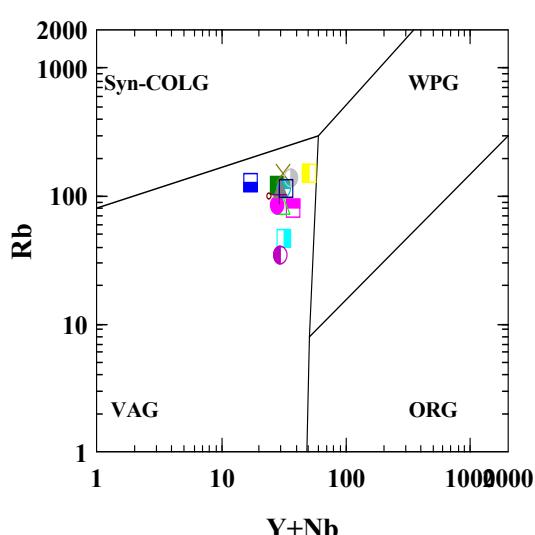
شکل ۱۶ جایگیری گرانیت گنایس‌های مورد بررسی در گستره‌ی گنایس‌های با خاستگاه آذرین، نمودار مبنا از [۱۶].



شکل ۱۵ موقعیت گرانیت گنایس‌های مورد بررسی در گستره‌ی اورتوگنایس‌ها، نمودار مبنا از [۱۵].



شکل‌های ۱۷ و ۱۸ قرارگیری سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی گرانیت‌های حواشی قاره‌ای فعال (VAG)، نمودار مبنا از [۱۷].

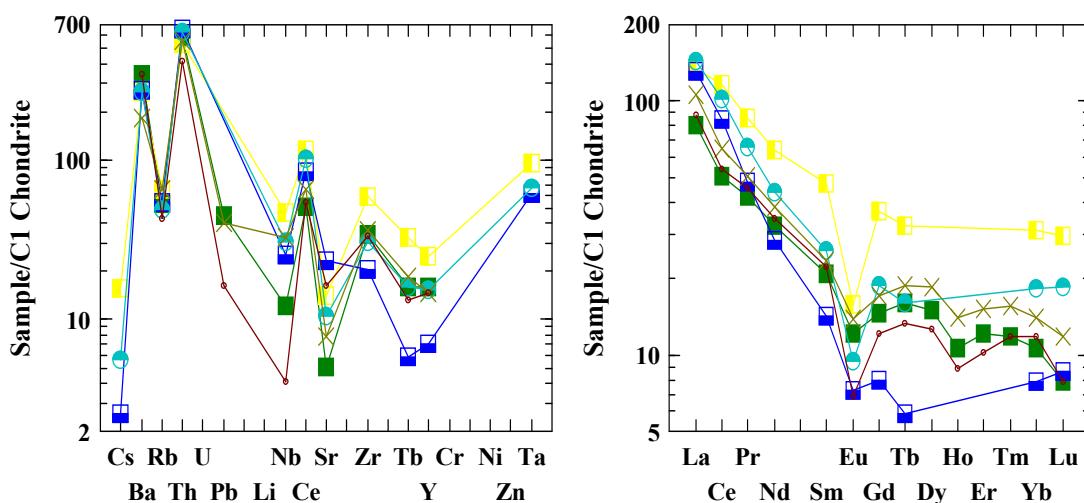


شکل‌های ۱۷ و ۱۸ قرارگیری سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی گرانیت‌های حواشی قاره‌ای فعال (VAG)، نمودار مبنا از [۱۷].

بی‌亨جاري منفی آن‌ها بوده و با ویژگی‌های گرانیت‌های حاشیه قاره‌ای فعال هماهنگ است. لازم به یادآوری است که برای محاسبه‌ی نسبت (Eu/Eu*) صرفاً از نمونه‌هایی که به روش ICP-MS تجزیه شده‌اند استفاده گردید شد، زیرا که این روش دارای دقت بالاتری برای اندازه‌گیری عنصر Eu بوده است.

هم چنین به اعتقاد ویلسون [۱۹] گرانیت‌های مرزهای قاره‌ای نارام از نظر عناصر لیتوфیل با شعاع یونی بزرگ (LIL) هم چون Rb-K-La-Ce-Th دلای غنی شدگی هستند در حالی که از عناصر باشدت میدان شدید (HFSE) (Eu/Eu*) نظیر Ti-Nb-Y-Yb تهی شدگی نشان می‌دهند که موارد اخیر نیز در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ نیز ملاحظه شده و از این منظر نتایج مربوط به محیط زمین‌ساختی سنگ‌های مورد بررسی تایید می‌شود.

به منظور بررسی چگونگی توزیع عناصر فرعی و نیز عناصر کمیاب خاکی (REE) فراوانی این عناصر در نمونه‌های سنگی مورد بررسی نسبت به کندریت عادی سازی شده است (شکل‌های ۱۹ و ۲۰). بر اساس این الگوی توزیع عناصر نادر خاکی، مشخص می‌شود که نمونه‌های مطالعاتی در فراوانی عناصر نادر خاکی سبك (LREE) غنی شدگی و در عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) تهی شدگی نشان می‌دهند. این گونه الگوی فراوانی در عناصر نادر خاکی به همراه بی‌亨جاري منفی در عناصر Eu و Nb از ویژگی‌های ژئوشیمیایی حواشی فعال قاره‌های است [۱۸]. هم‌چنین نسبت (Eu/Eu*) محاسبه شده برای گرانیت گنایس بن دونو در گستره‌ی ۰/۱۴ – ۰/۳۲ و برای گرانیت‌های بررسی شده ایران مرکزی ۰/۱۱ – ۰/۲۱ بوده است که باز هم نشان دهنده‌ی

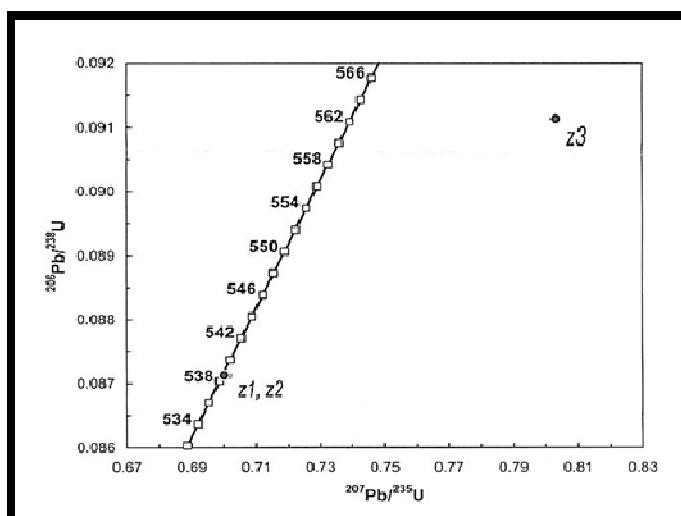


شکل های ۱۹ و ۲۰ نمودار فراوانی عناصر فرعی و نادر خاکی سنگهای مورد بررسی عادی سازی شده نسبت به کندربیت.

نمونه ناهماهنگ بوده و سن قدیمی‌تری را نشان می‌دهد و به احتمال زیاد نتیجه‌ی وراثت زیرکون از یک خاستگاه کهن‌تر است.

نتایج حاصل از بررسی‌های سال سنجی ایزوتوبی گرانیت گنایس‌های بن دونو با نتایج سال سنجی گرانیت‌های ایران مرکزی [۷] مقایسه شده و در جدول ۳ خلاصه شده‌اند. به استناد این جدول چنان‌که ملاحظه می‌شود سن مطلق توده‌ی گرانیتی بن دونو بوانات به سن مطلق توده‌های گرانیت‌بیدی ایران مرکزی بسیار نزدیک است و باقیستی قبول کرد که این توده‌ها علاوه بر آن که از نظر سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و محیط تشکیل شباخت فراوانی دارند از نظر سن مطلق نیز هم ارز یکدیگر محسوب می‌شوند.

نتایج بررسی‌های سال سنجی پس از عملیات جدایش و آماده‌سازی بلورهای زیرکون که در بخش ۴ (روش مطالعه) بدان اشاره شد، بررسی‌های سال سنجی به روش اورانیوم - سرب در این زیرکون‌ها آغاز شده‌است. نمونه‌های جداسازی شده‌ی زیرکون، به دانشگاه MIT آمریکا ارسال شده و مورد سال سنجی قرار گرفته‌اند که نتایج آن در جدول ۲ خلاصه شده‌اند. همچنین نتایج حاصل از این بررسی روی نمودار کنکور迪ا (شکل ۲۱) نمایش داده شده‌است. چنانکه از شکل ۲۱ پیداست، نمونه‌های سری Z1 و Z2 هماهنگی خوبی با یکدیگر داشته و سنی معادل ۵۳۸.۵ Ma را برای گرانیت گنایس‌های منطقه بن دونو بوانات نشان می‌دهند و این در حالی است که نمونه‌ی Z3 تا حد زیادی با این دو



شکل ۲۱ نمودار کنکور迪ا برای سال یابی گرانیت گنایس‌های بن دونو به روش زیرکون - اورانیوم - سرب.

جدول ۲ نتایج آزمایش‌های سال سنجی به روشنی U-Pb بر روی نمونه‌های زیرکون گرانیت گنایس بن دونو.

سن (میلیون سال)	$207\text{Pb}/235\text{U}$	$206\text{Pb}/238\text{U}$	ردیف
۵۳۸,۴	۰,۷۰۰	۰,۰۸۷۱	Z1
۵۳۸,۶	۰,۷۰۲	۰,۰۸۷۲	Z2
---	۰,۸۰۳	۰,۰۹۱۲	Z3

جدول ۳ مقایسه نتایج سال سنجی ایزوتوبی اورانیوم – سرب گرانیت‌های گنایس‌های بن دونوبوانات و گرانیت‌های ایران مرکزی

سن مطلق	نام نمونه	ردیف
۵۳۸,۵ Ma	گرانیت گنایس بن دونو	۱
۵۳۳±۱ Ma	گرانودیوریت آریز*	۲
۵۴۴±۷ Ma	گرانیت گنایس بنه شورو*	۳
۵۲۹±۱۶ Ma	لوکوگرانیت زریگان (کوه پشته سرخ)*	۴
۵۲۵±۷ Ma	لوکوگرانیت زریگان (کوه زریگان)*	۵
۵۲۵,۷±۱ Ma	لوکوگرانیت دوزخ دره*	۶

منبع: [۷]

نzedیک است. سن تعیین شده، تداعی کننده‌ی تشکیل گرانیت گنایس بن دو نو در کامبرین زیرین است که در این صورت حاصل جنبش‌های کوهزایی کاتانگایی است.

- گرچه به استناد بررسی‌های جاری توده‌ی گرانیتی بن دونو شباهت‌های فراوانی با توده‌های گرانیتوییدی ایران مرکزی دارد ولی نکته ابهام آمیز اختلاف در موقعیت مکانی آن‌هاست بنابراین لازم است بررسی‌های آتی به گونه‌ای توجیه کننده شباهت‌ها و اختلاف‌های موجود باشد.

قدرتانی

شایسته است از همکاری بخش سال سنجی دانشگاه MIT آمریکا به ویژه همکاری صمیمانه دکتر جهاندار رمضانی در خصوص تعیین سن مطلق سنگ‌های منطقه قدردانی شود. هم‌چنین نویسنده‌گان مقاله از نقطه نظرات ارزشمند داوران محترم سپاس گزاری می‌نمایند.

مراجع

- [1] Harrison J. V., Falcon N. L., "Gravity collapse structures and mountain ranges, as exemplified in south-western Iran", Q. Jl Geol. Soc. Lond. 92 (1936) 91-102.
- [2] Taraz H., "Geology de la region Surmaq-Dehbid", Iran Central S.L., (1972) 1-237.
- [3] Ricou L.E., "L'etude géologiques de la region de Neyriz (Zagros Iraniaen) et levolution structural des Zagride", These Universite, Paris (1974) 300.

برداشت‌ها

مهم ترین نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- توده‌ی گرانیتی بن دونو در شرق شهرستان بوانات و در شمال شرق استان فارس واقع شده و جزیی از سندج - سیرجان جنوبی محسوب می‌شود.

۲- به دلیل عملکرد دگرگونی حرکتی به خصوص پدیده‌ی میلیونیتی شدن از نوع گنایسی شدن بخش‌هایی از توده‌ی گرانیتی بن دونو به گنایس تبدیل شده به طوری که اکنون نام گرانیت گنایس برآنده آن‌هاست.

۳- به دلیل جنبه‌های مختلف از جمله سنگ‌شناسی ژئوشیمی و سن مطلق توده‌ی گرانیت گنایسی بن دونو با توده‌های گرانیتوییدی ایران مرکزی شباهت زیادی دارند.

۴- همه‌ی این توده‌ها دارای ماهیت نیمه قلیایی از نوع آهکی قلیایی بوده و رفتار پرآلومینوس نشان می‌دهند.

۵- جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های مورد بررسی نیز در هماهنگی با مورد ۴ حواشی فعال قاره‌ای تعیین شدند. نتایج بررسی فراوانی عناصر فرعی و نادر خاکی نیز این مسئله را تایید می‌کند.

۶- سن مطلق گرانیت گنایس بن دونو $538,5\text{ Ma}$ تعیین شده است که به سن مطلق توده‌های گرانیتوییدی ایران مرکزی در مناطقی هم چون آریز، بنه شورو، زریگان و دوزخ دره بسیار

- differentiation products using immobile elements".* Chemical Geology 20, (1977) 325-343.
- [12] Irvin T. N., Baragar W. R. A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Sciences, 8 (1971)523-548.
- [13] Shand S. J., "Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite", New York (1943).
- [۱۴] معین وزیری ح., پترولوژی سنگ‌های آتش‌شانی، انتشارات جهاد دانشگاهی (۱۳۶۴) ۲۲۸ صفحه.
- [15] Marc D., "Granites and rhyolites from the northwestern USA: temporal variation in magmatic processes and relations to tectonic setting", Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences 83, (1992), 51-64.
- [16] Garrels R.M., Mckenzie F. T., "Evolution of Sedimentary Rocks", W. W. Norton New York, NY, (1971).
- [17] Pearce J. A., Harris N. W., Tindle A. G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", J Petrology, 25 (1984) 956-983.
- [18] Brown G.C., Thorpe R.S., Webb P.C., "The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources", J. Geol. Soc. Lond. N. 141, (1984) 411-426.
- [19] Wilson M., "Igneous Petrogenesis", Chapman & Hall (1989).
- [۴] هوشمندزاده ع., سهیلی ر., اوہانیان م., سهندی م.ر., آزم ف., "شرح زمین‌شناسی چهارگوش اقلیدی", سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۶۹).
- [۵] نوری خانکهدانی ک., "بررسی ارتباط ژنتیکی و ساختمانی گنایس بن دونو با کمپلکس دگرگونی توک", رساله‌ی دکتری پetroلولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۸۴).
- [۶] نوری خانکهدانی ک., سبزه‌بی م., وثوقی عابدینی م., "خاستگاه گنایس‌های بن دونو خاور بوانات - استان فارس", فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۱ سال شانزدهم، صفحه ۱۶۰ الی ۱۷۷ (۱۳۸۵).
- [7] Ramezani J., Tucker R., "The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implication for Gondwana tectonics.", American Journal of Science 303, (2003)622-665.
- [8] Stocklin J., "Structural History and Tectonic of Iran", Geo. B. V.52, No.7. (1968).
- [۹] بختیاری س., "اطلس جامع گیتاشناسی", مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی (۱۳۸۴)، ۲۱۹ صفحه.
- [۱۰] نوری خانکهدانی ک., "کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در تفکیک واحد‌های سنگی مجموعه‌های دگرگونی توک و سوریان", گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز (۱۳۸۸).
- [11] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of different magma series and their