



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 توتک و در ۲۰۰ کیلومتری شمال شرق شیراز رخنمون یافته است. این توده گرانیتوئیدی، بخشی از مجموعه دگرگونی توتک است که در ورق سوربان 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 گرانیتوئیدی ایران مرکزی در مناطقی مثل آریز، بنه‌شورو، زیرگان 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 شده است که به سن توده‌های گرانیتوئیدی 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

گرانیت‌ها فراوان‌ترین سنگ‌های آذرین 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 گرفته است. 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 گرفته است. به گفته‌ی این پژوهشگران،

اورتوگنایس بندنو (یا همان گرانیت گنایس بن‌دونو)، یک توده‌ی گرانیتی متورق به شکل بیضی است که از ساختار تاق‌دیزی منطقه پیروی کرده و با شیست‌های سیاه‌رنگ میزبان خود به‌طور هم‌شیب قرار گرفته است. بافت این سنگ‌ها، گرانولیدوبلاستیک 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 صحرائی و سنگ‌شناسی، نمی‌توانند حاصل پیشرفت دگرگونی ناحیه‌ای در شیست‌های میزبان خود بوده باشند بلکه این گنایس‌ها در اثر فرآیندهای میلونیتی شدن هم‌چون گنایسی شدن (gneissification) در مناطق برشی موجود در گرانیت‌های منطقه شکل گرفته‌اند. این

ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱). دسترسی به این منطقه از راه‌های متعددی همچون شیراز - خرم‌بید - سوریان - بن‌دونو و یا یزد - مروست - هرابرجان - بن‌دونو 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 گرانیته گنایس مورد بررسی بن‌دونو در آن جای دارد در تاقدیس کوه سفید توتک رخنمون یافته و از هسته به سمت یال‌های تاقدیس دارای سه واحد سنگ‌شناسی زیر است:

-گرانیته گنایس بن‌دونو (واحد TCG) در بخش هسته‌ی تاقدیس

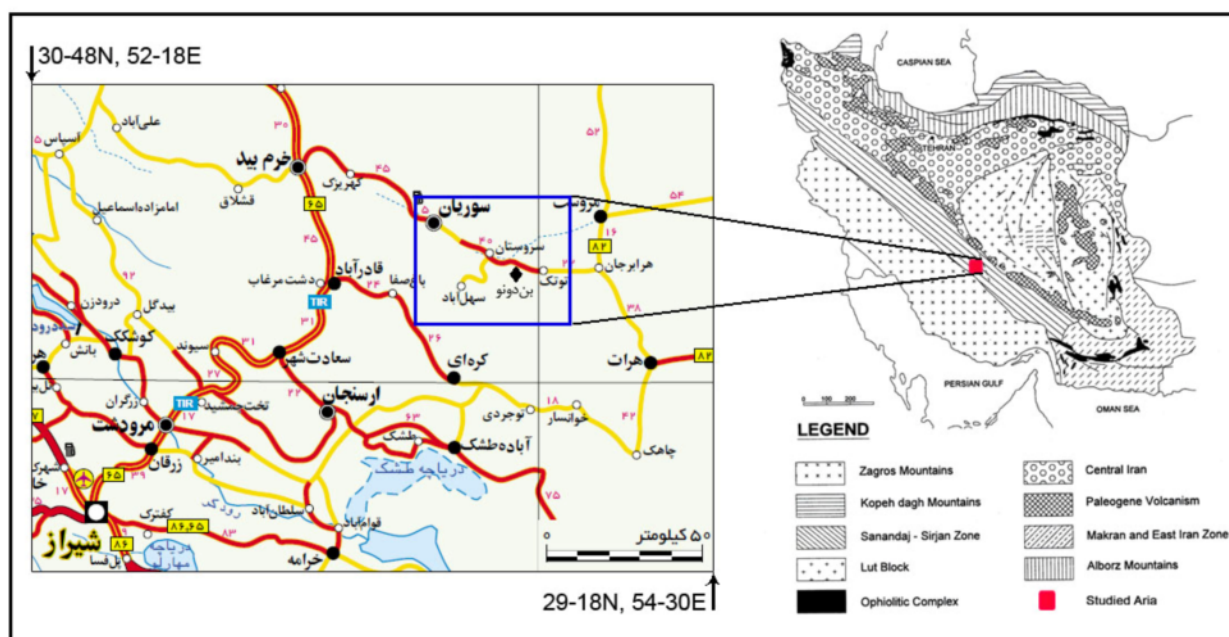
-لایه تناوبی (واحد A) متشکل از میکاشیست‌های سیاهرنگ هورنفلسی شده (بخش میزبان گرانیته گنایس بن‌دونو)، شیست آهکی، آمفیبولیت و شیست سبز.

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

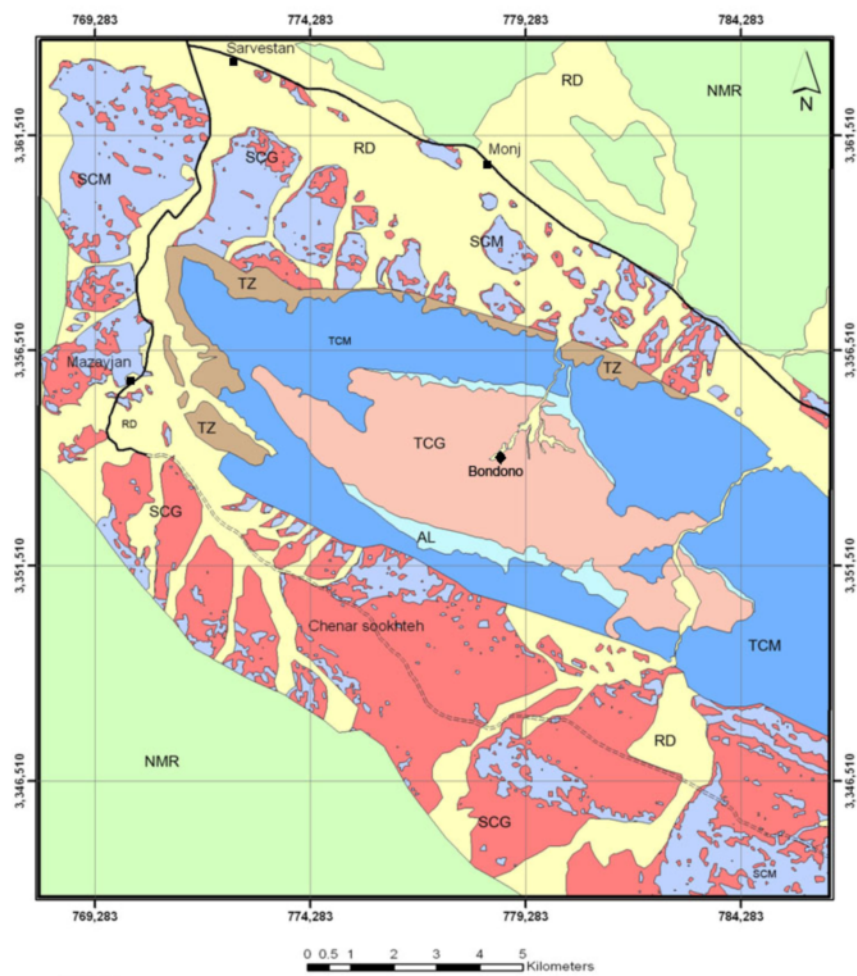
دگرگونی حرکتی، علاوه بر گرانیته‌ها، روی دیگر واحدهای سنگی منطقه از جمله میکاشیست‌ها نیز تأثیر گذارده به‌طوری که در برخی موارد میکاشیست‌ها دارای دو جهت برگوارگی شده‌اند [۵]. در بررسی‌های جاری، سعی شده‌است تا ضمن بررسی شرایط ژئوشیمیایی محیط تشکیل این گرانیته گنایس‌ها، نتایج آخرین بررسی بر روی آن‌ها که تعیین سن مطلق آن‌ها به روش اورانیوم - سرب بوده‌است ارائه شده تا بتواند راهگشای بررسی‌های بعدی باشد. همچنین با استفاده از نتایج حاصل از بررسی‌های رمضانی و تاکر [۷] در خصوص شرایط زمین‌گاهشماری و سنگ‌زایی گرانیته‌های ایران مرکزی، سعی شده‌است مقایسه‌ای بین این نتایج و برداشت‌های بررسی‌های جاری صورت پذیرد چراکه این بررسی مقایسه‌ای نشان می‌دهد که گرانیته گنایس بن‌دونو از نظر شرایط زمین‌گاهشماری، ژئوشیمی و محیط زمین‌شناسی تشکیل، به برخی توده‌های گرانیته‌ییدی ایران مرکزی شباهت دارد.

معرفی منطقه‌ی مورد بررسی

منطقه‌ی بن‌دونو به عنوان بخشی از شهرستان بوانات (به مرکزیت سوریان) در حقیقت جزیی از ایالت ساختاری سنندج - سیرجان جنوبی است که در حدفاصل ایالت‌های زاگرس و



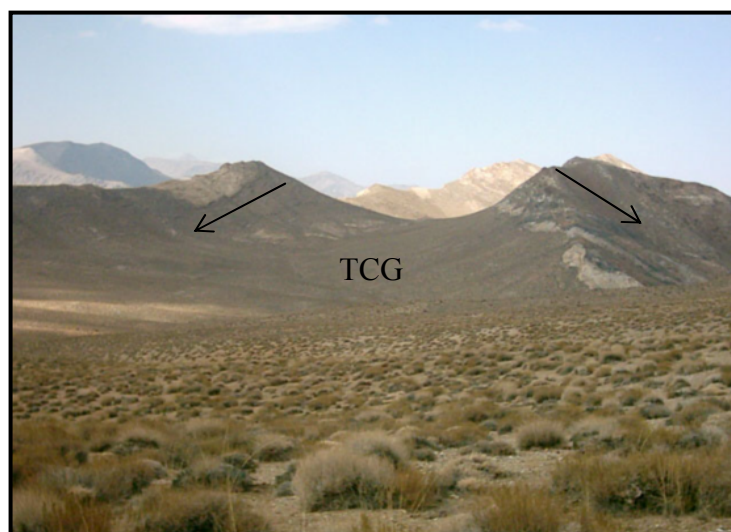
شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در نقشه‌ی ایالت‌های ساختاری ایران زمین [۸] و نقشه راه‌های دسترسی [۹].



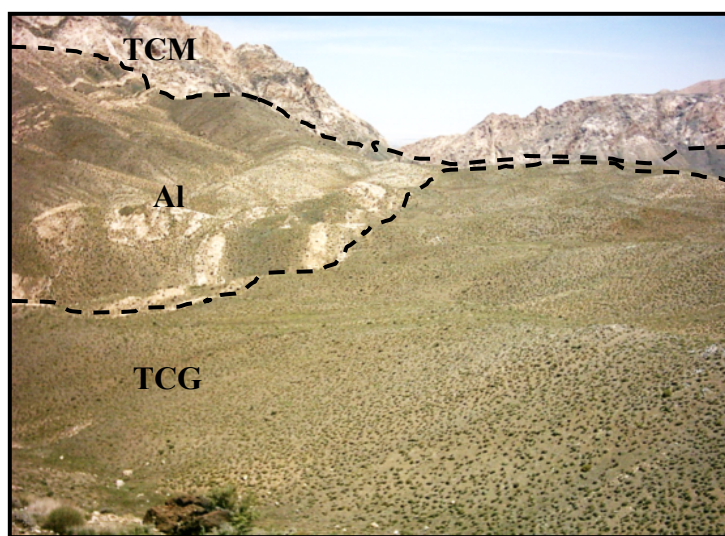
Legend

- | | | | |
|-----|--|-----|---|
| RD | Recent Deposits (Quaternary) | TCM | Tootak Complex Marble (Devonocarboniferous) |
| NMR | Non - Metamorphosed Rocks (Jurassic - Cretaceous) | AL | Alternation Layers of Calcschist, Amphibolite, Greenschist and Hornfelsic Micaschist (Silurian) |
| SCG | Surian Complex Greenschist (Carboniferous - Permian) | TCG | Tootak Complex Granitogneiss (Cambrian) |
| SCM | Surian Complex Micaschist (Carboniferous - Permian) | | |
| TZ | Transitional Zone Between Surian and Tootak Complexes | | |
| | Alternation Layers of Calcschist, Micaschist, Greenschist and Diamictite (Carboniferous) | | |

شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده منطقه‌ی مورد بررسی بر اساس [۵، ۱۰].



شکل ۳ چگونگی رخنمون عمومی گرانیت گنایس‌های بن دونو (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 بن دو نو (TCG)، واحد لایه تناوبی (Al) شامل میکاشیست هورنفلسی شده، شیست آهکی، شیست سبز و آمفیبولیت، واحد مرمر ضخیم لایه (TCM).

گنایس بن دونو کامبرین زیرین تعیین شده است لازم است این سن مورد بازبینی قرار گیرد، زیرا پیشتر ثابت شده است [۵]، که گرانیت‌های بن دونو روی میکاشیست‌های سیاه‌رنگ میزبان 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 باتوجه به سن واحد مرمری کوه سفید توتک (TCM) که دنین تعیین شده است و صرفاً براساس همخوانی چینه‌شناسی، سن میکاشیست‌های یاد شده‌ی را سیلورین پیشنهاد کرده‌اند که براساس بررسی‌های جاری که سن گرانیت



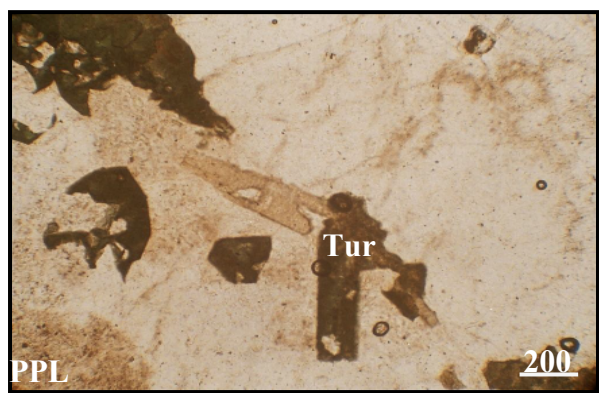
شکل ۵ ارتباط صحرایی میکاشیست‌های سیاه‌رنگ هورنفلسی شده (BSH) با گرانیت‌های بن‌دونو (TCG) و مرمرهای کوه سفید توتک (TCM) در منطقه‌ی اوشن پیری، تنگه‌ی بن‌دونو، دید به سمت شمال. توضیح آن‌که گرانیت‌های بن‌دونو روی میکاشیست‌های سیاه‌رنگ مجموعه توتک، اثر دگرگونی گرمایی داشته و آن‌ها را به میکاشیست هورنفلسی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



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



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

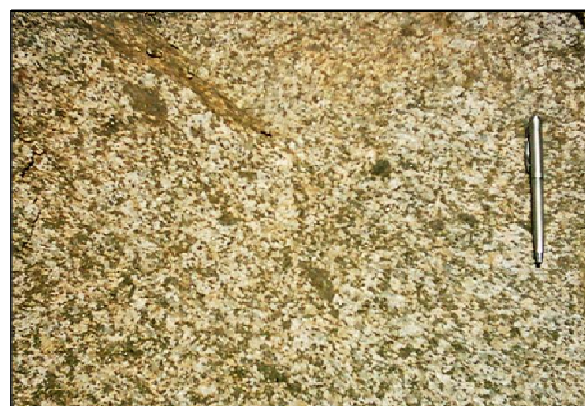


شکل ۹ بلورهای تورمالین (Tur) در گرانیت گنایس‌های بن‌دونو (منطقه چشمه نوچنار).

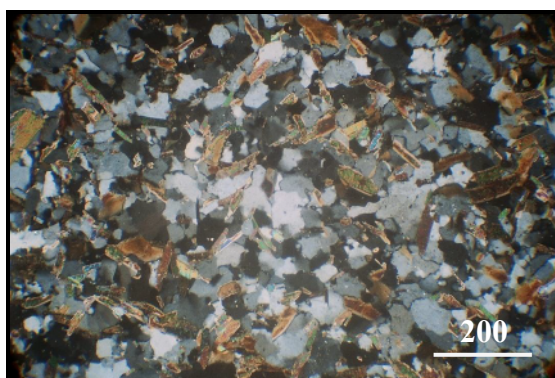
روی مرم‌های مجموعه‌ی توتک، دو واحد سنگ‌شناسی شپست سبز (SCG) و میکاشیست (SCM) مجموعه‌ی سوریان به سن کربونیفر - پرمین [۴] قرار گرفته است.

از نظر زمین ریخت‌شناسی، گرانیت گنایس‌های بن‌دونو عموماً تشکیل تپه ماهورهای کم ارتفاعی داده و فاقد فرسایش پرتگاهی (escarpment) هستند. رخنمون اصلی آن‌ها در منطقه‌ی هسته‌ی تاق‌دیس کوه سفید بوده (شکل ۳) و به سمت یال‌های واحدهای سنگی دیگری هم‌چون لایه‌ی تناوبی و مرم‌های کوه سفید ظاهر می‌شوند (شکل ۴).

در مقیاس نمونه دستی، کانی‌هایی چون کوارتز، فلدسپار، موسکویت و بیوتیت در گرانیت گنایس‌های بن‌دونو 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 یاد 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 به‌عنوان اثری از دگرگونی مجاورتی گرانیت بن‌دونو روی میکاشیست‌های سیاهرنگ میزبان تلقی شود (شکل ۱۰).



شکل ۶ گرانیت گنایس‌های بن‌دونو 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 آن‌که در این منطقه‌ی تماس، میکاشیست‌ها بافت هورنفلسی نشان می‌دهند که حاکی از اثر گرمایی گرانیت بن‌دونو بر روی آن‌ها است.

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 کانساران 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 نبوده‌است بنابراین برای بررسی‌های زمین گاهشماری، 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)

بلورهای زیرکون از کانی‌های دیگر جداسازی شد تا در نهایت حدود ۲۰ گرم زیرکون خالص جمع‌آوری شد. این مقدار زیرکون، به آزمایشگاه سال سنجی دانشگاه MIT آمریکا ارسال شده و توسط دکتر جهان‌دار رضانی مورد سال‌سنجی قرار گرفت که در ادامه نتایج دو بخش ژئوشیمی و زمین گاهشماری 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 مقایسه‌ی گرانیت گنایس‌های 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).

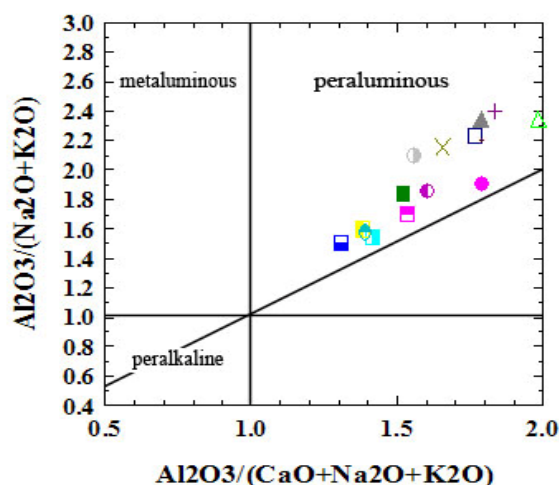
برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعاتی از نمودار ایروین و باراگار [۱۲] استفاده شد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) بر این اساس ملاحظه می‌شود که گرانیت گنایس‌های بن‌دونو در گستره‌ی نیمه قلیایی و سری آهکی-قلیایی قرار گرفته‌اند که از این منظر به گرانیت‌های ایران مرکزی شباهت دارند.

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].

جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی به روش‌های ICP-MS و XRF

Sample	TS-83-8	TS-83-10	83-6-GM-6	OP-83-4	NSM-33	OP-83-3	GS-83-10	GM-83-2	83-6-TS-2	4-83-OP-15	NSM-35	JR95-G55	JR94-G7	JR94-G8	JR95-G38
															
SiO ₂	۷۴.۵	۷۳.۹	۷۲.۰	۷۲.۷	۷۵.۲	۷۲.۹	۷۷.۸	۷۴.۳	۷۶.۷	۷۷.۷	۷۴.۵	۷۶.۳	۷۱.۷	۷۵.۴	۷۷.۷
TiO ₂	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۲	۰.۴	۰.۱	۰.۲	۰.۴	۰.۲	۰.۳	۰.۱	۰.۲
Al ₂ O ₃	۱۳.۵	۱۳.۴	۱۱.۹	۱۳.۷	۱۱.۹	۱۳.۸	۱۲.۸	۱۴.۱	۱۲.۳	۱۱.۶	۱۱.۸	۱۲.۶	۱۳.۲	۱۲.۶	۱۲.۲
Fe ₂ O ₃	۳.۱	۳.۵	۳.۴	۳.۸	۳.۲	۳.۹	۱.۸	۳.۱	۱	۱.۹	۳.۴	۱.۵	۱.۲	۱.۲	۰.۷
MnO	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳
MgO	۰.۶۸	۰.۸	۰.۹۹	۱.۰	۱.۱	۰.۱	۰.۲	۰.۸	۰.۳	۰.۴	۰.۹	۰.۳	۰.۵	۰.۱	۰.۳
CaO	۱.۴	۱.۶	۱.۳	۱.۸	۱.۷	۱.۸	۰.۴	۱.۱	۰.۷	۰.۷	۱.۹	۱.۱	۱.۳	۱.۳	۱.۰
Na ₂ O	۲.۵	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۶	۲.۲	۲.۴	۲.۸	۳.۶	۲.۸	۲.۶	۳.۵	۳.۸	۳.۶	۵.۳
K ₂ O	۳.۶	۳.۹	۴.۳	۳.۵	۲.۹	۴.۳	۴.۳	۳.۲	۴.۴	۴.۱	۳.۱	۴.۵	۴.۴	۴.۸	۱.۳
P ₂ O ₅	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱
LOI	۰.۲	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۲	۰.۴	۰.۳	۰.۳	۰.۴	۰.۲	۰.۴	۰.۷	۱.۲	۱.۵
Cr	۱	۴	۱	۸	۱	۱۲	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۶	۳	۶
Ni	۱۲	۲۴	۷	۱۷	۱۰	۸	۶	۱۹	۱	۱۲	۸	N.A.	۴	N.A.	۴
Co	۹	۳	۱	۵	۲	۶	۱	۵	۱	۱	۳	۲	۳	۱	N.A.
Sc	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۳	۶	۲	۱
V	۴۱	۴۳	۴۵	۴۸	۴۵	۵۰	۲۳	۳۷	۲۰	۲۸	۴۲	۱۰	۱۹	۹	۴
Zn	۳۸	۲۸	۲۴	۳۱	۲۹	۲۷	۲۵	۱۷	۲۷	۲۹	۲۸	۱۲	۱۴	۴	N.A.
Sn	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۵۳	۷۳	۳۳	N.A.
Rb	۹۹	۱۱۴	۱۲۲	۱۰۳	۱۵۲	۱۱۵	۸۴	۸۵	۴۷	۸۱	۱۳۷	۱۱۴	۱۵۲	۱۲۶	۳۵
Cs	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۱.۱	۲.۹	۰.۵	۲
Ba	۸۱۹	۷۰۷	۸۲۳	۶۴۶	۴۳۸	۷۸۰	۴۹۶	۶۷۰	۳۶۸	۳۹۱	۴۶۵	۶۴۸	۶۴۸	۶۵۸	۶۱
Sr	۱۱۸	۱۲۱	۳۷	۱۳۲	۵۷	۱۴۶	۴۴	۸۶	۷۸	۲	۵۹	۷۷	۱۰۳	۱۶۸	۲۵
Ga	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۱۳	۱۷	۱۲	۱۴
Ta	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۰.۹	۱.۳	۰.۹	۰.۹
Nb	۱	۷	۳	۸	۸	۶	۶	۷	۴	۱۳	۹	۷.۶	۱۱.۵	۶.۳	۷.۲
Hf	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۴.۸	۸.۳	۲.۹	۷.۹
Zr	۱۳۰	۱۳۴	۱۳۱	۱۵۵	۱۴۱	۱۶۰	۱۰۷	۱۳۸	۱۱۸	۹۹	۱۴۷	۱۱۸	۲۲۶	۸۰	۱۷۲
Ti	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۹۴۷	۲۰.۴	۵۴۶	۹۹۲
Y	۲۳	۲۶	۲۵	۲۱	۲۳	۲۴	۲۲	۲۴	۲۸	۲۵	۲۷	۲۴	۳۹	۱۱	۲۹
Th	۱۲	۱۷	۱۷	۱۶	۱۶	۱۹	۳۴	۲۰	۴۰	۱۴	۹	۱۸.۴	۱۵.۴	۱۹.۳	۲۶.۹
U	۹	۵	۳	۱۰	۴	۶	۳	۱۲	۸	۶	۳	۳.۶	۳	۴.۶	۴.۶
La	۲۱	۵	۱۹	۱۴	۲۵	۶	۳	۳۲	۴	۲۶	۳۷	۳۴	۳۱.۹	۳۰.۹	۱.۹
Ce	۳۳	۱۳	۳۱	۳۵	۴۰	۱۵	۲۱	۸۸	۱۶	۵۳	۶۱	۶۲.۵	۷۱	۵۱.۷	۲.۹
Pr	۴.۳	N.A.	۴	N.A.	۴.۸	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۶.۸	۶.۷	۶.۳	۸.۱	۴.۶	۰.۳
Nd	۱۶	N.A.	۱۵	N.A.	۱۸	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۳۱	۲۵	۲۰.۵	۳۰.۱	۱۳.۲	۱.۱۵
Sm	۳.۴	۱	۳.۲	۱	۳.۶	۱	۱	۱	۱	۷.۴	۴.۶	۳.۹	۷.۲	۲.۲	۰.۵
Eu	۰.۴	۱	۰.۷	۱	۰.۸	۱	۱	۱	۱	۲.۴	۰.۹	۰.۵	۰.۹	۰.۴	۰.۱
Gd	۲.۵	۱	۳	۱	۳.۵	۱	۱	۱	۳	۸	۳.۳	۳.۹	۷.۶	۱.۶	۱.۴
Tb	۰.۵	N.A.	۰.۶	N.A.	۰.۷	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۱.۵	۰.۵	۰.۶	۱.۲	۰.۲	۰.۴
Dy	۳.۲	N.A.	۳.۸	N.A.	۴.۷	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۹.۴	۳	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Ho	۰.۵	N.A.	۰.۶	N.A.	۰.۸	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۱.۵	۰.۶	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Er	۱.۷	N.A.	۲	N.A.	۲.۵	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۴.۷	۱.۵	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Tm	۰.۳	N.A.	۰.۳	N.A.	۰.۴	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۰.۶	۰.۲	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Yb	۲	N.A.	۱.۸	N.A.	۲.۴	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۴	۱.۵	۳.۱	۵.۶	۱.۳	۵.۶
Lu	۰.۲	N.A.	۰.۲	N.A.	۰.۳	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۰.۵	۰.۲	۴	۰.۸	۰.۲	۰.۹
Eu/Eu*	۰.۱۴	N.A.	۰.۲۳	N.A.	۰.۲۳	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	۰.۳۱	۰.۲۳	۰.۱۳	۰.۱۲	۰.۲۱	۰.۱۱
Total	۱۰۰	۱۰۰.۱	۹۹.۹۱	۹۹.۵۲	۹۹.۸۲	۹۹.۷۲	۱۰۰.۴۲	۱۰۰.۲۲	۹۹.۵۱	۹۹.۹۱	۹۸.۹۲	۱۰۰.۵۱	۹۷.۲۲	۱۰۰.۴۲	۱۰۰.۳۳

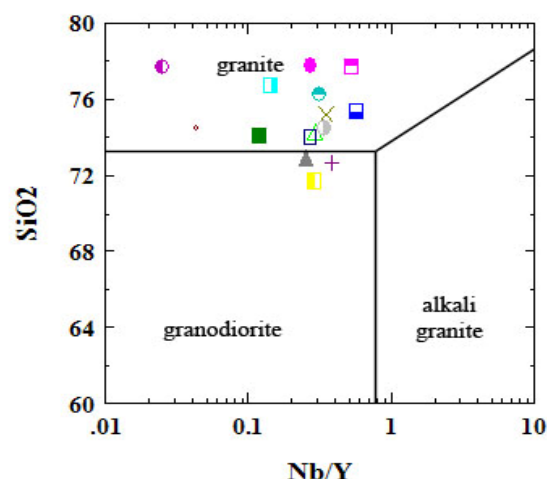
منبع: [۷]



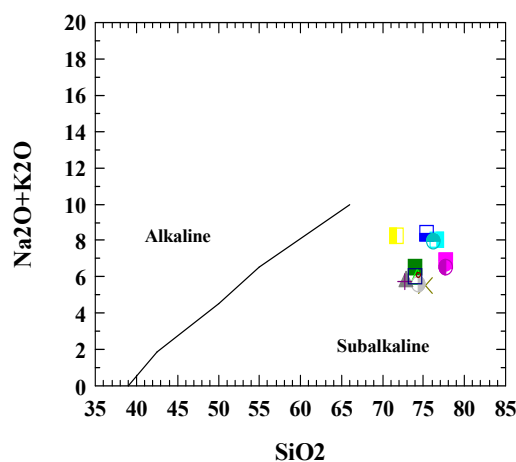
شکل ۱۴ جای‌گیری گرانیت گنایس‌های مورد بررسی در محدوده سنگ‌های پرآلومینوس [۱۴].

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 موضوع، از نمودارهای [۱۵، ۱۶] استفاده شد. به استناد این نمودارها یعنی شکل‌های ۱۵ و ۱۶، مشخص می‌شود که گنایس‌های مورد بررسی از نوع اورتوگنایس محسوب می‌شوند.

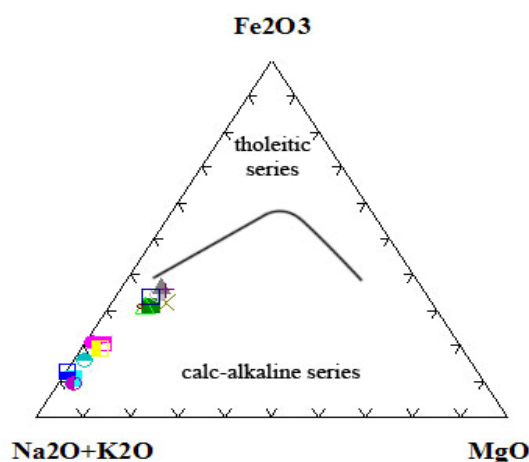
مسئله قابل بررسی دیگر در خصوص گرانیت گنایس‌های بن‌دونو و نیز گرانیت‌های مورد مقایسه با آن‌ها در ایران مرکزی، محیط زمین‌ساختی آن‌هاست. گرچه براساس ماهیت ژئوشیمیایی سری ماگمایی این سنگ‌ها که از نوع آهکی قلیایی بوده‌است، تشکیل این سنگ‌ها در یک حاشیه همگرا (Convergent margin) قابل پیش‌بینی است اما برای تأیید 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 آتشفشانی (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.



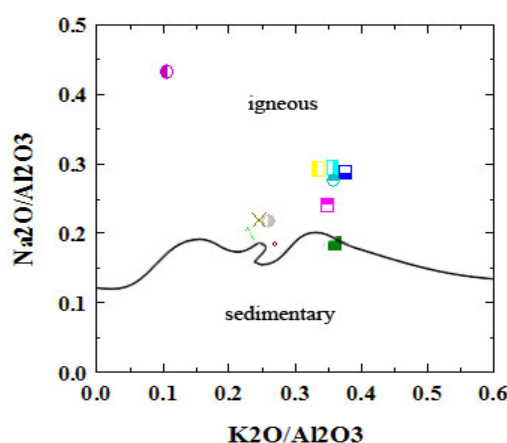
شکل ۱۱ موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در نمودار وینچستر و فلوید [۱۱].



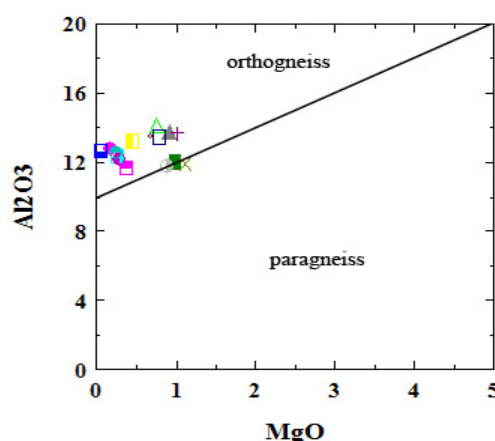
شکل ۱۲ چگونگی سنگ‌های مورد بررسی در نمودار ایروین و باراگار [۱۲].



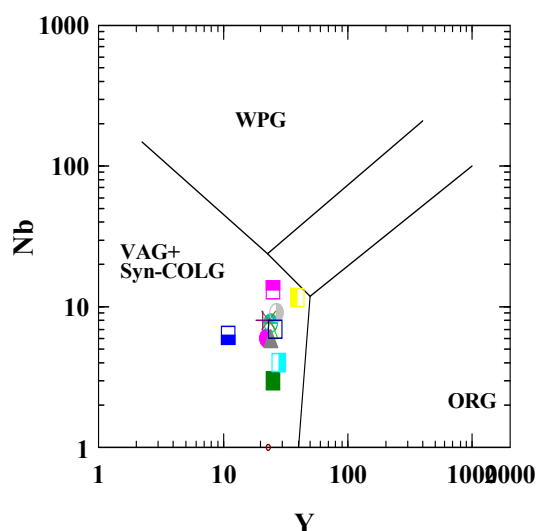
شکل ۱۳ موقعیت گرانیت‌های مورد بررسی در نمودار AFM بر اساس [۱۲].



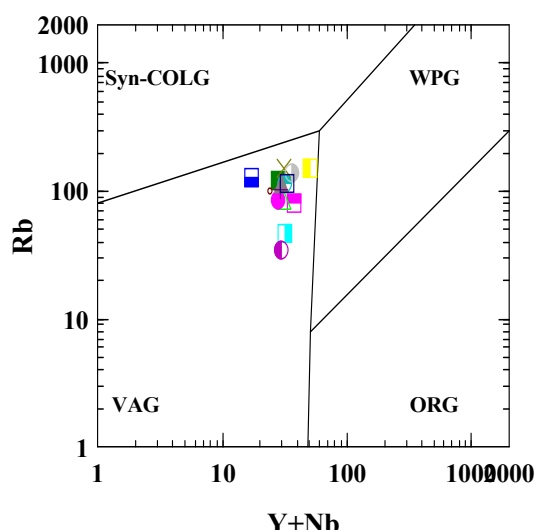
شکل ۱۶ جایگیری گرانیت گنایس‌های مورد بررسی در گستره‌ی گنایس‌های با خاستگاه آذرین، نمودار مینا از [۱۶].



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



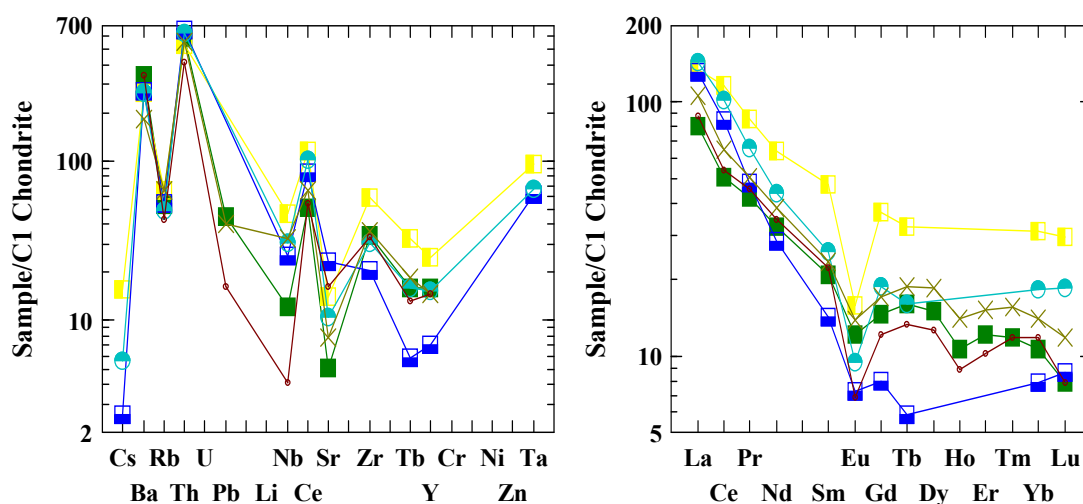
شکل‌های ۱۷ و ۱۸ قرارگیری سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی گرانیت‌های حواشی قاره‌ای فعال (VAG)، نمودار مینا از [۱۷].



بی‌هنجاری 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 بوده‌است.

هم چنین به اعتقاد ویلسون [۱۹] گرانیت‌های مرزهای قاره‌ای ناآرام از نظر عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LIL) هم چون Rb-K-La-Ce-Th دارای غنی‌شدگی هستند در حالی که از عناصر با شدت میدان شدید (HFSE) نظیر Ti-Nb-Y-Yb تهی‌شدگی 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 سبک (LREE) غنی‌شدگی و در عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) تهی‌شدگی نشان می‌دهند. این‌گونه الگوی فراوانی در عناصر نادر خاکی به همراه بی‌هنجاری منفی در عناصر Eu و Nb از ویژگی‌های ژئوشیمیایی حواشی فعال قاره‌هاست [۱۸]. هم‌چنین نسبت (Eu/Eu^*) محاسبه شده برای گرانیت گنایس بن‌دونو در گستره‌ی ۰/۳۲ – ۰/۱۴ و برای گرانیت‌های بررسی‌شده ایران مرکزی ۰/۲۱ – ۰/۱۱ بوده‌است 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 کندریت.

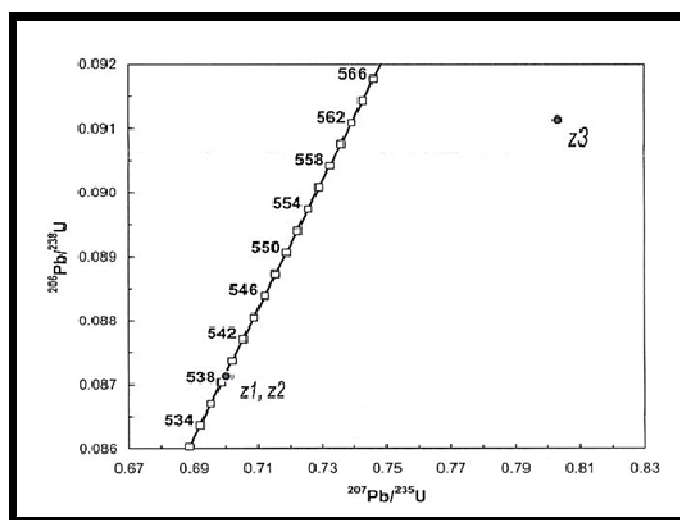
نمونه ناهم‌هنگ بوده و سن قدیمی‌تری را نشان می‌دهد و به احتمال زیاد نتیجه‌ی وراثت زیرکون از یک خاستگاه کهن‌تر است.

نتایج حاصل از بررسی‌های سال سنجی ایزوتوپی 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 گرانیتویدی ایران مرکزی بسیار نزدیک است و بایستی قبول کرد که این توده‌ها علاوه بر آن که از نظر سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و محیط تشکیل شباهت فراوانی دارند از نظر سن مطلق نیز هم‌ارز 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 سال‌سنجی 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 کنکوردیا (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 کنکوردیا برای یابی گرانیت گنایس‌های بن‌دونو به روش زیرکون - اورانیوم - سرب.

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

ردیف	206Pb/238U	207Pb/235U	سن (میلیون سال)
Z1	۰٫۰۸۷۱	۰٫۷۰۰	۵۳۸٫۴
Z2	۰٫۰۸۷۲	۰٫۷۰۲	۵۳۸٫۶
Z3	۰٫۰۹۱۲	۰٫۸۰۳	---

جدول ۳ مقایسه نتایج سال سنجی ایزوتوپی اورانیوم - سرب گرانیت‌های گنایس‌های بن دونو بوانات و گرانیت‌های ایران مرکزی

ردیف	نام نمونه	سن مطلق
۱	گرانیت گنایس بن دونو	۵۳۸٫۵Ma
۲	گرانودیوریت آریز ★	۵۳۲±۱Ma
۳	گرانیت گنایس بنه شورو *	۵۴۴±۷Ma
۴	لوکوگرانیت زیرگان (کوه پشته سرخ) •	۵۲۹±۱۶Ma
۵	لوکوگرانیت زیرگان (کوه زیرگان) •	۵۲۵±۷Ma
۶	لوکوگرانیت دوزخ دره •	۵۲۵٫۷±۱Ma

منبع: [۷]

برداشت‌ها

مهم‌ترین 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 جزئی از سنندج - سیرجان جنوبی محسوب می‌شود.

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

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

۴- همه‌ی این توده‌ها دارای ماهیت نیمه قلیایی از نوع آهکی قلیایی بوده و رفتار پراآلومینوس 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 ۵۳۸٫۵Ma تعیین شده است که به سن مطلق توده‌های گرانیتویدی ایران مرکزی در مناطقی هم چون آریز، بنه شورو، زیرگان و دوزخ دره بسیار

نزدیک 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.

۷- گرچه به استناد بررسی‌های جاری توده‌ی گرانیتی بن دونو شباهت‌های فراوانی با توده‌های گرانیتویدی 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.

قدردانی

شایسته است از همکاری بخش سال‌سنجی دانشگاه MIT آمریکا به ویژه همکاری صمیمانه دکتر جهاندار رضانی در خصوص تعیین سن مطلق سنگ‌های منطقه قدردانی شود. همچنین نویسندگان مقاله از نقطه نظرات ارزشمند داوران محترم سپاس‌گزاری 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., "Letude geologiques de la region de Neyriz (Zagros Iraniaen) et levolution structural deszagride", These Universite, Paris (1974) 300.

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 آتشفشانی", 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., اوهانیان م., سهندی م.ر., آزمون ف., "شرح زمین‌شناسی چهارگوش اقلید", سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۶۹).

[۵] نوری خانکهدانی ک., "بررسی ارتباط ژنتیکی و ساختمانی گنایس بن دونو با کمپلکس دگرگونی توتک", رساله‌ی دکتری پترولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۸۴).

[۶] نوری خانکهدانی ک., سبزه‌یی 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 توتک 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