

خاستگاه گنیسهای بن دونو خاور بوانات – استان فارس

نوشته: کمال نوری خانکهدانی* ، دکتر مسیب سبزه‌ئی**

و دکتر منصور وثوقی عابدینی***

Origin of Bon-Dono Gneisses- The East of Bavanat-Fars Province

By: K. Noori Khankahdani* , Dr. M. Sabzehei**

& Dr. M. Vosooghi Abedini***

چکیده

گنیسهای بن دو، در مرکز تاقدیس کوه سفید توتک در ۲۰۰ کیلومتری شمال خاوری شیراز رخنمون یافته است. مجموعه دگرگونی توتک، میزبان این گنیسها، بخشی از نوار دگرگونی سندج- سیرجان است. بررسیهای صحرایی نشان می‌دهد که: (۱) سن سنگهای منشأ این مجموعه دگرگونی، پالئوزویک زیرین تا بالایی بوده و شامل مجموعه‌ای از میکاشیست، آمفیبولیت، مرمر و شیست سبز است که حادثه دگرگونی ناحیه‌ای آن، پیش از ژوراسیک بالایی رخ داده است (۲) سپس مجموعه توتک مورد هجوم یک توده گرانیتی قرار گرفته و بسیاری از سنگهای حاشیه‌ای این توده تحت تأثیر دگرگونی همبری واقع شده‌اند (۳) این توده گرانیتی، بعدها در اثر عملکرد یک زون برشی بزرگ مقیاس به گنیس تبدیل شده است. در حقیقت گنیسهای بن دونو حاصل پدیده میلونیتی شدن توده گرانیتی است که سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای را نیز مورد تهاجم قرار داده است. شواهد صحرایی، سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی این گنیسها همگی نشانگر آن است که این سنگها نوعی ارتوگنیس یا گنیس با منشأ ماگمایی هستند.

کلید واژه‌ها: گنیس، بن دو نو، سندج- سیرجان، ارتوگنیس، میلونیتی شدن

Abstract

Bon-Dono Gneisses are exposed in the core of Tutak anticline, 200 km NE of Shiraz. Tutak metamorphic complex or the host rock of these gneisses is part of Sanandaj- Sirjan Metamorphic Belt. Field studies have shown that: (1) the age of protoplast of Tutak complex is Upper to Lower Paleozoic. It is comprised of various micaschists, amphibolites, marbles and greenschist. They are metamorphosed in a pre-Upper Jurassic metamorphic event. (2) Tutak complex had been invaded later by a granitic body. Previous regional metamorphic rocks had been subjected to a contact metamorphism resulted from this intrusive magma. (3) This granitic body had been subjected to mylonitization in a shear zone and converted to the so-called Bon-Dono Gneiss. Field, petrographic and geochemical studies all indicate magmatic nature of original protolith of so-called Bon-Dono gneisses.

Key Words: Gneiss, Bon-Dono, Sanandaj-Sirjan, Orthogneiss, Mylonitization

۱- مقدمه

منطقه مورد بحث ابتدا در چهارچوب تهیه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ توسط هوشمند زاده و سهیلی (۱۳۶۹) مطالعه شده است. همچنین نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان که توسط اویسی و همکاران (۱۳۸۲) تهیه گردیده، محدوده کوه سفید توتک را نیز دربرمی‌گیرد. با آنکه هر دو گروه مذکور، بر

تاقدیس کوه سفید توتک در بین طولهای خاوری ۴۵' - ۵۳" تا ۰۰' - ۵۴" و عرضهای شمالی ۱۴' - ۳۰" تا ۲۰' - ۳۰" قرار دارد (شکل ۱). سنگهای که به نام گنیس بن دونو شهرت یافته در بخش مرکزی این تاقدیس قرار گرفته است. طول این توده گنیسی در حدود ۱۳ کیلومتر با روند عمومی NW-SE بوده و عرض آن در راستای NE-SW حدود ۲/۵ کیلومتر است (شکل ۲).

مسائل سنگ‌شناسی، به مراتب از روشهای تک بعدی ژئوشیمیایی موجه‌تر است. در پژوهش حاضر بیشترین تلاش صرف تهیه یک نقشه زمین‌شناسی گویا از گنیسهای بن دونو در ارتباط با سنگهای دگرگونی و رسوبی اطراف آن شده است (شکل ۲) که در بخش بعدی، خلاصه‌ای از سنگ‌شناسی واحدها ارائه می‌شود. در مراحل بعد، مطالعاتی مانند بررسیهای سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی انجام گرفته که نتایج آن با دریافتهای صحرایی هماهنگ بوده و در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند.

۳-۴- کالبد زمین‌شناختی منطقه مورد مطالعه (شواهد صحرایی)

در منطقه مورد مطالعه مجموعه‌های سنگی زیر دیده شده است (شکل ۲):

۳-۱- مجموعه چند دگرگونی (پالئوزویک)

قدیمی‌ترین بخش این دگرگونیها را شیستها و هورنفلسهای تیره رنگ تشکیل می‌دهند (واحد BSH) که بر روی آن تناوبی از مرمر، شیست سبز و آمفیبولیت قرار دارد (واحد MGA) بخشی از واحد (BSH) که در تماس مستقیم با گنیسهای بن دونو قرار دارد به هورنفلس تبدیل شده و فاقد برگ‌وارگی است. بر روی واحد (MGA) مرمرهای ستبر لایه کوه سفید توتک (واحد Mb) قرار گرفته که در آن یک واحد کنگلومرای (کنگلومرای مرشدی (Alric & Virlogeux (1977) نیز دیده شده که به شدت میلوئیتی شده است (واحد MC) قطعات این کنگلومرا از گنیسها، آمفیبولیتها و میکاشیستهای تشکیل شده است که به هیچ وجه شباهتی به سنگهای دگرگونی منطقه ندارد و از یک منشأ ناشناخته سرچشمه می‌گیرد. در واحد (Mb) فسیلهای دونین بالایی-کرنیفر زیرین یافت شده است (نوری خانکهدانی، ۱۳۸۴). فیلیتها، میکاشیستها و شیستهای سبز، واحد (PS) یعنی جوان‌ترین عضو مجموعه چند دگرگونی را تشکیل می‌دهند. آثار میلوئیتی شدن در تمامی اعضای این پیکره چند دگرگونی مانند مرمرها، میکاشیستها و کنگلومراها (واحد MC) دیده می‌شود. آثار دگرگونی همبری و تبدیل شیستها به هورنفلس نیز در منطقه بلافاصل همبری این مجموعه با گنیسها دیده می‌شود (شکل ۴).

۳-۲- توده‌های نفوذی و معادل میلوئیتی شده آنها

گسترده‌ترین پیکره سنگی این مجموعه گنیسهای بن دونو (واحد G_n^B) است که در مرکز تاق‌دیس توتک با مقطع بیضوی کشیده (در امتداد NW-SE) قرار گرفته است. مطالعات صحرایی نشان داده است که: الف) گنیسها دارای یک برگ‌وارگی کلاسیک میلوئیتی هستند که دور درشت‌بلورهای سنگ اولیه می‌چرخند (شکل ۸) درشت‌بلورها عموماً

ارتوگنیس بودن توده گنیسی بن دونو اشاره داشته‌اند، ولی هیچ‌گاه دلایل قانع‌کننده‌ای برای خاستگاه این گنیسها ارائه نشده است.

مسئله خاستگاه رسوبی یا آذرین گنیسها از دیرباز مورد توجه سنگ‌شناسان بوده است. برخی از سنگ‌شناسان مانند (Werner (1987 به شیوه ژئوشیمیایی توسط جسته و بعضی از آنها مانند (Passchier & Trouw (1998) و (Passchier et al. (1990 مطالعه ساخت و بافت گنیسها را برای تعیین منشأ گنیسها بسیار با اهمیت دانسته‌اند. البته تلفیقی از این روشها هم در بعضی موارد به کار گرفته شده است. در این مقاله، از دو روش مذکور با تکیه بر شواهد صحرایی استفاده شده است.

۲- روش مطالعه

در پژوهشی که نتایج آن از نظر می‌گذرد، برنامه کار بر اساس پرسشهای زیر بنیان گذاری شده است:

۱- آیا رابطه توده گنیسی بن دونو با سنگهای میزبان یک رابطه نفوذی است و یا آن که گنیسها حاصل یک دگرگونی پیشرونده بوده و در زیرترین بخشهای یک مجموعه دگرگونی ناحیه‌ای قرار دارند.

۲- ساختهای بزرگ مقیاس، متوسط مقیاس و میکروسکوپی این گنیسها گویای چه واقعیاتی است؟

۳- تغییرات سنگ‌شناسی درون گنیسها از چه الگویی پیروی می‌کند و اگر مثلاً این گنیسها در اصل یک گرانیت بوده‌اند، آیا آثاری از تغییرات سنگ‌شناسی توده‌های گرانیتی به جا مانده است؟ و یا اگر گنیسها، منشأ رسوبی دارند از این تغییرات سنگ‌شناسی اثری دیده می‌شود؟

۴- اگر حادثه‌ای گنیسها را به وجود آورده، آیا این حادثه بر سنگهای دیگر نیز اثری برجای گذاشته است؟ اگر مثلاً توده گرانیتی در اثر میلوئیتی شدن تبدیل به گنیس شده، آیا این فاز میلوئیتی بر سنگهای میزبان توده گرانیتی نیز اثر کرده است؟

۵- طرح این پرسش که آیا میلوئیتی شدن بر هاله دگرگونی همبری ناشی از نفوذ ماگمای گرانیتی نیز اثر کرده، توجه معقولی دارد، لذا جستجوی تأثیر عامل گنیس‌زایی بر تمامی سنگهای منطقه، یکی از برنامه‌های این پژوهش بوده است.

در آغاز، تمامی تلاشها برای یافتن منشأ گنیسها بر روی مسائل صحرایی متمرکز گردیده و سعی شده است ابتدا سناریوی تحولات زمین‌شناختی منطقه معلوم گردد و جای واقعه گنیسی شدن سنگهای اولیه در این تحولات مشخص گردد، آنگاه از روشهای ژئوشیمیایی فقط برای تأیید یا رد نظریه استفاده شود. باور نگارندگان این است که این گونه رهیافت به

باید خاطر نشان ساخت که در مرحله دوم، یا تشکیل توده گرانیتی، پدیده‌های تفریق ماگمایی نیز اتفاق افتاده که تشکیل آپلیتها از بارزترین مظاهر آن است.

همچنین یکی از شواهد نفوذ شار گرمایی ماگمای گرانیتی به درون میکاشیستها آثار ذوب بخشی محدود در این سنگهاست (شکل ۷) که به صورت عدسیها و رگه‌هایی در میکاشیستها شکل گرفته و دور این عدسیها عموماً از بیوتیت غنی شده است.

۳-۳- مزوزویک نادگرگونی

بر روی مجموعه‌های آذرین و دگرگونی قبلی، ماسه‌سنگها و آهکهای ماسه‌ای ژوراسیک بالایی-کرتاسه زیرین (واحد JKL) قرار گرفته است. در قاعده این مجموعه‌های رسوبی، کنگلومرای دیده می‌شود که سرشار از قطعات مرمر، گنیس و آمفیبولیتهای کوه سفید توتک است که نشان از آن دارد که رویدادهای ذکر شده قبلی، اعم از دگرگونی ناحیه‌ای، نفوذ توده گرانیتی و گنیسی شدن این توده همراه با میلوئیتی شدن تمامی واحدهای سنگی کوه سفید توتک، پیش از ژوراسیک بالایی اتفاق افتاده است. زمان دقیق این حوادث هنوز نامعلوم است ولی به احتمال قوی، بخشی از آنها در رویدادهای کوهزایی هرسی نین و برخی دیگر در حادثه کوهزایی کیمیرین آغازین رخ داده است.

۴- شواهد سنگ نگاری

شواهد میکروسکوپی زیر دلایل سنگ شناسی حاکی از تأثیر دگرگونی حرکتی بر روی گرانیت‌های بن دونو و تبدیل آنها به گنیسهای این منطقه است:

- گنیسها عموماً دارای بافت پورفیرو کلاستیک با زمینه جریانیه هستند که نشان از یک حرکت خمیری (Ductile Flow) دارند، بافت‌های چشمی ساده و چشمی مرکب، تشکیل نوارهای غنی از کوارتز، تشکیل درشت بلورهای دلتایی و گرانیتی بودن درشت بلورها همگی نشان از آن دارد که پروتولیت این سنگها گرانیت بوده و در شرایطی میلوئیتی شده‌اند که کوارتز حرکت خمیری پیدا کرده ولی هنوز فلدسپارها ترد و شکننده بوده‌اند (شکل‌های ۹ و ۱۰). به عقیده Spear et al. (2002) چنین حرکتی، در دمایی بین ۳۰۰ الی ۴۰۰ درجه سانتی گراد رخ داده است. Barker (1991) نیز عقیده دارد که تشکیل درشت بلورهای دلتایی در دماهای نسبتاً پایین روی می‌دهد.

- تشکیل میکروکلین، و میکروکلین پرتیتی و میکروکلین میکروپرتیتی در این گنیسها به احتمال بسیار زیاد حاصل میلوئیتی شدن است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) چرا که به گفته Buttner (1999) در حین پدیده میلوئیتی شدن و

دارای بافت دانه‌ای بی‌شکل (Xenomorphic Granular) بوده و ظاهری کاملاً ماگمایی دارند.

علاوه بر آن نوارهای غنی از کوارتز که فضای بین آنها را نوارهای غنی از بیوتیت اشغال کرده و نتیجه نوعی جدایش مکانیکی حاصل از میلوئیتی شدن گرانیت‌های اولیه است، در متن سنگها دیده می‌شود.

ب) در بسیاری از برونزدها، درشت بلورهای بسیار بزرگ مقیاس از گرانیت‌های اولیه در گنیسها دیده می‌شود که بر روی نقشه زمین‌شناسی به عنوان یک واحد مستقل با علامت (G_r^B) تفکیک شده‌اند. برگ‌وارگی عمومی گنیسها، واحد (G_r^B) را دور می‌زند.

ج) همانند بسیاری از توده‌های گرانیتی، تمرکز آپلیتهای تورمالین دار و آپلیتهای گارنت دار (به ترتیب واحدهای A_p^L و A_p^S) در حاشیه توده گنیسی نزدیک هورنفلسها قرار دارد که امری طبیعی است زیرا فاز پنوماتولیتی توده‌های نفوذی در بیشتر موارد در سقف توده نفوذی تمرکز پیدا می‌یابد.

این واحدها، خود تحت تأثیر حادثه میلوئیتی شدن قرار گرفته‌اند. واحد (G_n^A) گنیسهای هستند که از میلوئیتی شدن آپلیتها به دست آمده‌اند.

د- وجود بیگانه سنگها در گنیسها (شکل ۵) و میلوئیتی شدن و کشیده شدن این بیگانه سنگها، در هماهنگی کامل با میلوئیتی شدن سنگهای درونگیر این بیگانه سنگها، نشان از آن دارد که گنیسها در اصل توده‌های نفوذی گرانیتی بوده‌اند که در مجموعه دگرگونی قبلی نفوذ کرده و قطعاتی از آنها را به صورت بیگانه سنگ در خود گرفته‌اند، سپس همگی تحت تأثیر میلوئیتی شدن واقع شده‌اند. این بیگانه سنگها عموماً میکاشیست و آمفیبولیتهای سنگهای میزبان توده گرانیتی هستند. بعضی از این بیگانه سنگهای بزرگ که به ندرت ماهیت کربناتی دارند، با علامت (CX) نشان داده شده‌اند.

ه) رابطه گنیسها با سنگهای میزبان یک رابطه کاملاً نفوذی است. در بسیاری از برونزدها، بازوهای از گرانیت‌های اولیه، درون میکاشیستها (واحد BSH) تزیق شده که رابطه نفوذی آن را کاملاً مشخص می‌سازد (شکل ۳) سطح تماس گرانیت اولیه با سنگهای دگرگونی مجموعه چند دگرگونی قبلی کاملاً نامنظم بوده و به طور مشخص، یک رابطه نفوذی را به نمایش می‌گذارد. آنچه در این رابطه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، میلوئیتی شدن این بازوها به همراه سنگهای دگرگونی همبری اطراف آنهاست که نشان می‌دهد سناریوی تحولات دارای چندین مرحله است که عبارتند از: ۱) تشکیل سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای، ۲) نفوذ توده گرانیتی و ایجاد دگرگونی همبری، ۳) میلوئیتی شدن گرانیتها و سنگهای دگرگونی همبری.

گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی (POG) قرار دارند. از آنجا که گرانیت‌های اولیه (سنگهای اولیه گنیسها) به یقین پس از دگرگونی ناحیه‌ای مجموعه دگرگونی توتک نفوذ کرده‌اند، می‌توان آنها را به نوعی گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی نامید و انطباق آنها در نمودار (Maniar & Piccoli (1989) با گرانیت‌های پس از کوهزایی (POG) را شاید بتوان یک انطباق منطقی به شمار آورد.

گرانیتوئیدها و گنیسهای بن دونو بر اساس نمودار شکل ۲۱ در گروه گرانیت‌های گونه I قرار می‌گیرد. این گرانیت‌ها عموماً بر اثر ذوب بخشی سنگهای بازی به دست می‌آیند. هنوز در این منطقه شواهد مستقیم دال بر پیدایش گرانیت از ذوب بخشی آمفیبولیت‌ها یا گابروهای قدیمی به دست نیامده است، لذا در حال حاضر، اظهار نظر در مورد سنگ منشأ و پدیده‌های تشکیل این گرانیتوئیدها امکان‌پذیر نبوده و از حدود این نوشتار نیز خارج است.

۶- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به اختصار به صورت زیر بیان نمود:

- ۱- گنیسهای بن دونو گرچه در هسته تاقدیس کوه سفید توتک قرار گرفته‌اند اما پیوند زایشی با دگرگونی ناحیه‌ای منطقه نداشته و نشانگر بالاترین درجه دگرگونی فزاینده ناحیه‌ای نیستند.
- ۲- سناریوی تحولات و رویدادهای دگرگونی در منطقه کوه سفید توتک به ترتیب از قدیمی‌ترین تا جدیدترین به شرح زیر است:
الف) اوج دگرگونی ناحیه‌ای که مجموعه دگرگونی کوه سفید توتک را به وجود آورده است در زمانی پس از کربنیفر و پیش از ژوراسیک پسین رخ داده است. احتمالاً این دگرگونی در فاز کوهزایی هرسی‌نین یا کیمیرین آغازین رخ داده است.
- ب) تزریق توده موزوگرنیتی درون سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای و ایجاد هاله دگرگونی همبری (هورنفلس)، متاسوماتیسم پتاسیمی و ذوب بخشی محدود سنگهای میزبان.

ج) میلوئیتی‌شدن تمامی مجموعه‌های دگرگونی قبلی به همراه توده گرانیتی بن دونو و ایجاد گنیس بن دونو بر اثر همین دگرگونی حرکتی.

۳- از دیدگاه ژئوشیمیایی، گنیسهای بن دونو منشأ ماگمایی داشته و جزو گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی به شمار می‌آیند.

با این تفاسیر، منشأ ماگمایی گنیسهای بن دونو بدیهی است و می‌توان آنها را ارتوگنیس نامید.

۴- شیوه‌ای که در این کار پژوهشی دنبال شده، نشان داد که برای حل مسائل سنگ‌شناسی، مهم‌ترین و با ارزش‌ترین شواهد، آنهایی هستند که از مطالعات صحرایی به دست می‌آیند. شواهد سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی

تبدیل گرانیت به گنیس، بیشتر فلدسپارهای قلیایی به میکروکلین تبدیل می‌شوند. (Barker(1991 نیز اعتقاد دارد که تنشهای برشی، عامل تبدیل ارتوکلاز به میکروکلین هستند. فراوانی میکروکلین در گنیسهای بن دونو و کمیابی آن در گرانیت‌های این منطقه، کاملاً با این موضوع سازگاری دارد.

• نوارهای کوارتز در گنیسهای بن دونو ستر و ناپیوسته بوده و از سیلان خمیری کوارتز حاصل شده است، در حالی که در گنیسهای حاصل از سنگهای رسوبی، این باندها نسبتاً کم ستیرا اما بسیار ممتد هستند.

• تأثیر پدیده‌های میلوئیتی بر دیگر واحدهای منطقه مانند واحدهای MC, BSH, MGA, Mb و PS هم در مقیاس صحرایی و هم در مقیاس میکروسکوپی دیده می‌شود (شکل ۱۴).

برای مثال، بسیاری از مرم‌های کوه سفید توتک بافت اولیه موزاییکی دارند اما بر اثر پدیده میلوئیتی‌شدن، بافت خرد شده و جهت یافته به خود گرفته‌اند (شکل ۱۳) در این سنگها نیز درشت‌بلورهایی از جنس همان قطعات مرم با بافت موزاییکی دیده می‌شود که کلسیت‌های جهت یافته آنها را دور می‌زنند.

• در بسیاری از آمفیبولیت‌های نزدیک گنیسها که در واحد (MGA) قرار دارند، بیوتیتی به خرج آمفیبول‌های اولیه به وجود آمده که به احتمال بسیار قوی به علت واکنش سیال‌های غنی از پتاسیم گرانیتی با آمفیبول‌های این سنگهاست (شکل ۱۵). در حقیقت وجود این پدیده، نشانی از نفوذ گرانیت در مجموعه دگرگونی قدیمی و وقوع پدیده متاسوماتیسم قلیایی خواهد بود.

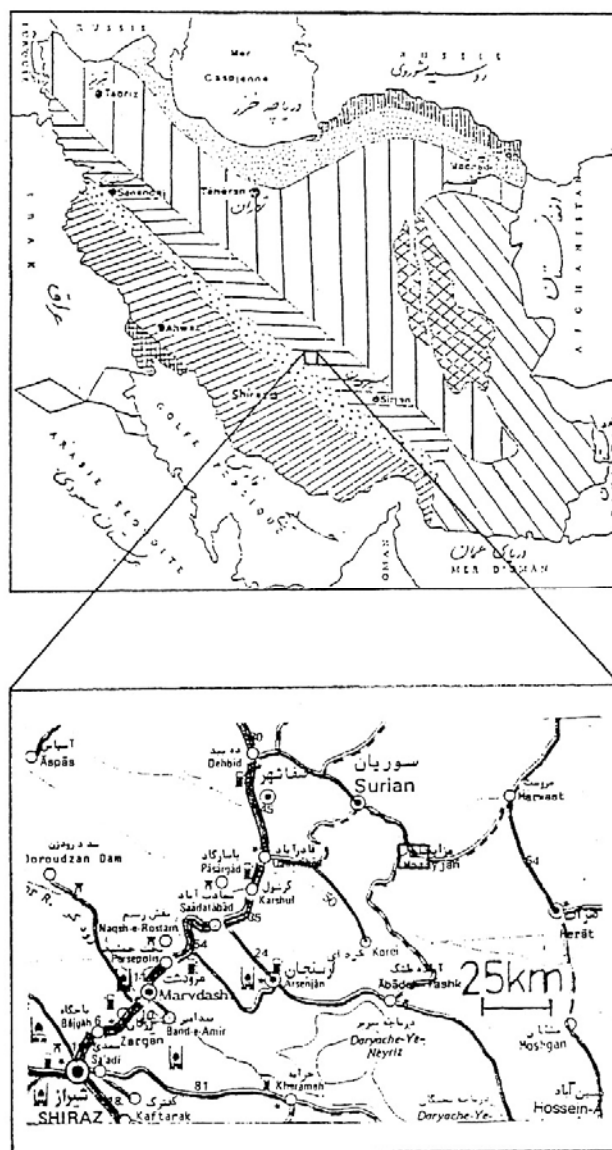
• تجزیه کانی شناختی مودال گرانیت‌ها و گنیسهای بن دونو نشان از آن دارد که این واحدهای سنگ‌شناسی ترکیب مودال کاملاً یکسانی دارند (جدولهای ۱ و ۲). همچنین در نمودار (Streckeisen(1976 هر دو محدوده موزوگرنیت تا اوایل سینوگرنیت را اشغال می‌کنند (شکل ۱۶).

۵- شواهد ژئوشیمیایی

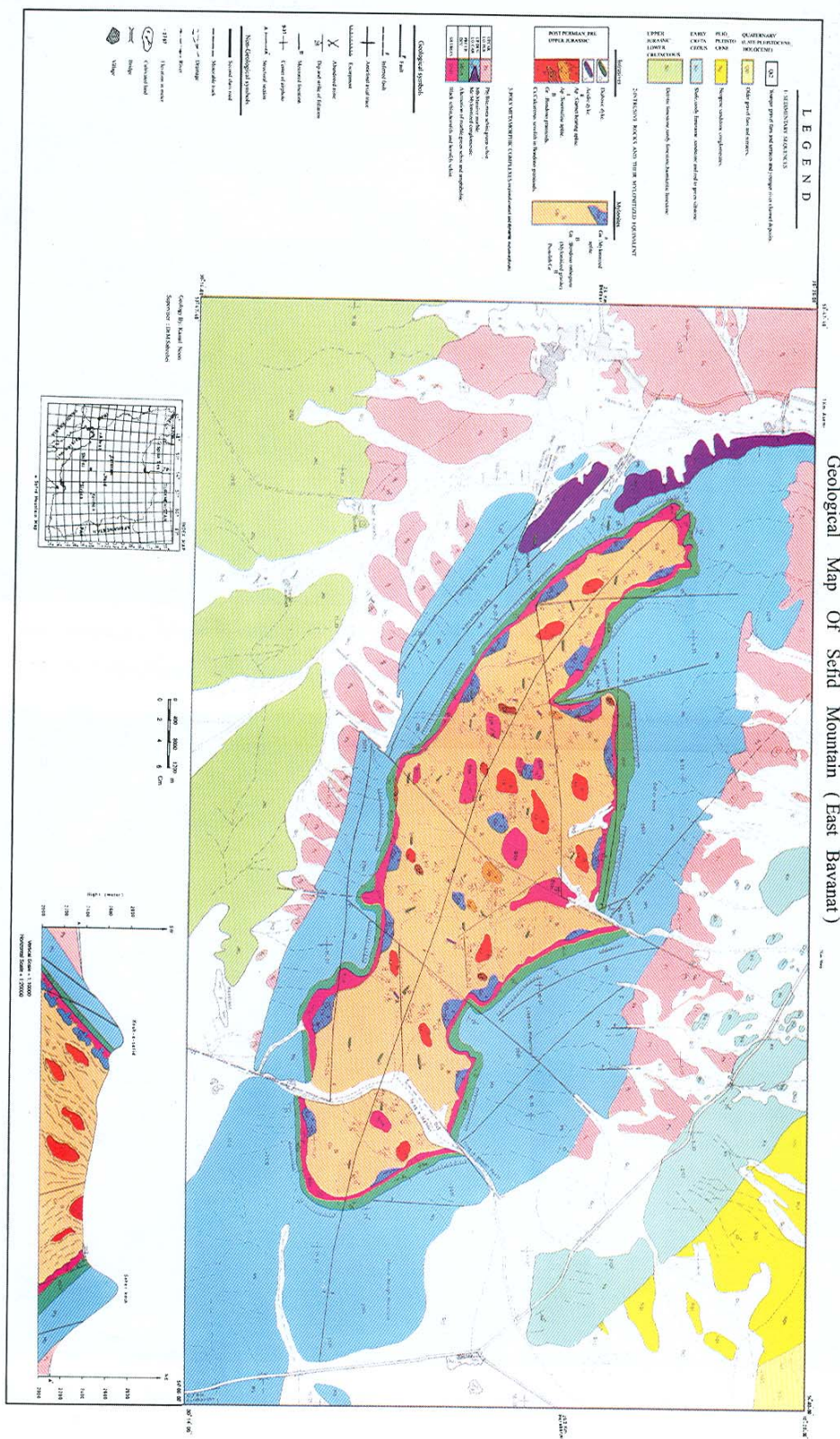
مرسوم‌ترین نموداری که برای تشخیص خاستگاه ماگمایی یا رسوبی گنیسها استفاده می‌شود، نمودار (Werner(1987 است. همان‌گونه که در شکل ۲۲ دیده می‌شود، همه نمونه‌های گرانیتی و گنیسی، در منطقه ماگمایی قرار می‌گیرند. لذا از دیدگاه ژئوشیمیایی نیز بدیهی است که گنیسهای بن دونو در اصل سنگهای ماگمایی بوده‌اند. این گرانیت‌ها عموماً در محدوده گرانیت کلسیمی - قلیایی (کالک آلکالن) (شکل‌های ۱۷ و ۱۸) و گرانیتوئیدهای پرآلمینوس قرار می‌گیرند (شکل ۱۹). در نمودارهای (Maniar & Piccoli (1989 یعنی شکل ۲۰، بیشتر نمونه‌ها در محدوده

معلوم شد که یک گرانیت پس از کوهزایی است و مطالعات ژئوشیمیایی نیز ثابت کرد که این گرانیتها همگی در حوزه گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی (POG) قرار می گیرند.

می توانند در تحکیم و تأیید شواهد صحرایی مؤثر افتند و به آنها معنا و مفهوم سنگزایی بدهند نه آنکه بتوانند به تنهایی شواهد ژئودینامیکی باشند. مثال بارز این اظهارنظر، منشأ گرانیتها است که با مطالعات صحرایی



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران (Stocklin, 1968) و راههای ارتباطی آن (نقشه راهها- سحاب)



شکل ۲- نقشه زمین شناسی کوه سفید تونک خاور بوانات فارس



شکل ۳- منطقه همبری بین گرانیت گنیسهای بن دونو (AGn) و میکاشیستهای هورنفلسی شده سیاه رنگ سنگ دیواره (BSH). در این منطقه بازوهای گرانیتی، درون میکاشیستها تزریق شده و آنها را به هورنفلس تبدیل کرده است.



شکل ۴- دگرگونی همبری گرانیتهای بن دونو بر روی میکاشیستهای سیاه رنگ و تبدیل آنها به بیوتیت هورنفلس



شکل ۵- بیگانه سنگ میکاشیستی درون گرانیت‌های بن دونو



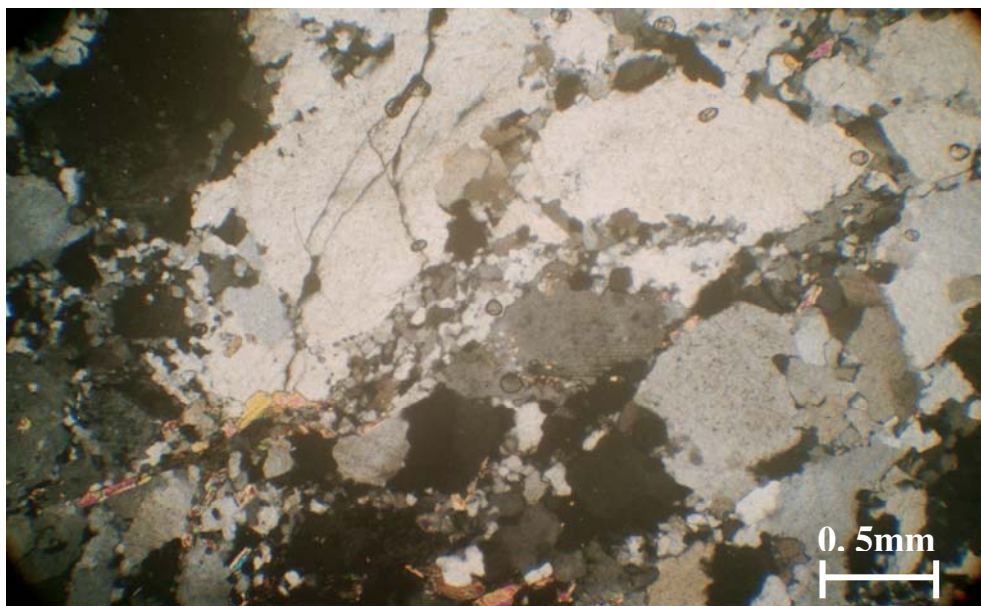
شکل ۶- هضم بیگانه سنگهای میکاشیستی درون گرانیت بن دو نو.
بیگانه بلورهای بیوتیت حاصل از میکاشیستها از بیوتیت‌های ماگمایی توسط دو ویژگی از هم متمایز می‌شوند:
(۱) بیگانه بلورها به صورت تجمع دیده می‌شوند. (۲) بیگانه بلورها ریز بلورتر هستند.



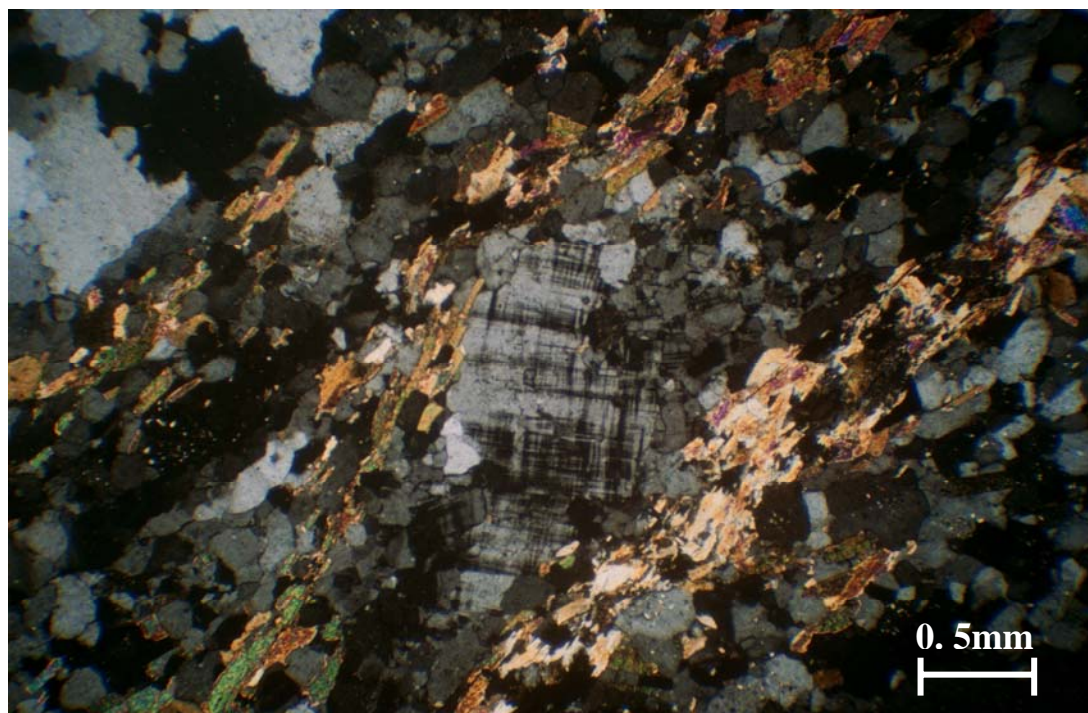
شکل ۷) آثار ذوب بخشی محدود در میکاشیستهای هورنفلسی شده منطقه تماس با گرانیت‌های بن دونو



شکل ۸- درشت بلورهای گرانیتی باقیمانده و حفظ شده درون گنیسهای بن دونو. نکات با اهمیت این تصویر در این موارد خلاصه می شود:
 (۱) ارتباط زایشی این قطعات گرانیتی با گنیسهای دربرگیرنده خود کاملاً مشخص بوده ترکیب کانی شناسی هر دو نیز دقیقاً مشابه است. (۲) وجود قطعات درشت بلور درون یک خمیره خرد شده و دارای فابریک جهت یافته شاخص بافت‌های میلونیتی است که مسلماً طی دگرگونیهای حرکتی ایجاد می شوند.
 (۳) درشت بلورها به صورت چشمی ساده و یا چشمی مرکب دیده می شوند. (۴) درشت بلورها در شکل بالا، دارای دنباله‌های کوتاه و گوه‌ای می باشند. بنابراین از نوع درشت بلورهای دلتایی بوده که در ابتدای میلونیتی شدن سنگها تشکیل می شوند.



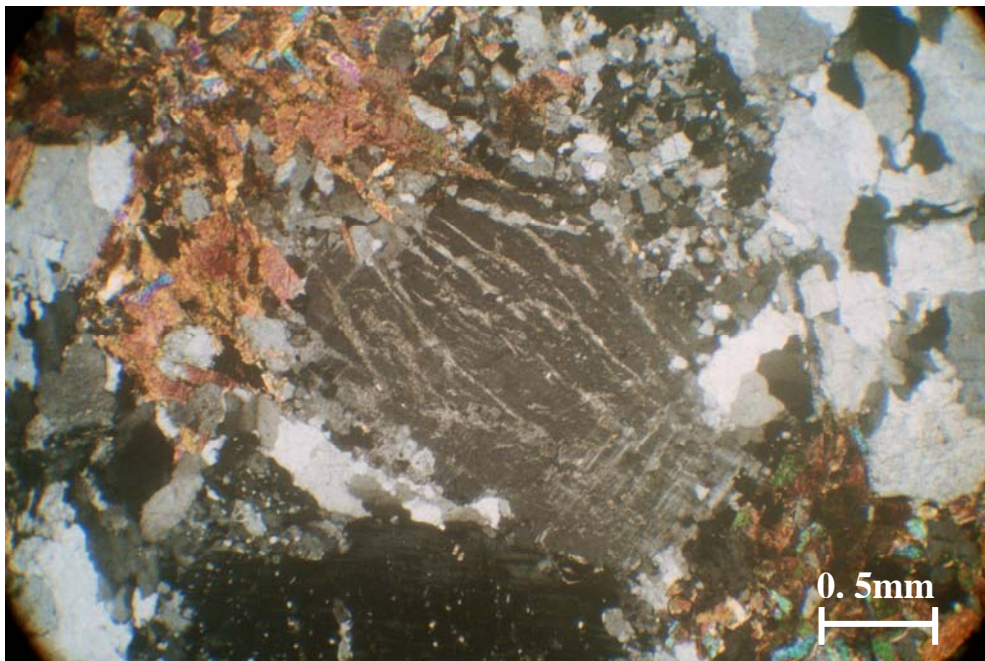
شکل ۹- مقطع میکروسکوپی گنیسهای بن دونو یا در حقیقت گرانیت‌های میلونیتی شده بن دونو (XPL). در این عکس، بلورهای خرد شده و جریان یافته کوارتز و میکا خمیره جهت یافته سنگ را می‌سازند که قطعات مقاوم‌تر و درشت‌تر یعنی درشت‌بلورهای فلدسپار پتاسیم را دربر گرفته‌اند. این ویژگی، مخصوص فابریک‌های میلونیتی است بنابراین نام گرانیت میلونیتی شده برای گنیسهای بن دونو مناسب خواهد بود.



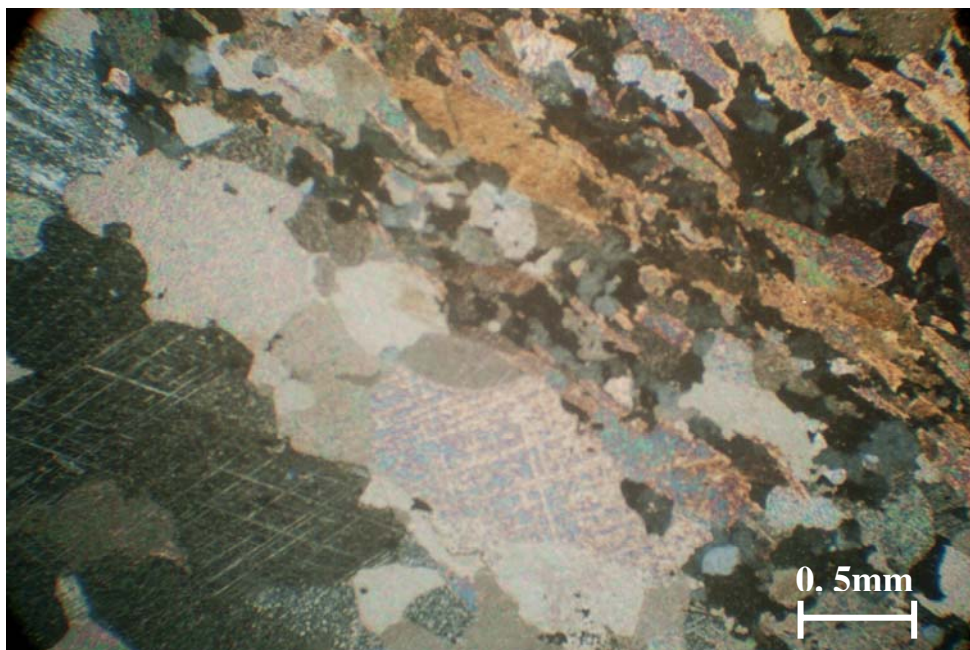
شکل ۱۰- قرارگیری درشت‌بلورهای میکروکلین در خمیره دارای خرد شدگی و جهت‌یافتگی از جنس کوارتز و میکا در گنیسهای بن دونو (XPL)



شکل ۱۱- درشت بلور میکروکلین با فابریک چشمی در گنیسهای منطقه (XPL)



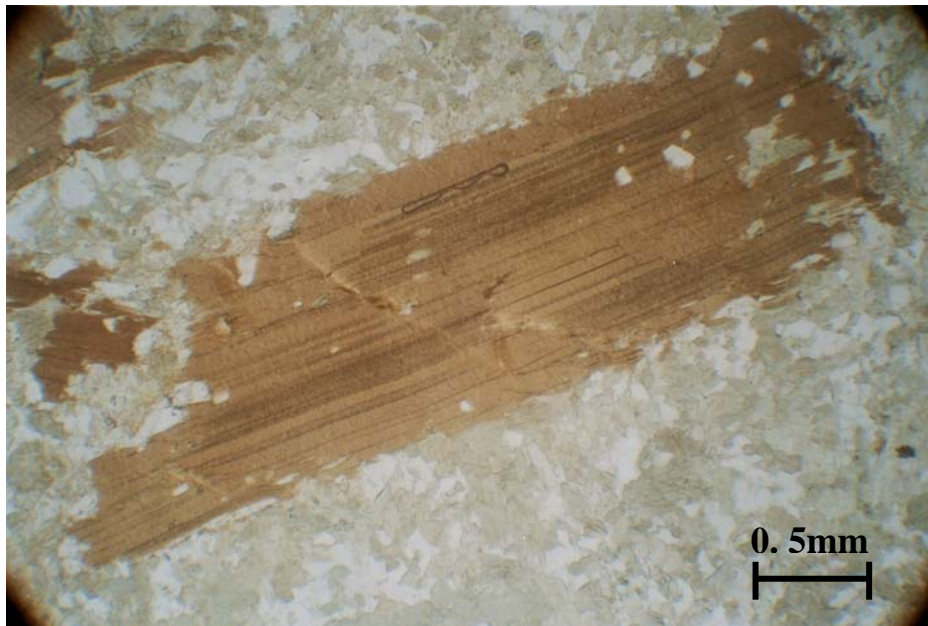
شکل ۱۲- درشت بلور فلدسپار پتاسیم میکروکلین میکروپرتیتی در گنیسهای بن دونو (XPL)



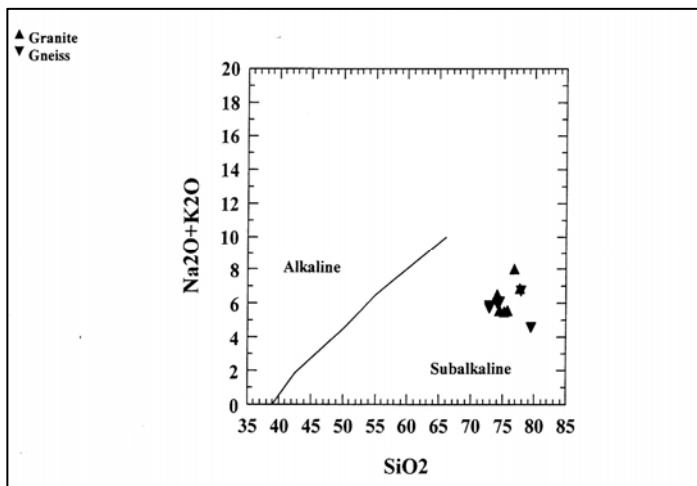
شکل ۱۳- مرمرهای میلونیتی شده منطقه کوه سفید توتک (XPL)



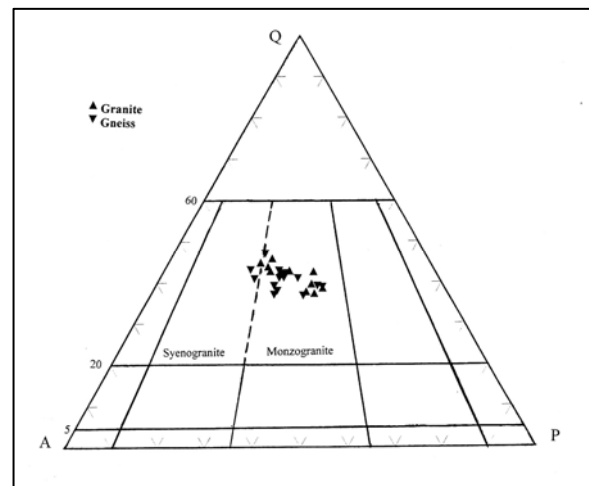
شکل ۱۴- رخنمون کنگلومرای میلونیتی شده مرشدی، فابریکهای چشمی و دوکی موجود در این سنگ حاصل عملکرد تنشهای برشی ناشی از دگرگونی حرکتی است.



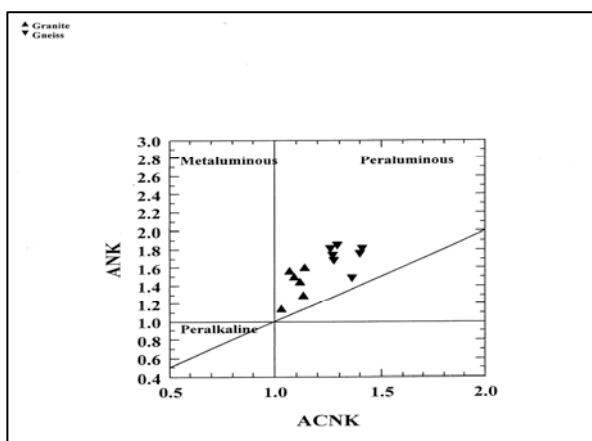
شکل ۱۵- تشکیل بیوتیت بر روی آمفیبولیتهای مجاور گرانیت گنیسهای بن دونو



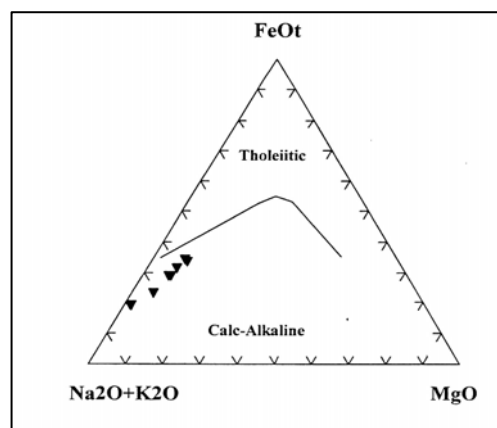
شکل ۱۷- نمودار (Irvine & Baragar, 1971) برای تفکیک سریهای ماگمایی برای گرانیتوئیدهای بن دونو



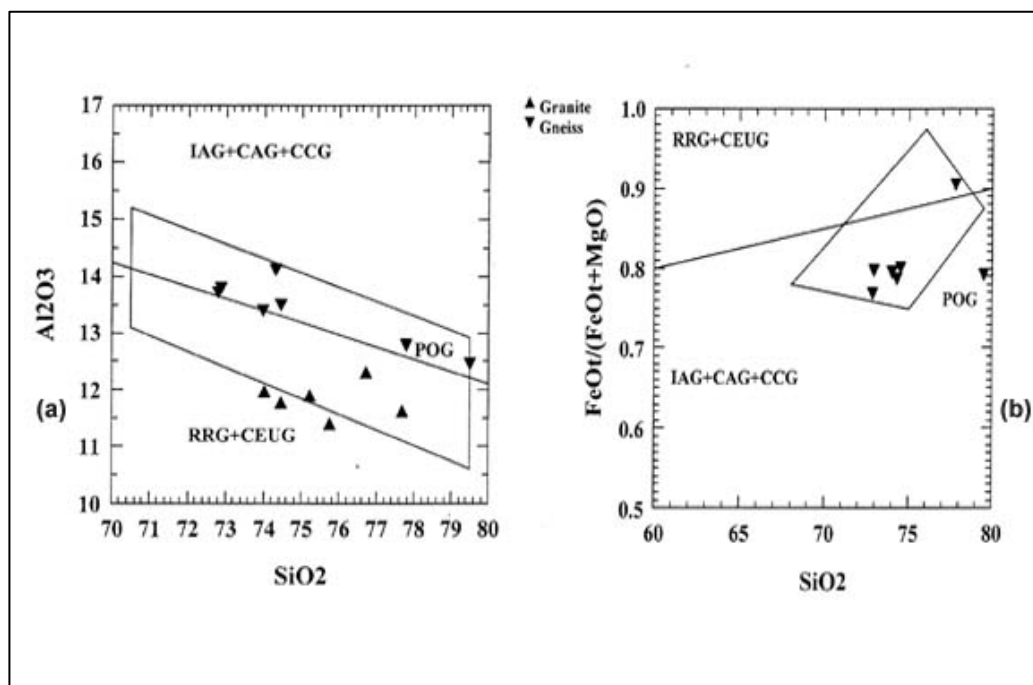
شکل ۱۶- نمودار (Streckeisen, 1989) برای مقایسه نتایج کانی شناسی مودال گرانیتها و گنیسهای بن دونو



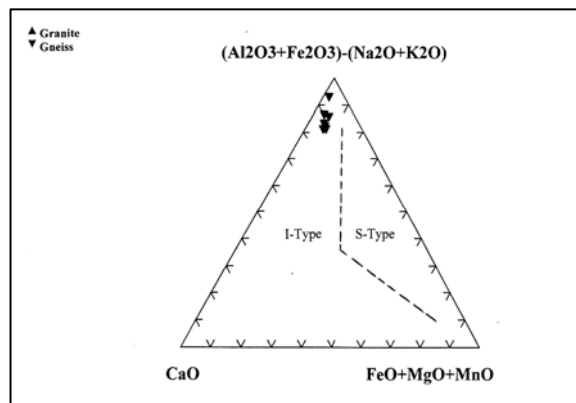
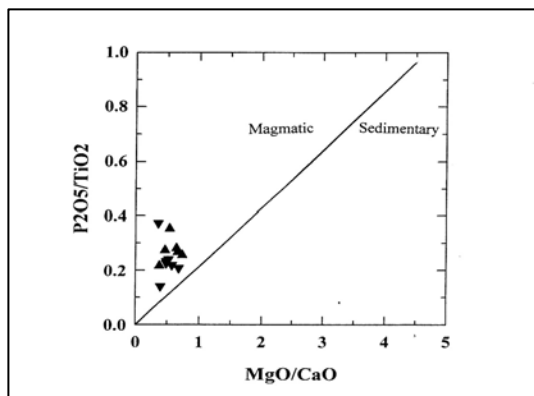
شکل ۱۹- نمودار (Maniar & Piccoli, 1989) برای رده بندی شیمیایی سنگهای گرانیتوئیدی منطقه



شکل ۱۸- نمودار AFM برای تفکیک سریهای ماگمایی برای گرانیتوئیدهای بن دونو



شکل ۲۰- نمودارهای (Maniar & Piccoli, 1989) برای تعیین محیط زمین ساختی گرانیتوئیدهای منطقه



شکل ۲۲- نمودار Werner (1987) برای شناسایی گرانیتها و گنیسهای ماگمایی از رسوبی بر اساس عناصر اصلی برای گرانیتوئیدهای منطقه بن دونو

شکل ۲۱- نمودار ACF برای تفکیک گرانیتهای تیپ I و S برای گرانیتوئیدهای منطقه بن دونو

جدول ۱ - تجزیه مودال گرانیتها ی بن دونو

Minerology Number	Qtz	Kf	Pl	Bt	Ms	Zr	Ru	Tn	Total
1/NSM-33	30	24	14	21	10	<1	-	-	100
2/NSM-31	30	23	17	22	6	<1	-	-	100
3/7-83-OP1	31	21	28	14	5	<1	-	-	100
4/NSM-35	33	27	17	17	4	<1	-	-	100
5/4-83-TS7	36	25	28	5	3	<1	2	-	100
6/7-83-CD1	35	21	26	14	3	<1	-	-	100
7/4-83-OP15	36	26	16	13	7	<1	-	-	100
8/6-83-GM3	35	25	21	13	2	<1	-	1	100
9/6-83-GM6	30	24	26	16	2	<1	1	-	100
10/83-6-TS2	38	30	16	9	4	<1	-	-	100
11/83-6-GS7	30	22	26	8	13	<1	-	-	100

Tn: اسفن Ru: روتیل Zr: زیرکن Ms: مسکوویت Bt: بیوتیت Pl: پلاژیوکلاز Kf: فلدسپار پتاسیم Qtz: کوارتز

جدول ۲- تجزیه مودال گنیسهای بن دونو

Minerology Number	Qtz	Or	Mic	Per	Pl	Bt	Ms	Op	Zr	Tn	Total
1/OP-83-3	29	18	3	4	25	15	4	1	1	-	100
2/GS-83-10	32	4	18	9	16	10	8	-	1	1	100
3/OP-83-4	31	4	11	14	20	13	5	-	1	1	100
4/TB-22	34	12	6	8	19	12	7	1	1	-	100
5/TS-83-10	31	3	12	6	27	13	3	1	1	1	100
6/TS-83-8	34	6	16	9	14	15	5	-	1	-	100
7/GM-83-2	31	11	4	10	20	17	6	-	1	-	100
8/NSM-32	30	21	5	4	21	11	5	-	1	-	100
9/NSM-37	33	12	8	4	23	12	4	-	1	1	100
10/NSM-47	35	19	3	4	14	16	7	1	1	-	100
11/4-83-OP6	31	3	12	5	28	15	3	-	1	2	100
12/NSM-20	34	13	12	3	21	10	3	-	1	-	100
13/NSM-27	32	7	5	12	20	16	5	-	1	2	100
14/4-83-OP-7	30	4	12	13	21	14	4	-	1	1	100

Qtz: کوارتز، Or: اورتوکلاز، Mic: میکروکلین، er: پرتیت، Pl: پلاژیوکلاز، Bt: بیوتیت، Ms: مسکوویت، Op: کانی تیره، Zr: زیرکن، Tn: اسفن

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی گرانیت‌های منطقه بن دونو (روش XRF)

RockName	Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Granite	83-6-GM-6	74.02	11.98	3.39	1.33	2.22	0.99	4.31	0.416	0.016	0.109
Granite	83-6-GS-7	75.73	11.42	2.85	1.59	2.67	1.02	2.96	0.412	0.018	0.118
Granite	NSM-33	75.19	11.90	3.16	1.66	2.61	1.12	2.91	0.414	0.016	0.113
Granite	83-6TS2	76.69	12.30	1	0.67	3.61	0.26	4.4	0.104	0.007	0.023
Granite	4-83 OP 15	77.68	11.64	1.86	0.7	2.80	0.38	4.06	0.182	0.009	0.065
Granite	NSM-33	74.45	11.79	3.38	1.92	2.56	0.89	3.07	0.396	0.021	0.111

Sample	L. O. I	Cl	S	Ba	Sr	Co	Cr	Cu	Nb	Ni
83-6-GM-6	0.76	184	12	823	37	1	1	6	3	7
83-6-GS-7	1.01	93	5	621	32	1	1	11	8	6
NSM-33	0.87	285	10	438	57	2	1	8	8	10
83-6-TS-2	0.48	49	5	368	78	1	1	9	4	12
4-83-OP-15	0.24	95	13	391	2	1	1	7	13	12
NSM-35	1.12	236	14	465	59	3	1	9	9	8

Sample	Pb	Rb	V	W	Y	Zr	Zn	Mo	U	Th
83-6-GM-6	111	122	45	<1	25	131	24	<1	3	17
83-6-GS-7	77	130	40	<1	20	137	32	<1	7	10
NSM-33	100	152	45	<1	23	141	29	<1	4	16
83-6 TS2	71	47	20	<1	28	118	27	<1	8	40
4-83 OP15	95	81	28	<1	25	99	29	<1	6	14
NSM35	105	137	42	<1	27	147	28	<1	3	9

جدول ۴- نتایج تجزیه شیمیایی گنیسهای منطقه بن دونو (روش XRF)

Rock Name	Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Gneiss	GM-83-2	74.29	14.11	3.07	1.11	2.79	0.75	3.22	0.356	0.025	0.073
Gneiss	GS-83-10	77.79	12.78	1.81	0.42	2.41	0.17	4.30	0.166	0.014	0.023
Gneiss	OP-83-3	72.88	13.78	3.94	1.84	22.33	0.90	3.65	0.447	0.024	0.103
Gneiss	OP-83-4	72.71	13.71	3.76	1.75	2.22	1.02	3.49	0.448	0.021	0.097
Gneiss	TB-22	79.51	12.45	1.64	1.08	3.43	0.39	1.15	0.178	0.010	0.066
Gneiss	TS-83-10	73.98	13.40	3.47	1.55	2.16	0.80	3.87	0.393	0.017	0.093
Gneiss	TS-83-8	74.46	13.48	3.06	1.41	2.48	0.68	3.64	0.352	0.017	0.078

Sample	L. O. I	Cl	S	Rb	Sr	V	W	Y	Zr	Zn	Mo
GM-83-2	0.03	150	13	85	86	37	<1	24	138	17	<1
GS-83-10	0.06	43	20	84	44	23	<1	22	107	25	<1
OP-83-3	0.07	299	16	115	146	50	14	24	160	27	<1
OP-83-4	0.05	271	12	103	132	48	<1	21	155	31	<1
TB-22	0.09	13	17	37	124	30	<1	16	78	24	3
TS-83-10	0.23	141	10	114	121	43	<1	26	134	28	<1
TS-83-8	0.13	124	11	99	118	41	<1	23	130	38	<1

Sample	Ba	Ce	Le	Co	Cr	Cu	Nb	Ni	Pb	U	Th
GM-83-2	670	88	32	5	1	13	7	19	6	12	20
GS-83-10	496	21	3	1	1	1	6	6	9	3	34
OP-83-3	780	15	6	6	12	1	6	8	14	6	19
OP-83-4	646	35	14	5	8	1	8	17	6	10	16
TB-22	194	10	4	7	1	1	4	2	10	5	6
TS-83-10	707	13	5	3	4	1	7	24	9	5	17
TS-83-8	819	34	20	9	1	1	1	12	2	9	12

کتابنگاری

- اویسی، ب.، ۱۳۸۲- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نوری خانکهدانی، ک.، ۱۳۸۴- بررسی ارتباط ژنتیکی و ساختمانی گنیسهای بن دونو با کمپلکس دگرگونی توتک شرق بوانات، رساله دکترای پترولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- هوشمندزاده، ع.، سهیلی، م.، ۱۳۶۹- شرح نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش اقلید. سازمان زمین شناسی کشور.

References

- Alric, G., Virlogeux, D., 1977- Petrographie et geochemie des roches metamorphiques et magmatiques de la region de Dehbid, Bavanat, chaine de Sanandaj-Sirjan, Iran. These 3 eme cycle, Universite Scientifique et Medicale De Grenoble, France 316 P.
- Barker, A., 1991- Introduction to metamorphic textures and microstructures, Blackie, New York.
- Buttner, S.H., 1999- The geometric evolution of structures in granite during continuous deformation from magmatic to solid state condition, American Mineralogist, V. 84, pp(1781-1792).
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971- A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian journal of earth Science, V.8, pp. 523-548.
- Maniar, P.D., Piccoli, P.M., 1989- Tectonic discrimination of granites, Geological Society of America BULLETIN, V. 101, pp. 635-643.
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 1998-, Microtectonics, Springer, New York.
- Passchier, C.W., Myers, J.S., Kroner, A., 1990- Field geology of high grade gneissic terrains. Springer, New York.
- Spear, F.S., Kohn, M.J., Chenery, J.T., Florence, F., 2002- Metamorphic, thermal and tectonic evolution of central New England. Journal of Petrology, V. 43, no. 11, pp 2097-2120.
- Streckeisen, A., 1976- To each plutonic rocks its proper name, earth sciences researchs. V-12 pp.1-33
- Werner, C.D., 1987- Saxonian granulite igneous or lithogenous a contribution to the geochemical diagnosis of the original rocks in high-grade metamorphic complex Zfl- Mitteilurgen, V. 133, pp. 221-250.

*گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

**پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

***دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

*Dept. of Geology, Islamic Azad University, Sciences and Research Unit of Tehran

**Research Institute of Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

***Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran