



## معرفی کانی‌های فرعی توده‌ی گرانیتی بن‌دونو، شرق بوانات (استان فارس)

میثم قدمی‌میمندی\*، کمال نوری خانکاهدانی و مهرداد کریمی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

\* عهده‌دار مکاتبات

ghadami1983@yahoo.com

### چکیده

گرانیت بن‌دونو در مرکز تاقدیس کوه سفید تونک و ۲۳۰ کیلومتری شمال خاوری شیراز رخنمون دارد. مجموعه‌ی دگرگونی تونک، بخشی از زون دگرگونی سنندج- سیرجان است. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که سن سنگ‌های منشأ این مجموعه‌ی دگرگونی، پالئوزوئیک زیرین تا بالایی بوده و شامل میکاشیست، آمفیبولیت، مرمر و شیست سبز می‌باشند. حادثه‌ی دگرگونی ناحیه‌ای، پیش از ژوراسیک بالایی رخ داده و سپس مجموعه‌ی تونک مورد هجوم یک توده‌ی گرانیتی قرار گرفته و سنگ‌های حاشیه‌ی این توده تحت تأثیر دگرگونی همبری واقع شده‌اند. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی حاکی از آنست که در توده گرانیتی مذکور کانی‌های فرعی متنوعی از قبیل گارنت، تورمالین، آمفیبول، زیرکن، اسفن، روتیل، آلانیت و آپاتیت وجود دارند. بر روی سه کانی گارنت، تورمالین و آمفیبول که قابل جداسازی بودند، تجزیه‌ی پراش اشعه‌ی ایکس انجام شد و مشخص گردید که گارنت توده‌ی گرانیتی از نوع اسپسارتین  $[Mn_3Al_2Si_3O_{12}]$ ، تورمالین از نوع شورل  $[Na(Fe, Mn)_3Al_6B_3Si_6O_{27}(OH, F)_4]$  و آمفیبول از نوع اکتینولیت  $[Ca_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2]$  و ریشتریت  $[Na_2Ca(Mg, Fe, Mn, Al)Si_8O_{22}(OH, F)_4]$  می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: زون سنندج- سیرجان، اسپسارتین، شورل، پراش اشعه‌ی ایکس

## Introduction of accessory minerals in Bon-do-no granite, East of Bavanat (Fars province)

M. Ghadami Meymandi\*, K. Noori Khankahdani & M. Karimi

Department of Geology, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, I. R. Iran

\*Correspondence Author

### Abstract

Bon-do-no granite located at 230 km Eastern north of Shiraz in the Center of Kuh-Sefid, anticline. Tutak metamorphic complex, is a part of Sanandaj-Sirjan matamorphic zone. Field studies shows that: 1- This metamorphic complex parent rock, have between lower to upper Paleozoic age and the metamorphism casualty accured before upper Jurassic and included by paragenesis of Micaschist, Amphibolite, Marble and Greenschist. 2-After this accurance Tutak complex intruded by granite intrusive and the contact metamorphic accured in a margin Rock of this intrusive mass. Field studies and labratuary research shows that this granitic intrusive mass have a various accessory minerals like Garnet, Tourmaline, Amphibole, Sphen, Zircon, Rutile, Allanite and Apatite. XRD Analysis test at a Garnet, Tourmaline and Amphibole, shows that type of Garnet is Spessartine  $(Mn_3Al_2Si_3O_{12})$ , Tourmaline is Schorl  $[Na(Fe, Mn)_3Al_6B_3Si_6O_{27}(OH, F)_4]$  and Amphibole is Actinolite  $[Ca_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2]$  and Richterite  $[Na_2Ca(Mg, Fe, Mn, Al)Si_8O_{22}(OH, F)_4]$ .

**Key words:** Sanandaj- Sirjan Zone, spessartine, Schorl, X ray diffraction.

## ۱- مقدمه

تعدادی از این کانی‌ها فقط در بررسی‌های میکروسکوپی قابل تشخیص هستند مانند، زیرکن، اسفن، روتیل، آلانیت و آپاتیت. تعدادی از کانی‌های فرعی علاوه بر بررسی‌های میکروسکوپی در مطالعات صحرایی نیز قابل تشخیص هستند، مانند گارنت، تورمالین و آمفیبول. که این کانی‌ها مورد تجزیه‌ی کانی‌شناسی (XRD) قرار گرفتند.

مجموعه‌ی دگرگونی توتک در کوه سفید، حد فاصل ۳۰ کیلومتری شرق شهرستان بوانات واقع بوده و مختصات جغرافیایی آن ۴۷° ۵۳' طول شرقی و ۱۵° ۳۰' عرض شمالی می‌باشد (تصویر ۱). یک توده‌ی گرانیتی بر روی این مجموعه که جزیی از زون سنندج-سیرجان است تأثیر گذاشته است. زون سنندج-سیرجان فعال‌ترین زون ساختاری ایران است که تا دوران سنوزوئیک به علت رخداد فازهای کوهزایی، فرآیندهای دگرگونی و ماگماتیسم زیادی به خود دیده است و توده‌های گرانیتی در تکامل ساختاری این زون نقش بسزایی داشته‌اند (درویش‌زاده ۱۳۷۰). طبق مطالعات نوری (۱۳۸۴)، توده‌ی گرانیتی بن‌دونو از تیپ ماگمایی (I) می‌باشد. دلیل آن را می‌توان به نبود کانی‌های سیلیکات آلومین (آندالوزیت، سیلیمانیت) و کانی‌های قلع (کاسیت) ذکر کرد (Ishihara 1998). توده‌های گرانیتی از لحاظ داشتن کانی‌های فرعی با اهمیت هستند، زیرا بررسی این کانی‌ها می‌تواند به شرایط تشکیل، منشأ، سن و نوع گرانیت‌ها کمک شایانی کند و در ضمن کانی‌های فرعی و عناصر همراه در توده‌های گرانیتی می‌توانند ارزش اقتصادی و صنعتی داشته باشند (نوری ۱۳۸۴).

## ۲- روش مطالعه

### ۳- معرفی کانی‌های فرعی توده‌ی گرانیتی بن‌دونو

#### ۳-۱- کانت $[(Mg, Fe, Mn, Ca)_3(Al, Fe, Cr)_2(SiO_4)_3]$

گارنت‌ها در حاشیه یا کنتاکت توده‌ی گرانیتی و وابسته به آپلیت‌ها می‌باشند که در بخش پیشانی تبلور (Crystallization front) تشکیل می‌شوند (Webber et al. 1999). طبق نظریه‌ی وبر، تبلور گارنت در مرز واحدهای گرانیتی و این خاطر است که در آلیس ماگمایی با سنگ‌های دیواره، مقداری آهن و منگنز (Mn, Fe) از این سنگ‌ها وارد مواد مذاب شده و شرایط تشکیل گارنت فراهم می‌گردد. گارنت به واسطه‌ی ترکیب خود به‌عنوان یک ژئوترموبارومتر (زمین‌دما- فشارسنج) خوب مطرح است (Zeming et al. 2000). به همین منظور می‌توان بلورهای سالم گارنت که فاقد شکستگی باشند را انتخاب کرد و با استفاده از دستگاه مایکروپروب مورد مطالعه قرار داد. گارنت‌های موجود در منطقه به‌صورت شکل‌دار و در حاشیه‌ی توده‌ی گرانیتی (آپلیت‌ها) و در تماس با میکاشیست‌های سیاه‌رنگ هورنفلسی مشاهده می‌شوند (تصاویر ۳ و ۲). تجزیه‌ی کانی‌شناسی (XRD) نشان می‌دهد که گارنت‌ها از نوع اسپسارترین  $(Mn_3Al_2Si_3O_{12})$ ، یعنی گرونا‌ی منگنزدار هستند (تصویر ۴).

برای شناسایی کانی‌های فرعی توده‌ی گرانیتی بن‌دونو، بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفت. در ابتدا از منطقه نمونه‌برداری و نقاط نمونه‌برداری با موقعیت‌یاب جغرافیایی (GPS) ثبت شد. سپس از نمونه‌ها مقطع نازک تهیه شد که منجر به شناسایی کانی‌های فرعی مانند گارنت، آمفیبول، اسفن، روتیل، آلانیت، زیرکن، تورمالین و آپاتیت شد.

#### ۳-۲- تورمالین $Na(Li Fe Mg Mn)_3Al_6$

#### $[(Si_6O_{18})(BO_3)_3(OH, F)_4]$

تورمالین یکی از کانی‌های شایان توجه در حاشیه‌ی توده‌ی گرانیتی و وابسته به آپلیت‌ها است که نشان‌دهنده‌ی تفریق ماگمایی از مرکز توده به سمت خارج آن است. فورد (Foord 1976) ثابت کرد هنگامی که در مذاب‌های ماگمایی، میزان بور (B) افزایش می‌یابد این جزء فرار می‌تواند آهن و منگنز (Mn و Fe) را از سنگ‌های دیواره جذب نموده و در نهایت بلورهای تورمالین را تشکیل دهد.

تورمالین‌های منطقه به‌صورت شکل‌دار و حتی توده‌ای در حاشیه‌ی آپلیت‌ها و به‌صورت دایک رخمون دارند (تصاویر ۵ و ۶). همچنین در بعضی از نقاط تورمالینیت مشاهده می‌شود. حضور تورمالین در حاشیه‌ی توده‌ی گرانیتی بن‌دونو حاکی از روند تفریق ماگمایی از



تصویر ۱- موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی در نقشه‌ی ایران زمین و راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مطالعاتی

مرحله‌ی پنوماتولیتی متحول شده و کانی‌های پنوماتوژن مانند تورمالین تشکیل می‌شوند (نوری ۱۳۸۴). تجزیه‌ی کانی‌شناسی (XRD) نشان می‌دهد که تورمالین‌ها از نوع شورل [  $\text{Na (Fe Mn)}_3 \text{Al}_6 \text{B}_3 \text{Si}_6 \text{O}_{27}$  ]  $(\text{OH, F})_4$  یعنی تورمالین آهن‌دار می‌باشند (تصویر ۷). با توجه به نتایج پتروگرافی، کانی‌های گارنت و تورمالین منطقه دارای نقاط امید بخش جهت اکتشافات مقدماتی هستند، زیرا آستانه‌ی اقتصادی گارنت ۱۰ درصد و تورمالین ۱۴ درصد می‌باشد (Jensen & Bateman 1981).

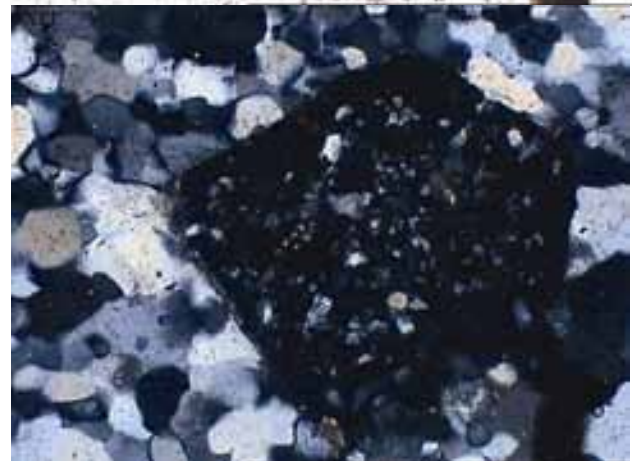
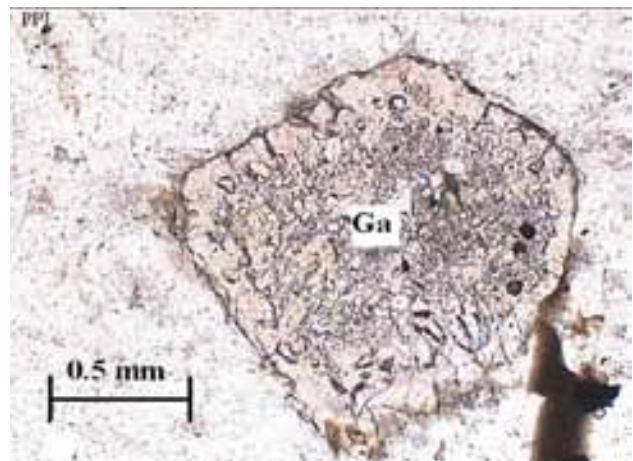


تصویر ۲- عکس صحرایی گارنت‌ها (لکه‌های قهوه‌ای) که در متن آپلیت تشکیل شده‌اند. تجمع بلورهای گارنت در این عکس به ۲۵ درصد می‌رسد.

### ۳-۳- آمفیبول $[(\text{Ca Na})_2(\text{Mg Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$

آمفیبول‌ها در سنگ‌های آذرین و دگرگونی به‌وفور یافت می‌شوند. در هر نوع سنگ آذرین خواه اسیدی یا قلیایی ممکن است دیده شوند، ولی در سنگ‌های آذرین پلوتونیک حد‌توسط فراوان‌ترند (Dana 1985).

آمفیبول‌ها به‌صورت نیمه‌شکل‌دار و در داخل آپلیت‌ها به‌عنوان بیگانه بلور تشکیل شده و در مناطقی دیده می‌شوند که ضخامت واحد میکاشیستی منطقه کم بوده و توده‌ی گرانیتی در تماس با واحد تجزیه‌ی کانی‌شناسی (XRD) نشان می‌دهد که آمفیبول‌ها از نوع اکتینولیت  $[\text{Ca}_2 (\text{Mg Fe})_5 \text{Si}_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2]$  و ریشتریت  $[\text{Na}_2 \text{Ca} (\text{Mg, Fe, Mn, Al}) \text{Si}_8 \text{O}_{22} (\text{OH, F})_4]$  هستند (تصویر ۱۰). آمفیبول نوع اکتینولیت، آهن‌دار و نوع ریشتریت منیزیم‌دار هستند که جانشینی آلومینیم و آهن  $(\text{Al, Fe}^{3+})$  در ترکیب شیمیایی باعث تغییر ضریب شکست و تیره شدن رنگ می‌شود (Deer et al 1999). آمفیبولیت قرار دارد (تصاویر ۹ و ۸).



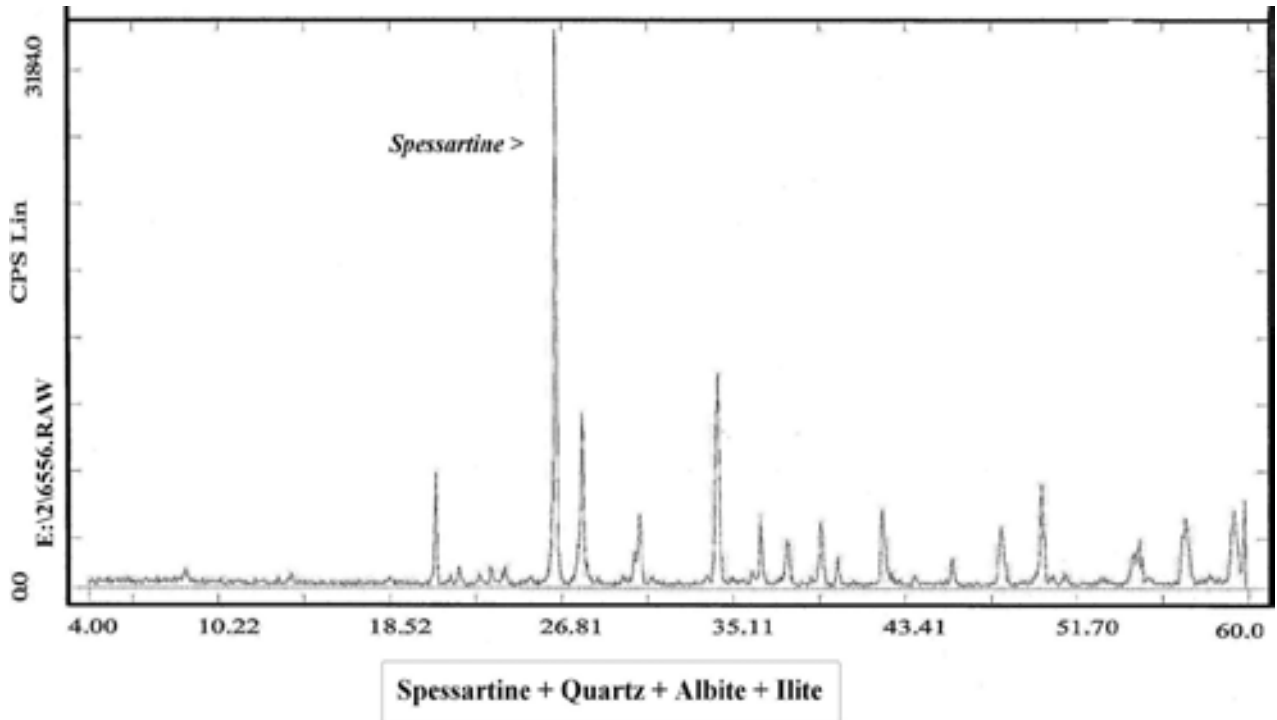
تصویر ۳- کانی گارنت (Garnet) در آپلیت بن‌دونو. اندازه‌ی بلورهای گارنت منطقه از ۱ میلی‌متر تا ۳ سانتی‌متر متغییر هستند و بیشتر به شکل پنج‌ضلعی و دایره دیده می‌شوند (نور طبیعی = PPL، نور پلاریزه = XPL).

### ۳-۴- زیرکن $[\text{ZrSiO}_4]$

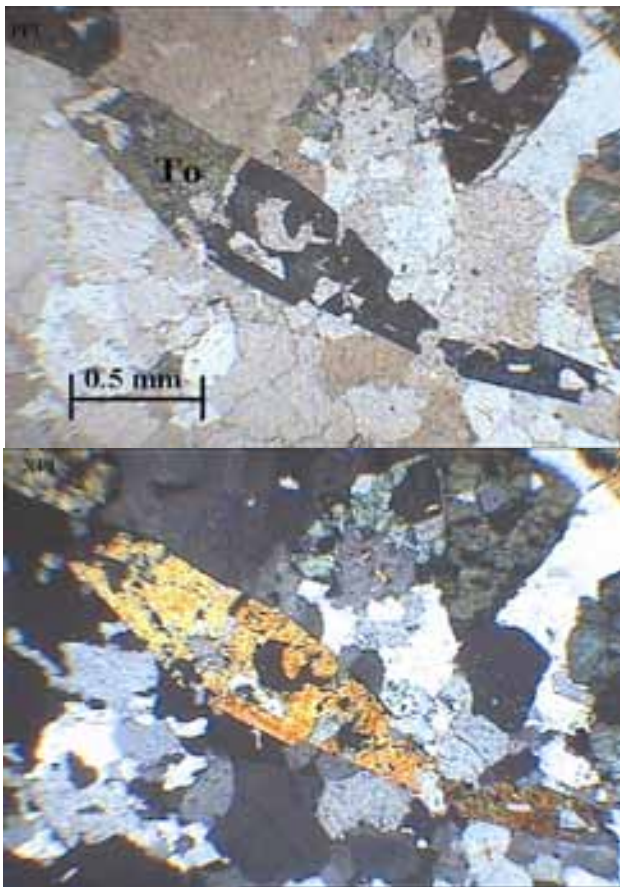
زیرکن مهمترین کانی فرعی سنگ‌های گرانیتی و آپلیت‌ها محسوب می‌شود. اکثراً به صورت ادخال درون بیوتیت‌ها دیده می‌شود، چون در مراحل اولیه‌ی تبلور به‌وجود می‌آید، اما نمونه‌های آزاد آن نیز یافت می‌شوند. بزرگی و شکل بلورهای زیرکن و مخصوصاً نسبت طول به عرض کانی ممکن است از هر حیث در سرتاسر یک توده‌ی گرانیتی مشابه باشد. تغییرات این نسبت در یک توده، نشان می‌دهد که مواد مذاب تشکیل‌دهنده‌ی آن یکسان نبوده است. در بعضی سنگ‌های آذرین به‌صورت بلورهای مدور دیده می‌شوند که احتمالاً مربوط به جذب حاشیه‌ی بلورهای کانی به‌وسیله‌ی مواد مذاب اولیه می‌باشد (Johan & Johan 2005).

مرکز توده به سمت خارج است. در طی این تفریق، میزان سیالات دارای آب، بور و فلورین افزایش یافته و مرتباً حرارت مذاب در حال کاهش می‌باشد، به‌طوری‌که ماگما از مرحله‌ی اورتوماگمایی به





تصویر ۴- تجزیه‌ی کانی‌شناسی (XRD) که مشخص‌کننده‌ی نوع گارنت‌های بن‌دونو (Spessartine) است. فازهای فرعی گزارش شده شامل کوارتز، آلپیت و ایلپیت می‌باشند

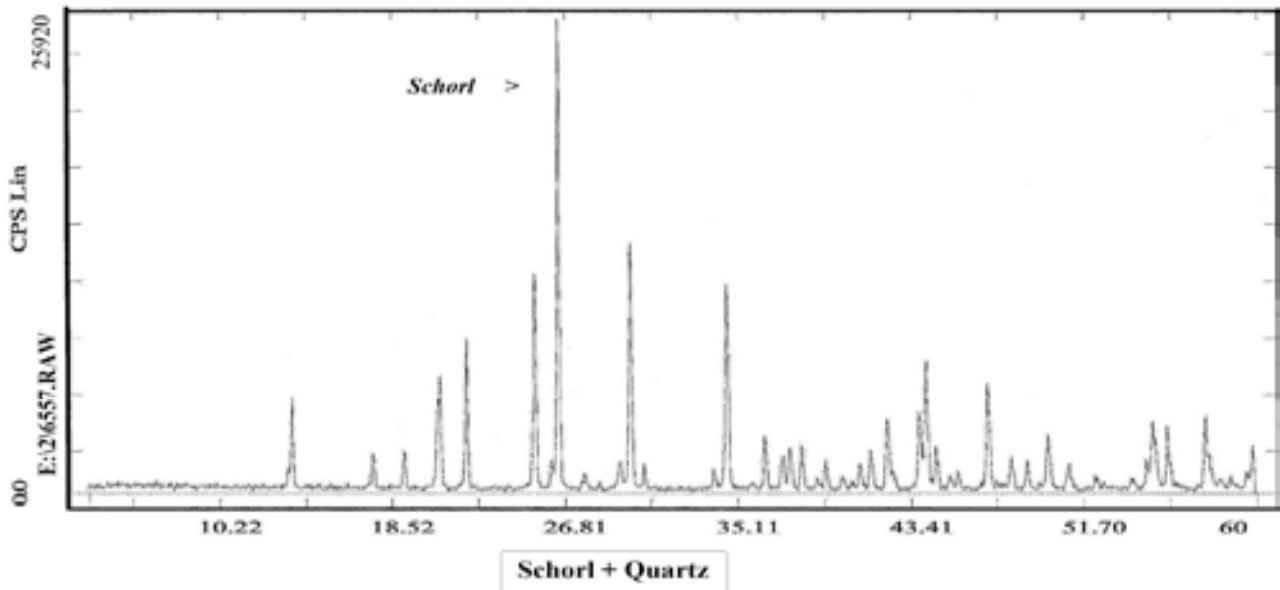


تصویر ۶- کانی تورمالین (Tourmaline) در آپلیت بن‌دونو. بلورهای تورمالین منطقه اغلب سوزنی شکل و اندازه‌ی آن‌ها بعضاً به چند سانتی‌متر می‌رسد. (نور طبیعی = PPL، نور پلاریزه = XPL)

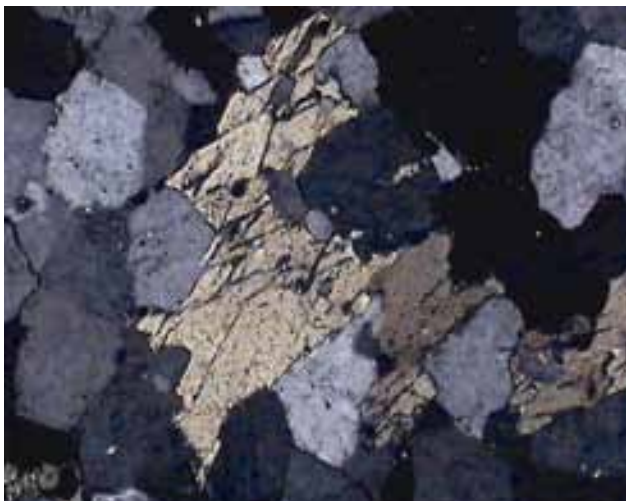


تصویر ۵- عکس صحرائی تورمالین (با فلش مشخص شده است) که به صورت دایک در حاشیه‌ی آپلیت‌ها رخنمون دارد.

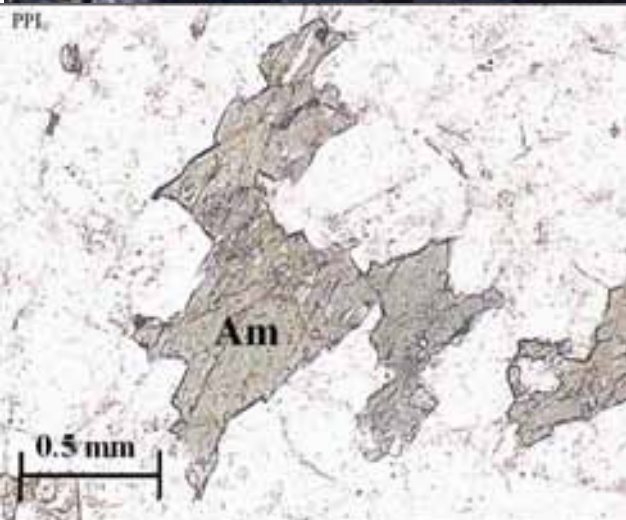
زیرکن‌های منطقه به صورت شکل‌دار در گرانیت‌ها و آپلیت‌ها و اکثراً به صورت ادخال در بیوتیت‌ها دیده می‌شوند (تصویر ۱۱). طول بیشتر و عرض کمتر بلورهای زیرکن منطقه نشان‌دهنده‌ی یکسان نبودن ماده‌ی آذرین تشکیل‌دهنده‌ی آن‌هاست. حاشیه‌ی متمایکتی‌شده‌ی آن‌ها حاکی از حضور اورانیوم (U) در ترکیب شیمیایی آن‌هاست، مسئله‌ای که در تعیین سن مطلق سنگ‌ها کاربرد دارد (John & John 2005).



تصویر ۷- تجزیه‌ی کانی‌شناسی (XRD) که مشخص‌کننده‌ی نوع تورمالین‌های بن‌دونو (Schorl) است. به علت تشکیل در حاشیه‌ی آپلیت‌ها، فاز فرعی گزارش شده کوارتز است



تصویر ۸- محل تماس آپلیت بن‌دونو با واحد آمفیبولیت منطقه و تشکیل آمفیبول آپلیت (Am= آمفیبولیت، BMA=آپلیت بن‌دونو)



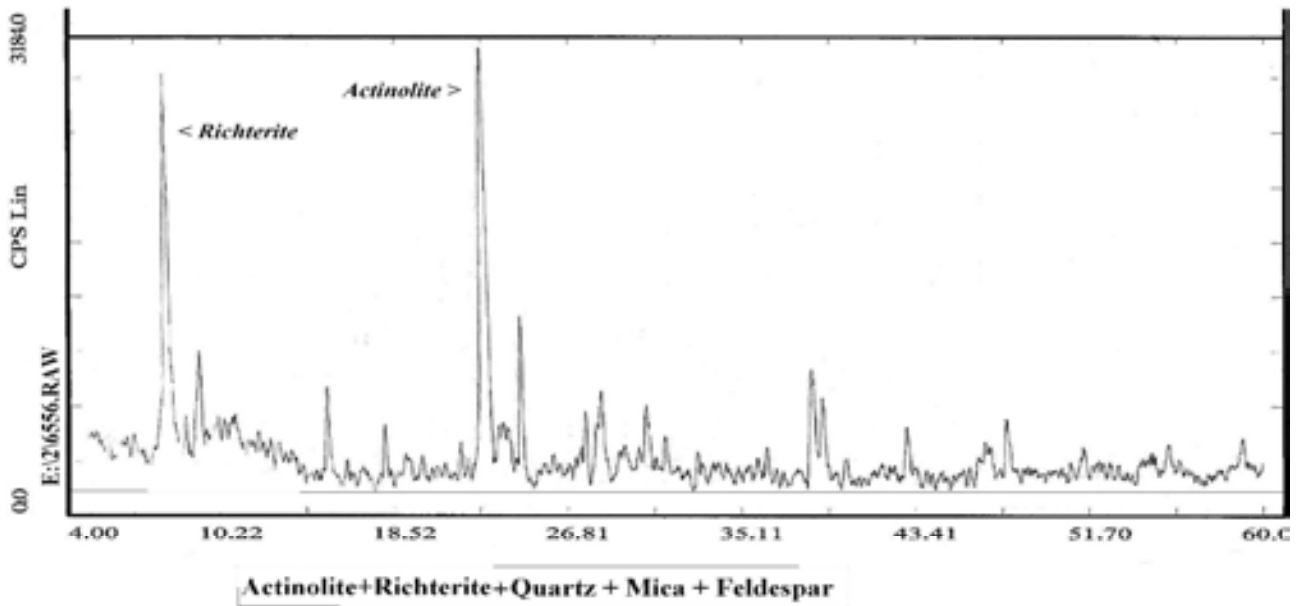
تصویر ۹- کانی آمفیبول (Amphibole) در آپلیت بن‌دونو. این کانی دارای چند رنگی قوی می‌باشد که می‌تواند حاکی از حضور عناصر رادیواکتیو در ترکیب آن باشد. (نور طبیعی = PPL، نور پلاریزه = XPL)

### ۳-۵- اسفن $[\text{CaTi}(\text{SiO}_4)(\text{O}, \text{OH}, \text{F})]$

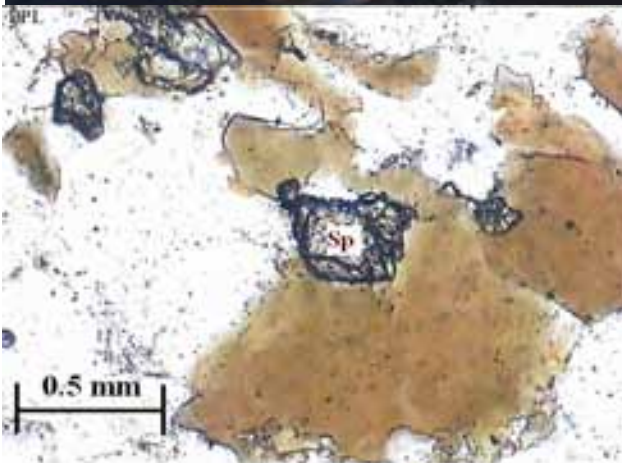
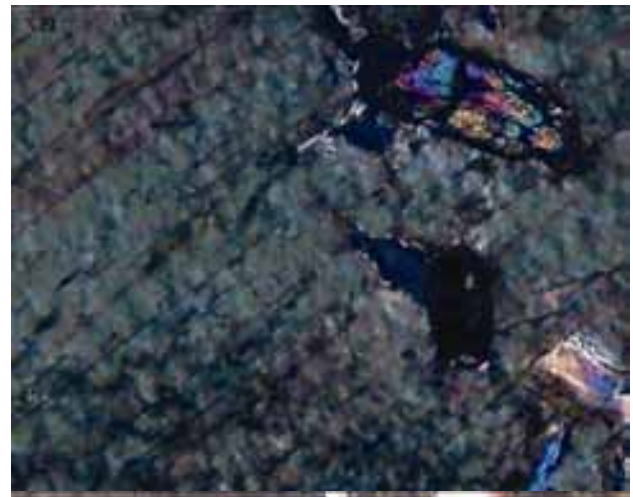
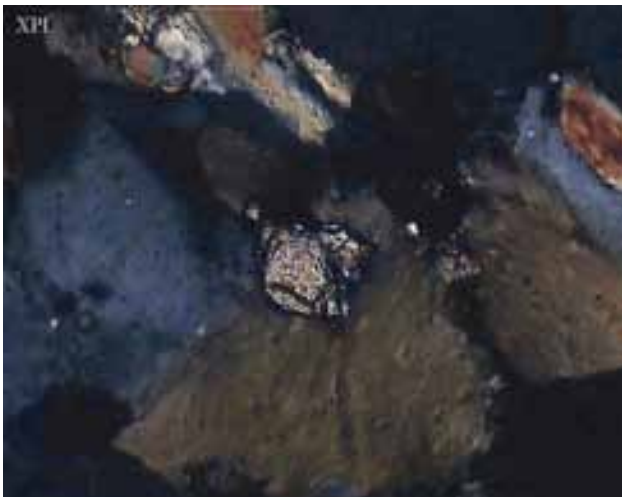
اسفن یکی از کانی‌های فرعی و فراوان سنگ‌های آذرین است و در اغلب سنگ‌های پلوتونیک اسیدی و حده واسط به‌عنوان کانی تیتان‌دار دیده می‌شود. اسفن مخصوصاً در گرانیت‌ها و سینیت‌ها (به خصوص سینیت‌های نفلین‌دار) و دیوریت‌های هورنبلنددار به‌طور فراوان می‌توان یافت. به علاوه در سنگ‌های رگه‌ای حرارت پایین نوع آلپ (Alpine-type) نیز تشکیل می‌شود و اکثراً حاصل آزاد شدن تیتانیوم در این نوع سنگ‌ها می‌باشد (Deer et al. 1999).

اسفن‌ها به‌صورت نیمه‌شکل‌دار در داخل بیوتیت‌های منطقه تشکیل شده‌اند (تصویر ۱۲). فراوانی این کانی نسبت به سایر کانی‌های تیتانیوم‌دار منطقه بالاتر است و نمونه‌های اولیه‌ی آن هم در گرانیت‌های



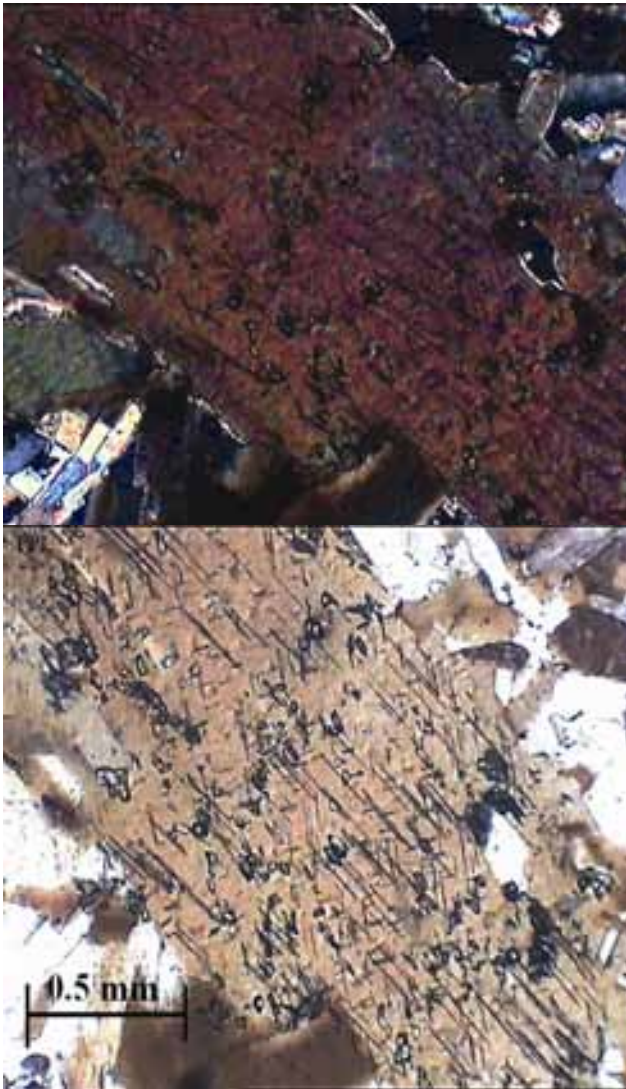


تصویر ۱۰- تجزیه‌ی کانی‌شناسی (XRD) که مشخص‌کننده‌ی نوع آمفیبول‌های بن‌دونو (Actinolite-Richterite) است. همچنین فازهای فرعی گزارش شده شامل کوارتز، میکا و فلدسپار می‌باشد.



تصویر ۱۲- کانی اسفن (Sphen) در گرانیت بن‌دونو. این کانی دارای برجستگی قوی و رنگ قهوه‌ای در نور معمولی (PPL) و نور پلاریزه (XPL) می‌باشد و حاصل آزاد شدن تینانیوم موجود در ترکیب بیوتیت‌های منطقه است.

تصویر ۱۱- کانی زیرکن (Zircon) در گرانیت بن‌دونو. این کانی دارای برجستگی قوی و چند رنگی شدید در نور پلاریزه می‌باشد و بیشتر به صورت ادخال در بیوتیت‌های منطقه دیده می‌شود (نور طبیعی = PPL، نور پلاریزه = XPL).



تصویر ۱۴- سوزن‌های روتیل در بیوتیت‌های گرانیت بن‌دونو و تشکیل فاسیس ساژنیتی (Sagenit texture). این بافت در اثر رشد بلورهای روتیل درون رخ‌ها با زاویه‌ی ۶۰ درجه ایجاد می‌شوند (نور طبیعی = PPL، نور پلاریزه = XPL)

(تصویر ۱۴). حضور روتیل با فاسیس ساژنیتی می‌تواند معرف یک فاز آلتراسیون در دمای ۳۰۰ الی ۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد یعنی شرایط کاتاترمال باشد (Troger 1982).

### ۷-۳- آلانیت $(Ca, Ce, La, Th)_3(Fe^{2+}, [Fe^{3+}Al^2O(SiO^4)(Si^2O^7)(OH)$

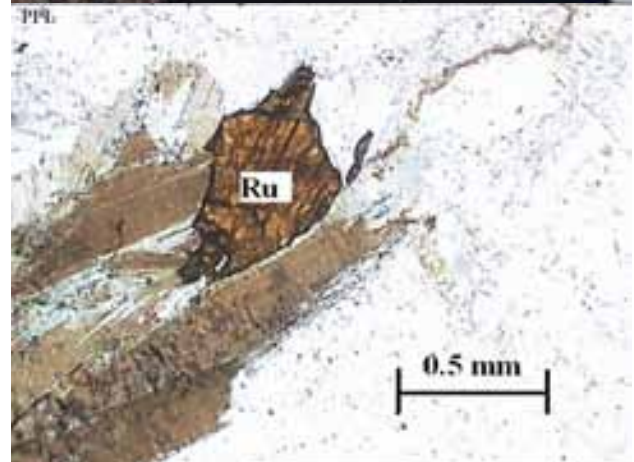
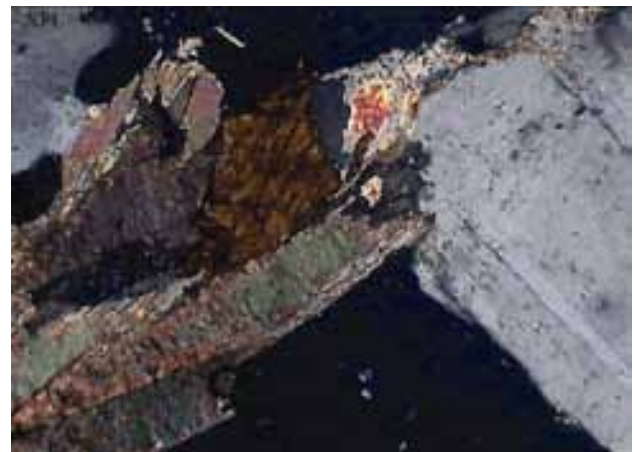
یکی از کانی‌های فرعی و شاخص بسیاری از گرانیت‌ها، گرانودیوریت‌ها، مونزونیت‌ها و آپلیت‌ها می‌باشد. آلانیت تنها عضو خانواده‌ی اپیدوت‌هاست که ذاتاً دارای آهن  $(Fe^{2+})$  می‌باشد. ترکیبات رادیواکتیو عموماً در آلانیت حضور دارند که بیشتر از نوع اکسید توریم  $(ThO_2)$  و گاهی اوقات هم واجد اورانیوم (U) می‌باشند (Deer et al 1999). در خصوص تشکیل آلانیت نظرات متعددی ارائه شده است.

بن‌دونو مشاهده نمی‌شوند. بلورهای قهوه‌ای رنگ آن در آپلیت‌ها مشاهده می‌شوند.

### ۶-۳- روتیل $[TiO_2]$

اکثراً در گرانیت‌ها حاصل آزاد شدن عنصر تیتانیم (Ti) از بیوتیت‌هاست. در بعضی مواقع هم به صورت سوزنی و ثانویه در داخل بیوتیت‌ها تشکیل می‌شود که بافت ساژنیتی (Sagenite texture) نامیده می‌شود. تروگر (Troger 1982) در خصوص نحوه‌ی رشد سوزن‌های روتیل درون بیوتیت‌ها معتقد است که در اثر دگرسانی هیدروترمال بیوتیت‌ها و در صورتی که کلسیم در محیط وجود داشته باشد اسفن تشکیل می‌شود و اگر تیتانیم برای تشکیل اسفن به کار نرود، اکسید تیتانیم یا روتیل ظاهر می‌شود که اغلب درون رخ‌ها به صورت داربستی و ثانویه رشد می‌کند و با زاویه‌ی ۶۰ درجه نسبت به یکدیگر داربست ساژنیتی را تشکیل می‌دهند.

روتیل‌ها در گرانیت‌های بن‌دونو به صورت شکل‌دار و ثانویه در رخ‌ها (تصویر ۱۳) و در بعضی نمونه‌ها به صورت ساژنیتی مشاهده می‌شوند



تصویر ۱۳- کانی روتیل (Rutile) در گرانیت بن‌دونو. این کانی دارای رنگ قهوه‌ای تیره در نور معمولی (PPL) و نور پلاریزه (XPL) است و برجستگی آن نسبت به اسفن کمتر است.

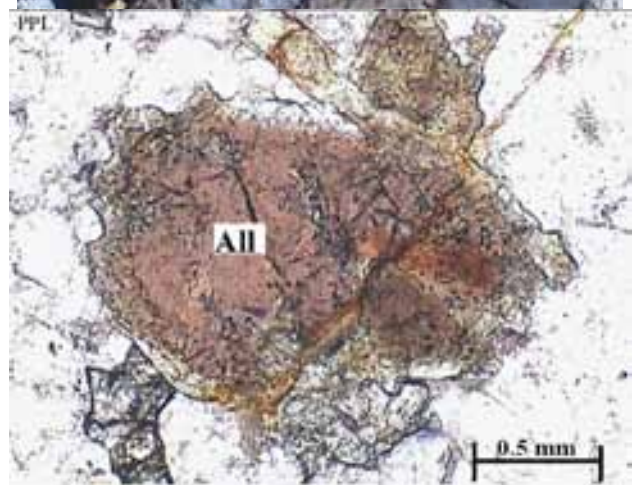


هم یافت می‌شوند و بیشتر در گرانیت‌های آلکانل تشکیل می‌شوند (Dana 1985).

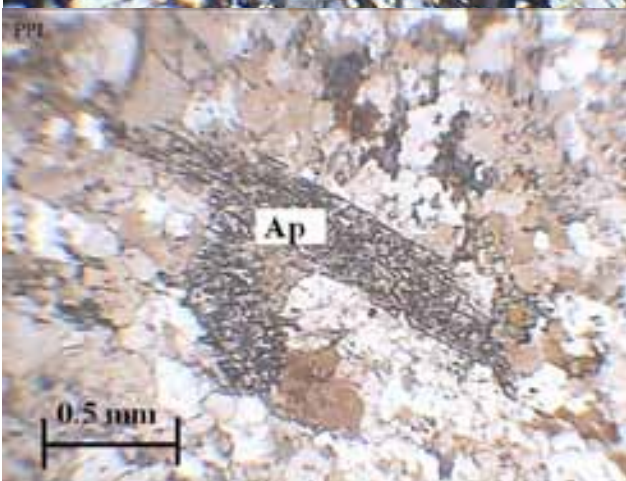
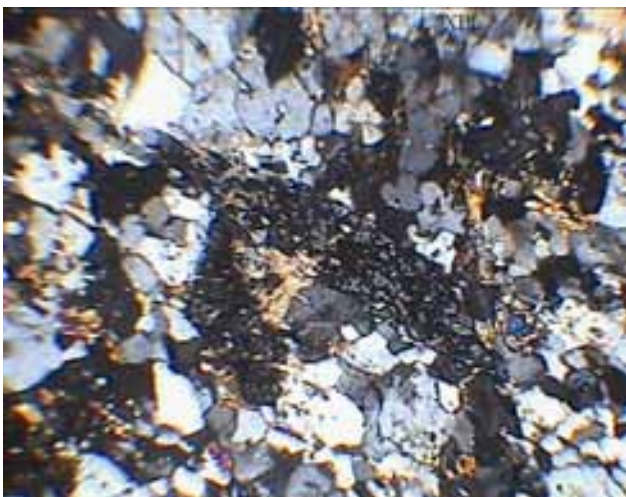
آپاتیت‌های موجود در گرانیت‌های منطقه اغلب به صورت شکل‌دار مشاهده می‌شوند (تصویر ۱۶). به دلیل فراوانی بسیار کم (کمتر از ۱ درصد) در گرانیت‌های بن‌دونو به ندرت دیده می‌شوند. این موضوع می‌تواند دلیلی بر ماهیت ساب آلکانل گرانیت بن‌دونو باشد (نوری ۱۳۸۴).

وجود زیرکن به همراه آلانیت و آپاتیت نشان‌دهنده‌ی فراوانی بیش از ۱/۸ درصد اکسید کلسیم در این توده‌ی گرانیتی می‌باشد (Broska et al. 2002).

با توجه به شناسایی کانی‌های فرعی توده‌ی گرانیتی بن‌دونو مطالعات پتروگرافی برای بدست آوردن فراوانی این کانی‌ها انجام شد (جدول ۱). نتایج این مطالعات می‌تواند در بررسی‌های زمین‌شناسی اقتصادی این توده‌ی گرانیتی مفید واقع شود.



تصویر ۱۵- کانی آلانیت (Allanite) در گرانیت بن‌دونو. این کانی دارای برجستگی قوی و رنگ قرمز در نور معمولی (PPL) و نور پلاریزه است (XPL) که به دلیل داشتن آهن در ترکیب آن می‌باشد.



تصویر ۱۶- کانی آپاتیت (Apatite) در گرانیت بن‌دونو. این کانی دارای برجستگی متوسط و رنگ تیره در نور معمولی (PPL) و پلاریزه (XPL) است.

دیر و همکاران (Deer et al 1999) آلانیت را یک کانی فرعی مرحله تأخیری ماگمایی (Late-magmatic stage) می‌دانند که در سنگ‌هایی همچون گرانیت، گرانودیوریت و مونزونیت رخنمون می‌یابد.

آلانیت‌ها به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار در آپلیت‌های منطقه تشکیل شده‌اند (تصویر ۱۵) که نشان‌دهنده‌ی تفریق ماگمایی از مرکز توده (گرانیت) به حاشیه (آپلیت) است و به همین دلیل در گرانیت‌های منطقه یافت نمی‌شوند (پورمعافی ۱۳۸۳).

### ۳-۸- آپاتیت $[Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)]$

مهم‌ترین خاستگاه کانی آپاتیت آذرین، کربناتیت‌ها و کمپلکس‌های آذرین آلکالی می‌باشند. در پگماتیت‌ها و گرانیت‌ها به صورت رگه‌ای



جدول ۱- نتایج پتروگرافی توده‌ی گرانیتی بن‌دونو

نام کانی	درصد کانی
گارنت	در گارنت آپلیت‌ها حدوداً ۲ تا ۴ درصد و در بعضی از آپلیت‌ها حدود ۲۵ درصد
تورمالین	در تورمالین آپلیت بین ۱ تا ۳ درصد و در تورمالینیت بیش از ۸۵ درصد
آمفیبول	در آمفیبول آپلیت‌ها بین ۲ تا ۳ درصد
زیرکن	در گرانیت‌ها و آپلیت‌ها کمتر از ۲ درصد
روتیل	در گرانیت‌ها بین ۱ تا ۲ درصد
اسفن	در گرانیت‌ها بین ۲ تا ۳ درصد و در آپلیت‌ها کمتر از ۱ درصد
آلانیت	در آپلیت‌ها حدود ۱ درصد
آپاتیت	در گرانیت‌ها کمتر از ۱ درصد

## مراجع

پورمعافی، م.، ۱۳۸۳، "پتروگرافی و پترولوژی دگرگونی"، چاپ سوم، انتشارات یکان تهران، ۴۷۰ ص.

درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۰، "زمین‌شناسی ایران"، چاپ پنجم، انتشارات نشر دانش امروز، ۴۵۱ ص.

نوری خانکهدانی، ک.، ۱۳۸۴، "بررسی ارتباط ژنتیکی و ساختمانی گنیس بن‌دونو با کمپلکس دگرگونی توتک"، رساله‌ی دکتری پترولوژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲۷۰ ص.

Broska, I., Kubis, M., Williams, C. T. & Konecny, P., 2002, "The compositions of rock-forming and accessory minerals from the Gemeric granites, (Hnilec area, Western Carpathians)", *Bullten of the Czech Geological Survey*, Vol. 77 (2): 147-155.

Dana, J. D., 1985, "Manual of Mineralogy", 20<sup>th</sup> Ed., Revised, John Wiley & Sons, New York, 596 pp.

Deer, W., Howie, R. & Zussman, J., 1999, "An introduction to the rock forming minerals", 4<sup>th</sup> Ed., Longman, 712p.

Foord, L., 1976, "Petrogen of metamorphic Rocks", Springer Verlag, 600p.

Jensen, M. L. & Bateman, A. M., 1981, "Economic mineral deposits", 3rd Ed.: John Wiley and Sons, New York, 593p.

Johan, Z. & Johan, V., 2005, "Accessory minerals of the Cinovec (Zinnwald) granite cupola, Czech Republic", *Mineral. Petrol.*, Vol. 83 (1-2): 113-150.

Ishihara, S., 1998, "Granitoid series and mineralization in the Circum-Pacific Phanerozoic granitic belts", *Geological Survey of Japan, DIGITAL OBJECT IDENTIFIER (DOI)10.1111/j.1751-3928.1998.tb00019.*

Troger, J., 1982, "Optical mineralogy", Schweizerbart, 750p.

Webber, K. L., Simmons, W. B., Falster, A. U. & Foord, L., 1999, "Cooling rates and crystallization of shallo level pegmatite- aplite dickes, San Diego County", *California American Mineralogist*, Vol. 84: 708-717.

Zeming, Z., Yong, Y. & Zhang, J., 2000, "The compositional zoning of garnet in eclogite from western segment of Altyn Tagh", *Chinese Sci. Bull.* (45): 79-83.

## ۴- نتیجه‌گیری

مهمترین کانی‌های فرعی شناسایی شده در توده‌ی گرانیتی بن‌دونو شامل گارنت، تورمالین، آمفیبول، زیرکن، آلانیت، روتیل، اسفن و آپاتیت می‌باشند.

منشأ گرانیت‌های بن‌دونو با توجه به کانی‌های فرعی شناسایی شده از نوع ماگمایی (I) می‌باشد. دلیل آن را می‌توان به نبود کانی‌های سیلیکات آلومین (آندالوزیت، سیلیمانیت) و کانی‌های قلع (کاسیتريت) ذکر کرد. با توجه به تست برش و ساب کانی‌های تورمالین منطقه، این کانی دارای ارزش نیمه قیمتی است. وجود زیرکن به همراه آلانیت که هر دو جزء کانی‌های دارای عناصر رادیواکتیو می‌باشند، معرف آن است که درصد این عناصر در ماگما و به‌خصوص در بخش تفریق‌یافته‌ی آن بالاست. همچنین همراهی این دو کانی با آپاتیت نشان‌دهنده‌ی فراوانی بیش از ۱/۸ درصد اکسید کلسیم در این توده‌ی گرانیتی می‌باشد. با توجه به نتایج پتروگرافی، کانی‌های گارنت و تورمالین منطقه دارای نقاط امید بخش جهت اکتشافات مقدماتی هستند، زیرا آستانه‌ی اقتصادی گارنت ۱۰ درصد و تورمالین ۱۴ درصد می‌باشد.

همراه با کانی‌های فرعی توده‌های گرانیتوئیدی، عناصر نادر خاکی و عناصر رادیواکتیو نیز وجود دارند که از لحاظ مطالعه‌ی ژئوشیمی این کانی‌ها ارزشمند هستند.

## تشکر و قدردانی

با تشکر فراوان از استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر مسیب سبزه‌ئی و آقای مهندس امیرحسین شاه امیریان که ما را در تهیه‌ی هر چه بهتر این مقاله یاری کردند.