

## Mineralogical Study of Xenoliths (Buchite) in Young Volcanoes of Stromboli (Italy)

Modjtahedi, M.

*Geological Department, Faculty of Sciences, University of Tabriz, Tabriz-IRAN.*

**Key Words:** *Xenoliths, Buchite, Cordierite, Aluminum and Bauxite rich shales, Sonidinitefacies.*

**Abstract:** There are fragments of xenoliths in basaltic rocks of young volcanoes from Stromboli (Italy). They are cordierite bearing buchite, having white colours and are in various sizes. The biggest fragment is around 20 cm long. The main minerals are cordierite. Around eithy percent of rocks composed of cordierite and 20% consist of tridymite, hypersthene, sanidine and glass. Microscopic studies shows that the texture is granoblastic and mosaic. The mineral paragenesis and chemical composition indicated that the original rock were aluminum - rich and bauxite - rich shales. The cordierite are the Mg-rich cordierite. Xenoliths metamorphosed by sanidinitefacies.

پژوهشی

## بررسی کانی شناسی زینولیتها (بوکیتها) در سنگهای آتشفشانی جوان استرومبولی (ایتالیا)

منصور مجتهدی

دانشکده علوم - دانشگاه تبریز

چکیده: در سنگهای بازالتی آتشفشان جوان جزیره استرومبولی، قطعاتی از سنگهای زینولیت از نوع بوکیت کوردیریت دار دیده شده اند. این سنگها سفید رنگ و ابعاد آنها مختلف است. درشت ترین قطعه مشاهده شده در حدود بیست سانتی متر بوده است. تقریباً هشتاد درصد کانیهای اصلی این سنگها عبارت اند از کانیهای کوردیریت و بقیه را کانیهای تریدیمیت هپرستن سانیدین و شیشه تشکیل می دهند. پاراژنز کانیها و نیز تجزیه شیمیایی سنگهای مورد بحث نشان می دهند که سنگ اولیه آنها رسهای غنی از آلومینیم و رسهای بوکسیدی هستند. بافت میکروسکوپی آنها هورنفلسیک گرانوبلاستیک و موزایکی است. کوردیریتها از نوع غنی از منیزیم اند. این سنگها در اثر فرایندهای گرمایی در رخساره سانیدین دگرگون شده اند.

واژه های کلیدی: زینولیتها، بوکیت، کوردیریت، رسهای آلومینیم دار و بوکسیدی،

رخساره سانیدین.

### زمین شناسی آتشفشان استرومبولی

جزیره استرومبولی در دریای تیرنی قرار دارد و سنگهای آتشفشانی آن بر دو گونه‌اند؛ سنگهای قدیمی (دیرین استرومبولی)، و سنگهای جدید (نو استرومبولی). از دهانه آتشفشان نو استرومبولی، که هنوز فعال است گدازه‌هایی فوران می‌کنند. حداقل از سیصد سال پیش از میلاد تا به امروز از این گدازه‌ها در شب به صورت یک فانوس دریایی طبیعی استفاده می‌شود.

سن سنگهای نو استرومبولی به هولوسن و سنگهای دیرین استرومبولی به پلیستوسن فوقانی مربوط می‌شود. آتشفشان استرومبولی از لحاظ سری سنگهایش یک آتشفشان معکوس است یعنی بر خلاف آتشفشانهای معمولی سنگهای اسیدی پیش از سنگهای بازی خارج شده‌اند. آتشفشانهای دریای تیرنی از لحاظ ترکیبات شیمیایی به دو گروه کالک آلکان معمولی و کالک آلکان غنی از پتاسیم (گروه شوشونیتی) تقسیم می‌شوند. آتشفشان استرومبولی جزء گروه دوم یعنی کالک آلکان غنی از پتاسیم است.

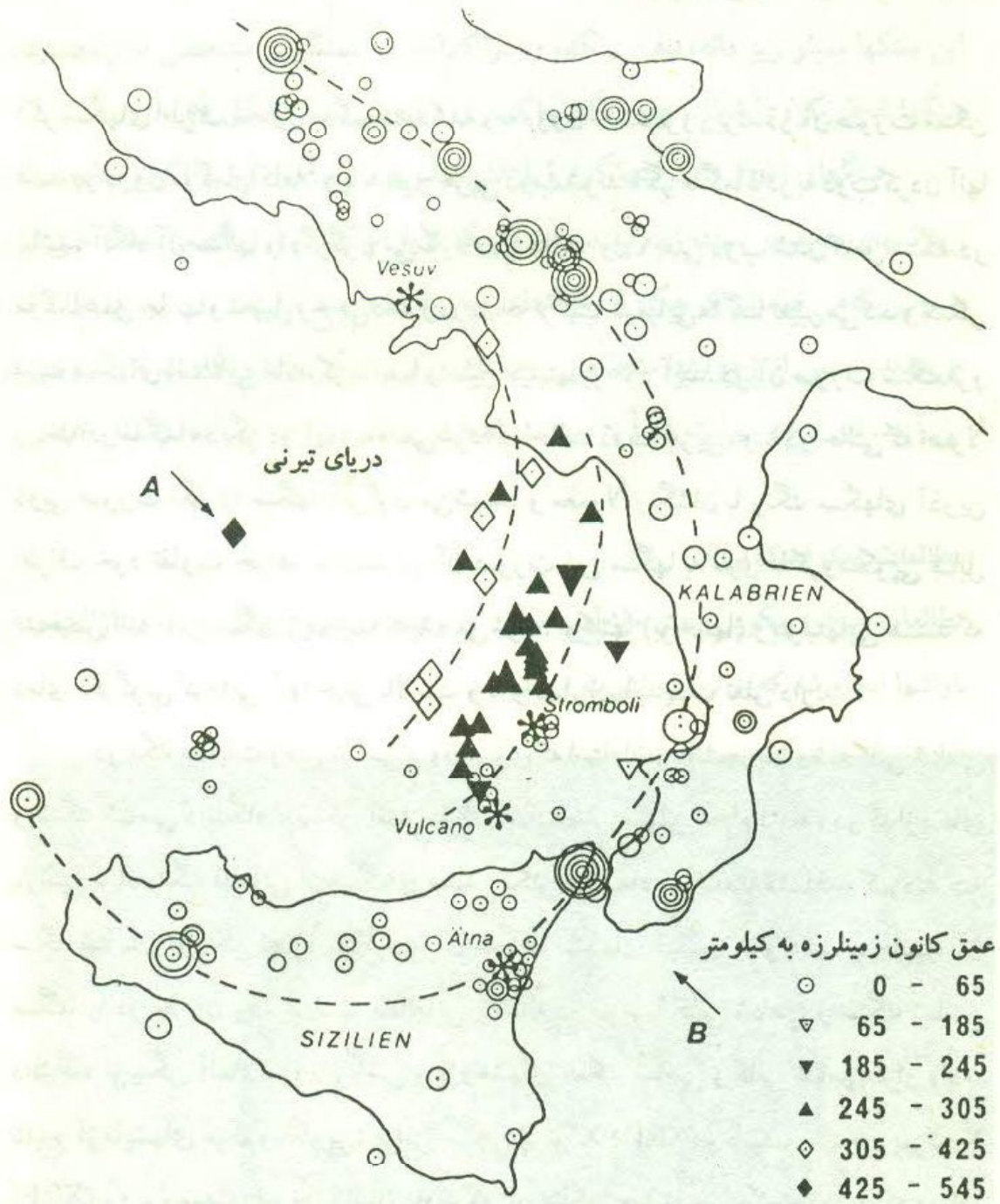
در گدازه‌های بازالتی سیاه رنگ بخش نو استرومبولی، قطعاتی از سنگهای سفید به ابعاد مختلف دیده شده‌اند که از نظر کانی شناسی مورد مطالعه اینجانب قرار گرفته‌اند. در شکل ۱ نقشه زمین شناسی جزیره استرومبولی و محل نمونه برداری این سنگها نمایش داده شده است.

در شکل ۲ موقعیت آتشفشان استرومبولی در دریای تیرنی و عمق کانون زمینلرزه‌های آن نیز نمایش داده شده‌اند. به طوری که از شکل پیداست عمق فرورانش لایه سنگره از لحاظ تکتونیک صفحه‌ای به سمت شمالغرب بیشتر می‌شود. هر دو شکل از مرجع [۵] اقتباس شده‌اند.



شکل ۱ نقشه زمین شناسی جزیره استرومبولی و مقطع A\_B

(اقتباس از پیشلر) [۵].



شکل ۲ موقعیت آتشفشان استرومبولی در دریای تیرنی و عمق کانون زمینلرزه‌های آن

(اقتباس از پیشلر) [۵].

## مقدمه

اگر سنگهای اطراف مخازن ماگماکنده شده و به درون ماگما فرو ریزند در آن صورت ممکن است در درون ماگما یا کاملاً و یا به طور جزئی ذوب شوند. اگر ماگما قادر به ذوب کردن آنها نباشد، آنگاه آن سنگها را دگرگون می سازد. در حالت اول، یعنی ذوب شدن کامل سنگ در ماگما عمل جذب و تحلیل رخ می دهد و در نتیجه ترکیب شیمیایی ماگما تغییر می کند و ممکن است سنگهای استثنایی مانند کربناتیتها و نفلین سینیتها بوجود آیند. در آن صورت سنگ فرو ریخته در ماگما، دیگر در آن دیده نمی شود. در حالت ذوب جزئی، و یا در حالتی که اصولاً ذوبی صورت نگیرد، سنگها دگرگون می شوند، و معمولاً رنگشان با رنگ سنگهای آذرین اطراف خود تفاوت خواهد داشت. در آن صورت این سنگها به طور ماکروسکوپی قابل تشخیص اند. این سنگها زینولیت نامیده می شود. بوکیتها (بوخیتها) زینولیتهایی هستند که دمای دگرگونی گرمایی آنها خیلی بالاست و به رخساره سانیدینیت تعلق دارند.

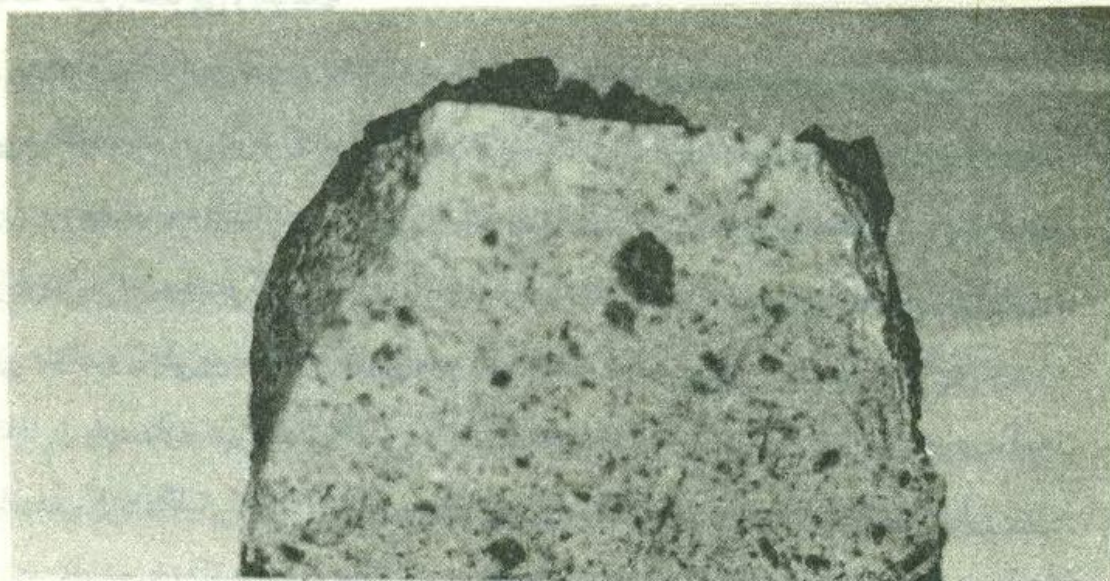
در یک عملیات زمین شناسی برون مرزی که استادان و دانشجویان رشته کانی شناسی و سنگ شناسی دانشگاه توینگن آلمان به آتشفشان استرومبولی انجام دادند، در گدازه های بازالتی سیاه رنگ قطعاتی از سنگهای سفید رنگ به ابعاد مختلف مشاهده کردند که سنگ شناسان توینگن تصور می کردند آن سنگها، سنگهای سیلیسی ثانویه اند. اینجانب، آن سنگها را در جریان یک فرصت مطالعاتی یکساله در موسسه کانی شناسی و سنگ شناسی دانشگاه توینگن آلمان مورد بررسی و پژوهشهای سنگ شناسی و کانی شناسی قرار دادم. نتایج آزمایشهای میکروسکوپی، پراش سنجی پرتو X (XRD)، طیف سنجی پرتو X (XRF)، و بررسیهای فیزیکی نشان دادند که این سنگها چیزی جز بوکیت نیستند که در اثر فرایندهای گرمایی در رخساره سانیدینیت شکل گرفته اند. از این نوع سنگها تاکنون در بعضی نقاط جهان یافت، و نمونه هایی از آنها را می توان در مراجع دید [۱-۷].

### توصیف ماکروسکوپی زینولیتها

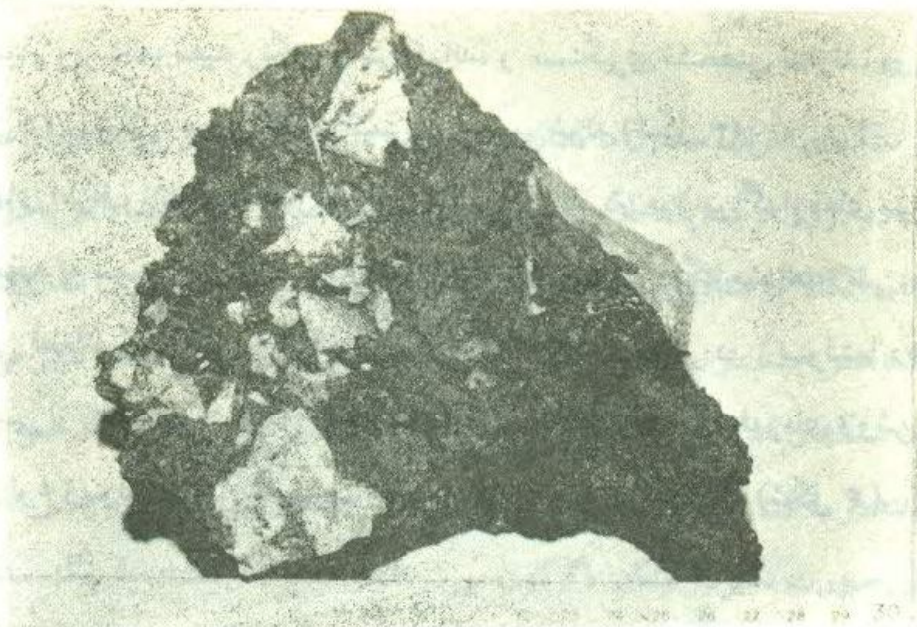
این سنگها بسیار ریز دانه، سفید رنگ، و متراکم اند، و سمتگیری مشخصی ندارند. در این سنگها نقاطی کروی شکل، و به رنگ خاکستری دیده می شوند (شکل ۳).  
سنگهای اطراف زینولیتها گدازه بازالتی اولوین دارند. در مرز بین گدازه های سیاه و زینولیتهای سفید به سمت زینولیت، معمولاً یک لایه خاکستری رنگ مشاهده می شود. همچنین گاهی قطعاتی کوچک از بازالتهای سیاه به ابعاد چند میلی متر در زینولیتها دیده می شوند. بعضی از زینولیتها متخلخل و حبابدار و ابری شکل و به رنگ قهوه ای روشن در می آیند. این نوع زینولیت غالباً به صورت قطعات چند وجهی در می آیند (شکل ۴).

### مطالعات میکروسکوپی

مطالعات میکروسکوپی روی مقاطع مختلف زینولیتها، و مرز بین زینولیت و بازالت و نیز بازالتها انجام شد که به ترتیب تشریح می شوند.



شکل ۳ نقاطی کروی شکل و به رنگ خاکستری که در سنگهای زینولیت دیده می شوند.



شکل ۴ زینولیتها به صورت قطعات چند وجهی در داخل بازالتها دیده می‌شوند.

#### مطالعه میکروسکوپی زینولیتها

این سنگها زیر میکروسکوپ بیشتر به صورت میکروولیتهای کوردیریت مشوری چهار گوش و بی رنگ دیده می‌شوند که بیش از ۸۰٪ سنگ را تشکیل می‌دهند. طول بیشینه این کوردیریتها در حدود ۰٫۱ میلی متر است، و دارای علامت طولی منفی و دو شکستی (بیر فرنژانس) ضعیف و گاهی دارای خاموشی دودی اند. این کوردیریتها ساختار دو محوری منفی دارند و گاهی به صورت دو تائیه‌های متقاطع نیز دیده می‌شود. در این نمونه‌ها تا ۱۰٪ تخلخل وجود دارد. در این سنگها ردها یا رگه‌هایی دیده می‌شوند که عامل به وجود آمدن آنها بیشتر گرد و غبار کانیهای فلزی خیلی ریز و مواد کربنی هستند. این کانیها خیلی ریز و کدرند و موجب تشکیل زمینه خاکستری مات می‌شوند. رگه‌های دیگری رانیزی می‌توان در شکل ۵ مشاهده کرد.





شکل ۵ رگه تریدیمیت در زینولیت (x۷۵).

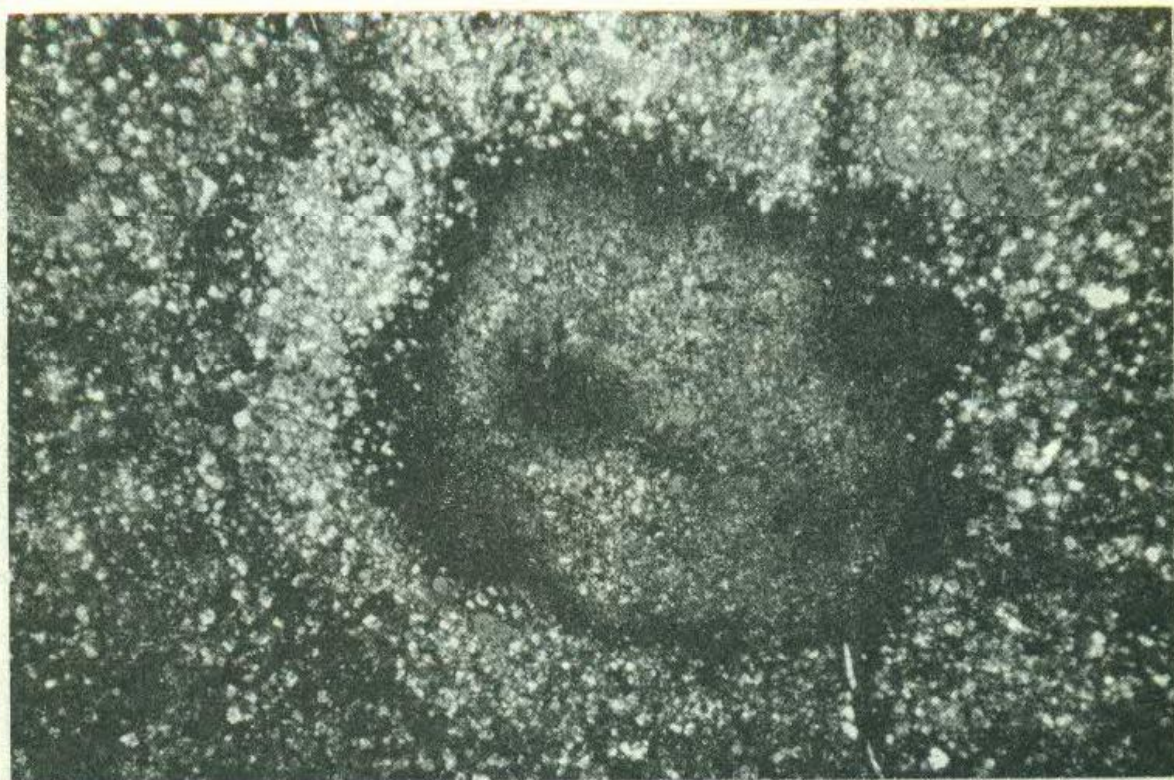
این رگه ها در درجه اول از تریدیمیت پر شده اند، که دارای ضریب شکست خیلی کم و علامت طولی منفی و دو محوره مثبت اند. این کانیها ورقه های نازکی را تشکیل می دهند و غالباً عمود بر رگه ها و به صورت گروههای دو تایی هستند. کانیهای تریدیمیت در زمینه سنگ نیز مشاهده می شوند. تریدیمیتها از نظر مقدار نسبت به کوردیریتها بسیار کم اند و گاهی به صورت دو تایی و سه تایی نیز دیده شده اند. تریدیمیتها بی رنگ اند و طول بزرگترین ورقه تریدیمیت ۰۳ میلی متر است. کانیهای سانیدین را می توان با ضریب شکست و بیرفرانسان کمتر و نیز نداشتن گرد و غبار از کوردیریتها تشخیص داد. در این سنگها کومولیتهایی از روتیلهای سوزنی و ستونی کوتاه ریز دانه به طور موضعی مشاهده می شوند (شکل ۶).



شکل ۶ کومولیت‌های روتیل که مخصوصاً در بخش فوقانی عکس دیده می‌شوند (۷۵×).

این گونه روتیلها در کلیه مقاطع وجود دارند. طول روتیل‌های درشت حدود ۰۰۸ میلی‌متر است. در برخی برشها کریستال‌های زیرکن به ابعاد روتیلها و نیز گاهی دانه های کروی شکل کانیهای فلزی یافت می‌شوند. در زینولیتها مناطقی وجود دارند که کوردیریت‌های آن ریز دانه تر از نقاط دیگرند (شکل ۷).

در مشاهدات میکروسکوپی برخی از این سنگها گاهی رشته های سیلیمانیت نیز مشاهده می‌شوند. این کانیها دارای علامت طولی مثبت و ضریب شکست بزرگ و بی شکل و طولی در حدود ۰۳ میلی متر دارند. مناطقی نیز از شیشه همسانگرد تشکیل شده‌اند که تقریباً بی رنگ‌اند و در آنها گرد و غبار کانیهای کدر وجود دارد. اسپینل‌های بی رنگ تا سبز روشن و کروی شکل با پوشش هشت وجهی به ویژه در مناطقی دیده شده‌اند که در آن مناطق زینولیت قهوه‌ای با تخلخل‌های متعدد وجود دارد. در برخی از مقاطع کوردیریت ششگوش و



شکل ۷ کوردیریتها در این بخش از نمونه ریزترند (x ۷۵).

به صورت شبه ششگوشی مشاهده می شوند. این نوع کوردیریتها درشتتر از کوردیریتهای دیگرند و به خصوص در مناطقی که کوردیریت گدازه با هم واکنش انجام داده باشند مشاهده می شوند. غالباً کوردیریتها رخ های موازی محور C از خود نشان می دهند. بافت میکروسکوپی زینولیتها هورنفلسیک گرانوبلاستیکی و موزائیکی است (شکل ۸). خواص نوری کلیه کانیهای مطالعه شده از جدول های نوری مرجع [۶] برداشت شده است.

#### مطالعات میکروسکوپی در مرز بین زینولیت و بازالت

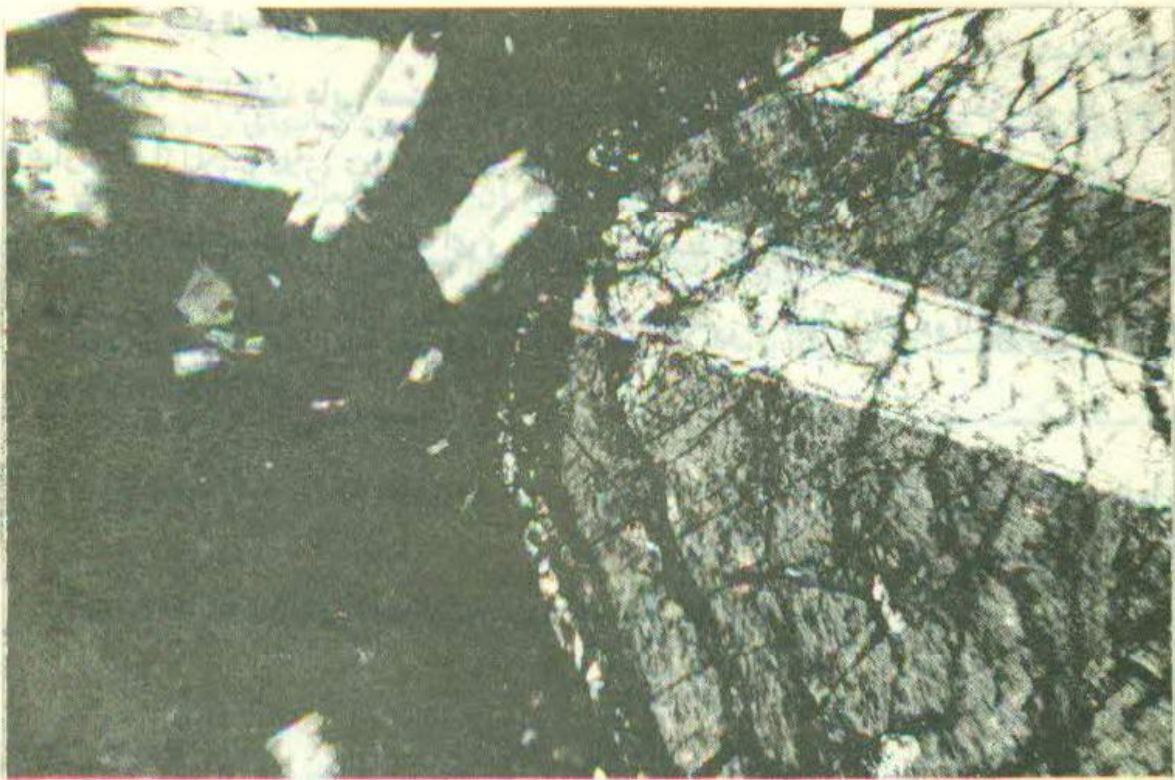
گدازه های مرزی دارای بافت پورفیری و تخلخل زیادند. درشت بلورهای گدازه عبارت اند از پلاژیو کلاز، تیتان اوژیت، هیپرستن (اویلیت) و اولیون، زمینه بازالت از شیشه قهوه ای تا سیاه تشکیل شده است. غالباً در درون پلاژیو کلازها گرد و غبار کانیهای ریز و کدر دیده



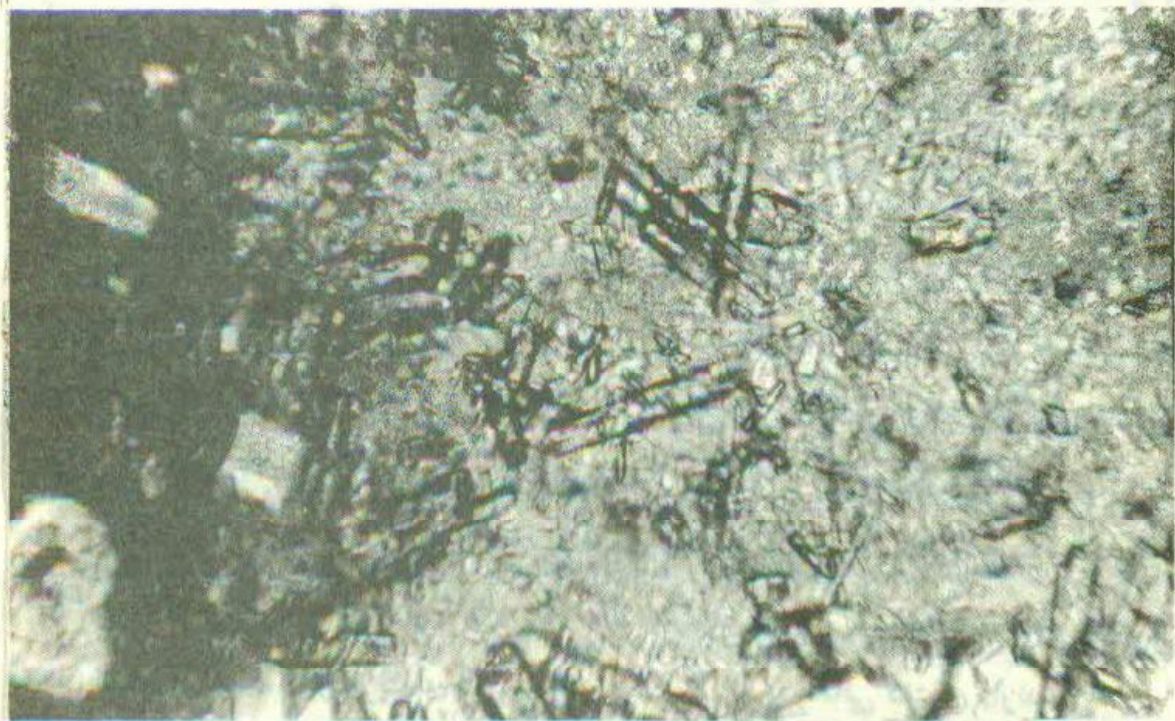
شکل ۸ بافت هورنفلسیک گرانوبلاستیکی و موزائیکی در سنگ زینولیت (x ۷۵).

می شود. تیتان اوژیتها مناطقی به رنگ سبز مایل به قهوه ای و به صورت دو تائیهای نواری و صلیبی تشکیل می دهند. حاشیه تیتان اوژیتها به بیوتیت و هیپرستن و بروکیت تبدیل می شود (شکل ۹).

بروکیتها دو محوری مثبت اند و ضریب شکست و بیرفرئانس بیشتری نسبت به زیرکن نشان می دهند. در مرز بین گدازه و زینولیت یک زمینه قهوه ای دیده می شود. که در آن کوردیریت و سوزن های هیپرستن و کانی بروکیت شکل گرفته بودند. در مرز بین زینولیت و بازالت سوزن های ریز هیپرستن به فراوانی مشاهده شدند، که ظاهراً در اثر واکنش زینولیت با بازالت تشکیل شده اند، شکل ۱۰. فلسهای ظریف تریدیمیت همچنین در بخشهای مرزی مشاهده می شوند. در یکی از مقاطع بلور شکل دار باده لهایت ( $ZrO_2$ ) نیز دیده شد.



شکل ۹ حاشیه تیتان اوژیت به بیوتیت و هیپرستن و بروکیت تبدیل شده است.



شکل ۱۰ سوزن های هیپرستن در مرز بین بازالت (چپ) و زینولیت (راست) (x ۷۵).

### مطالعات میکروسکوپی گدازه ها

این گدازه ها بازالت هایی هستند با بافت پورفیری، و زمینه شیشه ای سیاه. درشت بلورها عبارت‌اند از پلاژیوکلاز، تیتان اوژیت، اولیوین، و هیپرستن، که تخلخلشان زیاد است. پلاژیوکلازها دارای بافت منطقه ای و به ویژه در وسط دارای گرد و غبار کانیهای ریز کدر هستند. تیتان اوژیت ها غالباً منطقه بندی شده‌اند و برخی از آنها دارای دو تائیه‌های نواری و دو تائیه‌های متقاطع‌اند.

### برخی مشخصات فیزیکی کانیهای کوردیریت و سنگهای زینولیت

#### چگالی

بنابر مطالعات تر وگر [۶] چگالی کوردیریتها بین ۲٫۷۶ تا ۲٫۵۷ است. مقدار چگالی با ازدیاد آهن بیشتر می شود. سنگهای زینولیت به مقدار خیلی زیاد از کوردیریت تشکیل شده اند. در این پژوهش چگالی قطعه‌ای از زینولیت به طول ۴ میلیمتر را با مخلوطی از محلولهای بروموفورم (bromoform) و دی متیل فورمانید (dimethylformanid) اندازه گیری شد. چگالی اندازه گیری شده برابر بود با ۲٫۴۵۲. پایین بودن چگالی به دلایل زیر است، اولاً این زینولیت ها متخلخل اند. ثانیاً فقط در حدود ۸۰٪ کوردیریت دارد و بقیه از ۱۰٪ تریدیمیت با چگالی  $D = ۲٫۲۷$ ، ۵٪ سانیدین با چگالی  $D = ۲٫۶۰ - ۲٫۵۶$  و کانیهای دیگر از جمله روتیل با چگالی  $D = ۴٫۲۳$ ، زیرکن با چگالی  $D = ۴٫۷۲ - ۳٫۹۱$  و اسپینل با چگالی  $D = ۴٫۶ - ۳٫۶$  و مقداری شیشه تشکیل داده اند. تخلخل و تریدیمیت و سانیدین موجب کم شدن چگالی سنگ می شوند، ولی با توجه به اینکه ۸۰٪ سنگ از کوردیریت تشکیل شده است می توان نتیجه گرفت که کوردیریتها نامبرده غنی از منیزیم‌اند و چگالی کمتری دارند.

## ضریب شکست

زینولیتها را ابتدا خرد کرده و دانه های کوردیریت به خاطر وجود کانیهای ریز و کدر از سایر کانیها شناسایی و جدا شدند. سپس آن را در مایعات بوتیل کاربیتال (butyl carbital)  $n=1.432$ ، و بروم نفتالین (brom naphthalin)  $n=1.658$ ، در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  ضریب شکست کوردیریتها با مایع مخلوط برابر سازی و سپس ضریب شکست مخلوط به وسیله شکست سنج آبه (Abe) اندازه گیری شد. ضرایب شکست اصلی اندازه گیری شده برابرند با  $n_{\alpha}=1.531$  و  $n_{\beta}=1.536$  و  $n_{\gamma}=1.538$ . این داده ها با ضرایب شکست کوردیریتهای منیزیم دار مطابقت می کنند.

## مطالعه پودر زینولیتها با پرتو X

نتایج پراش سنجی پرتو X (XRD) از پودر سنگ در مرحله نخست قله های کوردیریت و سپس قله های تریدیمیت را نشان می دهد.

## مطالعه طیف سنجی زینولیتها

از مخلوط پودر زینولیتها به وسیله XRF طیف سنجی به عمل آمد که برای این منظور از نمونه های استاندارد سازمان زمین شناسی آمریکا استفاده شد. نتیجه طیف سنجی، درصد ترکیبات شیمیایی در سنگها را مشخص کرد که در جدول ۱ نمایش داده شده اند. با مقایسه درصد اکسیدهای به دست آمده با درصد اکسیدهای رسوبات مختلف، می توان نتیجه گرفت که ترکیب شیمیایی این سنگها با رسهای آلومینیم دارو بوکسیدی مطابقت دارد. ضمناً مقدار منیزیم در این سنگها بیشتر از میانگین رسهاست، که احتمالاً مقداری منیزیم به طور متاسوماتوز از بازالت به این سنگها اضافه شده است.

جدول ۱ نتایج طیف سنجی

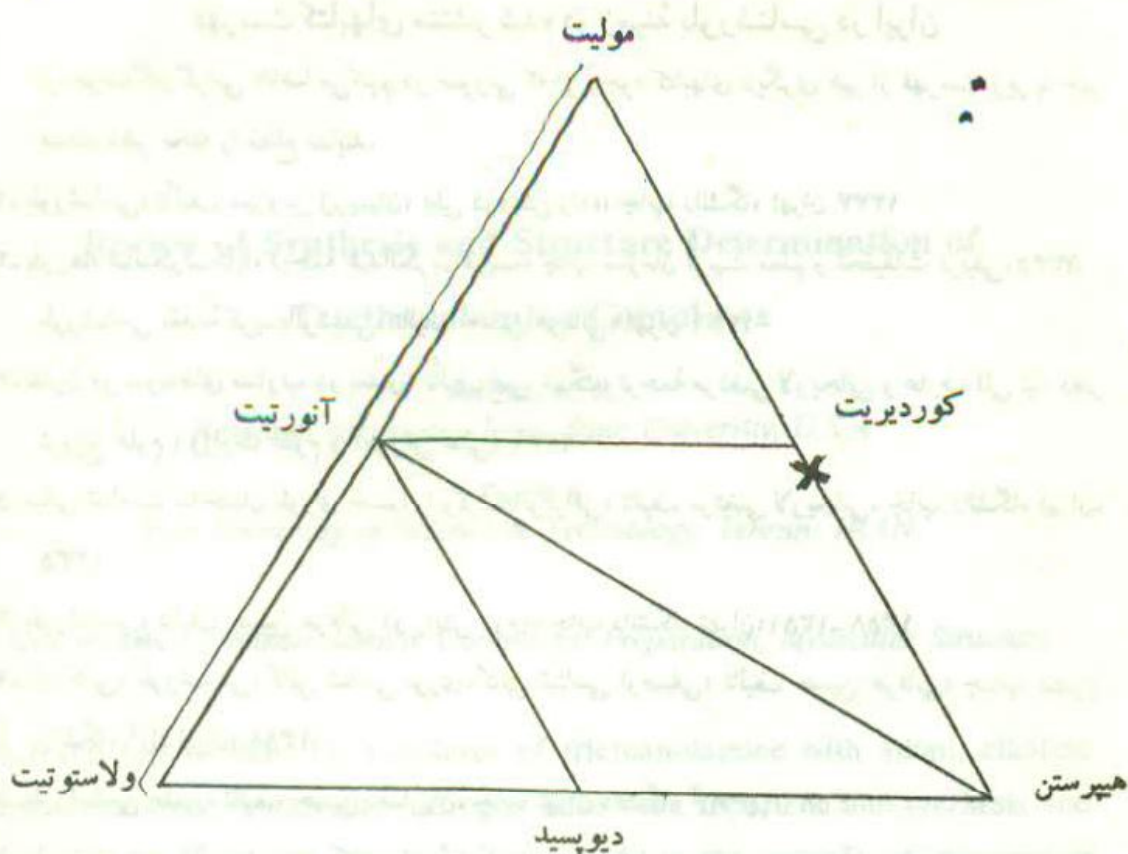
نمونه	۱	۲
SiO <sub>۲</sub>	۵۸٫۱۲	۵۹٫۹۹
TiO <sub>۲</sub>	۰٫۶۱	۰٫۶۲
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۲۵٫۳۳	۲۵٫۳۰
Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۱٫۳۹	۱٫۴۱
MgO	۴٫۲۹	۴٫۳۲
CaO	۲٫۵۴	۲٫۶۹
K <sub>۲</sub> O	۱٫۹۶	۲٫۰۳
Na <sub>۲</sub> O	۱٫۴۶	۱٫۶۱
H <sub>۲</sub> O	۳٫۵۰	۰٫۳۹
حاصل جمع	۹۹٫۲۰	۹۸٫۳۶

## نتیجه

ترکیبات شیمیایی و کانی شناسی زینولیتها بیانگر این است که سنگ اولیه این زینولیتها رسهای آلومینیم دار و رسهای بوکسیدی بوده اند که در رخساره سانیدینیت دگرگونی گرمایی یافته و به سنگ بوکیت کوردیریت دار تبدیل شده اند.

با توجه به نمودار ACF رخساره سانیدینیت (شکل ۱۱)، و با توجه به اینکه در بعضی نمونه ها، به ویژه نمونه هایی که نزدیک مرز بازالت قرار دارند، هیپرستن مشاهده می شوند، محل ترکیب شیمیایی سنگ اولیه نزدیک به نقطه کوردیریت و به سمت هیپرستن قرار دارد. که با علامت X نشان داده شده است. با توجه به اینکه سوزن های هیپرستن به خصوص نزدیک به مرز بازالت مشاهده شده اند نتیجه می گیریم که منیزیم و آهن مورد نیاز برای تشکیل هیپرستن از بازالت گرفته شده است.





شکل ۱۱ نمودار ACF رخساره ساینیدینیت.

مراجع

- 1- Brearley, A.J.(1986) *Min.Mag.*, **50**, 385-397.
- 2 - Honnorez, J., und Keller, J.(1968) *Geologische Rundschau Band 57*, Heft 3 ,719-736.
- 3 - Graham,I.J.,Grapes, R.H., and Kifle, K.(1988) *Journal of volcanolog and geothermal research*, **35**,205-216.
- 4 - Kalb,G. (1936) *Tscherm. Min. petr. Mitt.*, (2) **47**, 185-210.
- 5 - Hans Pichler (1990) *Italienische Vulkan - Gebiete III 2.Avflage*, P. 17 and 18 Gebr,Borntraeger Berlin. Stuttgart.
- 6 - Troger, W.E.(1971) Teil 1 und Teil 2, E. *schweizer bartsche verlags buchhandlung stuttgart*.

۷- سیروس زرعیان، سنگ شناسی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران صفحه ۴۴۱- ۴۵۴