

Mineral chemistry of mica and clinopyroxene in lamprophyre dykes in the south of Amlash

Salavaty, M., Darvishzadeh, B., Darvishzadeh, A

Department of Geology, Faculty of Sciences, Tehran University

Correspondence and reprints: Darvish@Khayam.ut.ac.ir

Key Words: Lamprophyre, Monchiquite, Mica, Pyroxene.

Abstract: Alkali lamprophyre dykes of southern Amlash have been injected into the upper Cretaceous limestones and pillow lavas without any special trend. Based on this research the following results obtained:

1- On the basis of Mg, Fe, Ti, Al contents, three different types of mica has been identified.

A: Mg enriched biotite as the first generation.

B: Ti enriched biotite as the second one.

C: Fe-Ti enriched biotite as the third generation.

2- The pyroxenes are diopside and they crystallized in three separate stages. The second generation of pyroxenes have high Ti, Fe, and they formed the fine matrix and the rims of pyroxenes of the first generation.

The abundance of large crystals of biotite within these dykes make them economically valuable and can be excavated as biotite mine. Probable reserve of the mineral deposit, with respect to surface discoveries is estimated to be 7500 tons.

These dykes haven't been reorted in any other places of Iran and they studied in this area for the first time.

پژوهشی

بررسی ترکیب شیمیایی کانیهای میکا و کلینوپیروکسن در لامپروفر جنوب املش

مژگان صلواتی، بهروز درویش زاده، علی درویش زاده

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

Email: Darvish @ khayam. ut. ac. ir

(دریافت مقاله: ۱۳۷۹/۰۷/۰۱ دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۰/۰۳/۲۶)

چکیده: دایکهای آلکالی لامپروفر جنوب املش بدون روند خاص و در جهات مختلف در آهکها و گدازه‌های بالشی کرتاسه بالایی تزریق شده‌اند. براساس این پژوهش، نتایج زیر حاصل شده‌اند:

۱- ترکیب میکاها متفاوت است و براساس مقادیر Mg ، Fe ، Ti و Al لاقل سه نسل قابل تشخیص‌اند که عبارتند از: الف) میکای غنی از Mg که نسل اول را تشکیل می‌دهد. ب) میکای غنی از Ti که میکای نسل دوم است. ج) میکای غنی از Fe و Ti میکای نسل سوم را تشکیل می‌دهد.

۲- پیروکسن‌ها از نوع دیوپسید بوده و در سه مرحله جداگانه بلوری شده‌اند، به نحوی که پیروکسن‌های نسل دوم از میزان Ti و Fe بالایی برخوردارند و حاشیه پیروکسن‌های نسل اول و ریز بلورهای زمینه را تشکیل می‌دهند. فراوانی درشت بلورهای کانی بیوتیت سبب شده است تا دایکها ارزش اقتصادی یافته و به صورت معدن بیوتیت مورد برداشت قرار گیرند. ذخیره احتمالی معدن مزبور با توجه به پی‌جوییها سطحی که تاکنون صورت گرفته در حدود ۷۵۰۰۰ تن برآورد شده است. دایکهای مشابه تاکنون در هیچ نقطه‌ای از ایران گزارش نشده‌اند، و برای اولین بار در این ناحیه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

مقدمه

منطقه مورد مطالعه در استان گیلان و در جنوب شهرستان املش، در محدوده طولهای جغرافیایی ۲۷° و ۶' و ۵۰° تا ۴۷° و ۱۳' و ۵۰° شرقی و عرضهای جغرافیایی ۰۰° و ۰۰' و ۳۷° تا ۰۰° و ۰۷' و ۳۷° شمالی واقع شده است (شکل ۱). منطقه مزبور مساحتی بالغ بر ۲۵۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. باران خیزی فراوان در این منطقه باعث شده تا تمام منطقه از پوشش گیاهی انبوهی برخوردار باشد، همین مسئله دسترسی به سنگهای مورد مطالعه را دشوار کرده است. بخش اعظم منطقه از سنگها آتشفشانی زیردریایی (گدازه‌های بالشی) و سنگهای آهکی تشکیل شده است و دایکهای مورد مطالعه درون سنگهای اخیر تزریق شده‌اند.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات واحدهای زمین‌شناسی و ساختاری ایران، در منطقه گرگان - رشت واقع است [۱] و شامل مناطقی است که حاشیه دریای خزر را در سواحل ایران محدود کرده است و در شمال گسل البرز یا گسل خزر قرار دارد [۲].

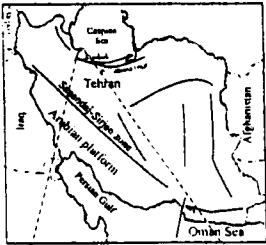
از نظر چینه‌شناسی سنگی، وجود پوشش جنگلی و مزارع چای‌کاری، بررسی دقیق ناحیه را دشوار کرده است. با این وجود قدیمی‌ترین سنگهای مشاهده شده در منطقه، ماسه سنگها، و شیل‌های زغال‌دار ژوراسیک‌اند که مبین سازند شمشک است.

بعداز سازند شمشک رسوبهای آهکی خاکستری رنگ در امتداد دو رشته گسل شرقی - غربی برونزد دارند. این آهکها دارای زمینه‌ای میکرایتی هستند که به مقدار کم دولومیتی شده‌اند و از قطعات بهم چسبیده و خرد شده دوکفه‌ایها انباشته شده‌اند. دولومیتی شدن ثانویه این آهکها مانع از تشخیص دقیق بسیاری از گونه‌های فسیلی شده است ولی در مجموع بر مبنای اجتماع فسیلی، سن این آهکها به کرتاسه زیرین منسوب شده است. دایکهای لامپروفیری که سنگ میزبان ماده معدنی مورد بحث است به‌طور پراکنده این آهکها را قطع کرده‌اند.

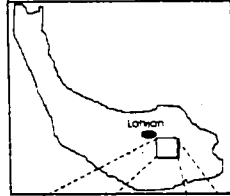
بعضی از میکروفسیلهای مطالعه شده عبارتند از: *Nautiloculina Oolitica* ، *Iraqia Simplex* ، *Orbitolina SP.* (شکل ۲). هر سه میکروفسیل یاده شده مبین سن

GEOLOGICAL MAP OF SOUTH OF AMLASH

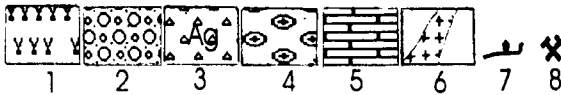
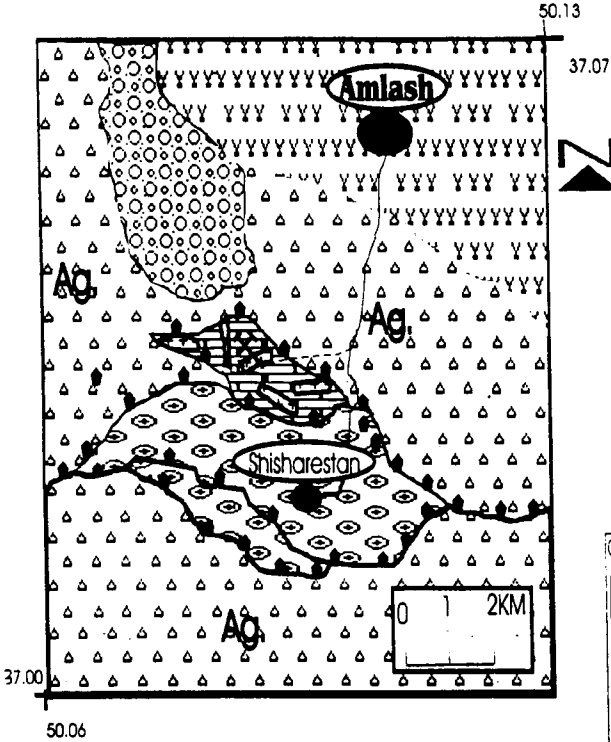
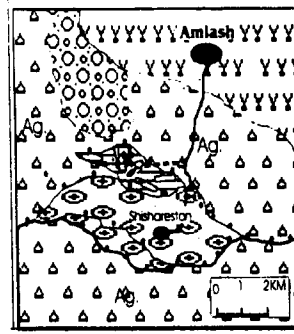
IRAN MAP



GILAN MAP



GEOLOGICAL MAP OF SOUTH OF AMLASH



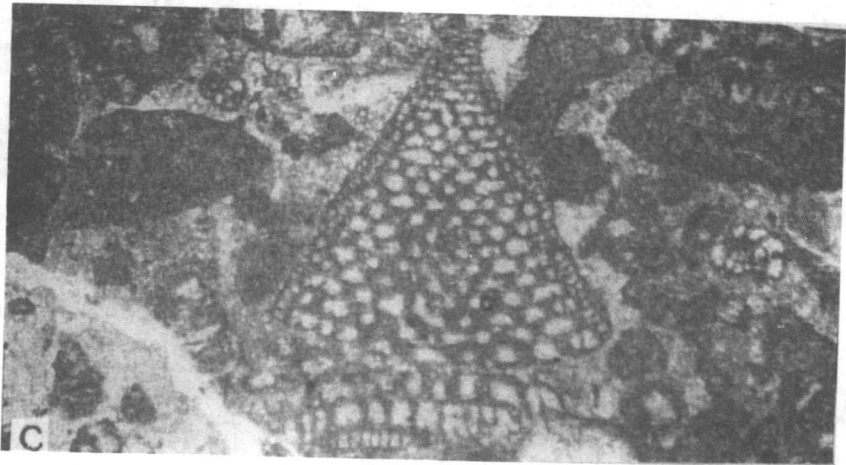
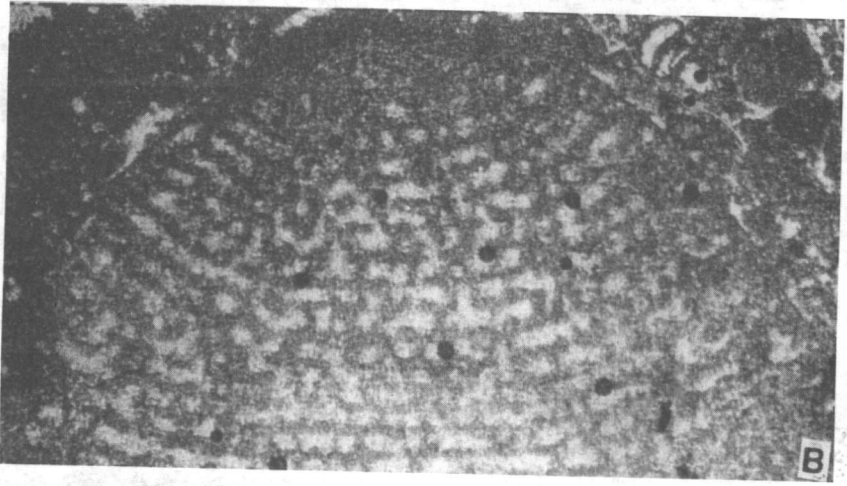
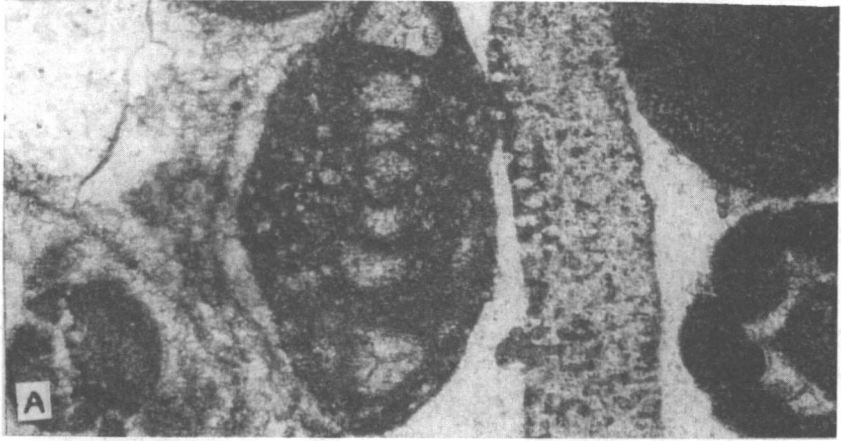
شکل ۱ نقشه زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه.

۱- آبرفت‌های عصر حاضر ۲- کنگلومرای کوآترنری ۳- آگلومرا ۴- گدازه بالشی ۵- آهک کرتاسه پائینی ۶- دایکهای لامپروفیری میکادار ۷- گسل های اصلی منطقه ۸- معدن در حال استخراج.

در بخش جنوبی آهکهای فوق‌الذکر گدازه‌های بازالتی زیر دریایی به صورت گدازه‌های بالشی به واسطه دوگسل تقریباً شرقی - غربی بروزده‌اند. این گدازه‌ها با سن کرتاسه بخش وسیعی از نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه را دربرگرفته‌اند.

علاوه بر سنگهای یاد شده، سنگهای آگلومرای، کنگلومرای و رسوبهای آبرفتی

کوآترنری، از سازنده‌های سایر بخش‌های منطقه مطالعه شده هستند. (شکل ۱)



شکل ۲ نمونه‌ای از میکروفسیل‌ها در آهک‌های میزبان. دایک‌های میکادار، مبین سن آسپین هستند.
Iraqia Simplex :C Nautiloculina Oolitica :B Orbitolina Sp. :A

سنگ شناسی

کانیهای مورد مطالعه در درون دایکهای پراکنده، بدون روند خاص دیده می شوند و بیشتر به صورت شعاعی در درون سنگ آهکهای دولومیتی شده کرتاسه زیرین نفوذ کرده اند. نفوذ این دایکها در آهکها سبب باز بلوری شدن و استحکام بیشتر آنها شده است. ضخامت دایکها از یک متر تا حداکثر ۷-۶ متر متغیر است. طول بیرون زدگی این دایکها متفاوت است و حداکثر به ۳ Km می رسد. عمده ترین مشخصه این دایکها دگرسانی شدید آنهاست. دگرسانی مزبور سبب شده تا سنگ میزبان میکاها به صورت پودر درآید (شکل ۳ - الف) و همین مسئله سبب جدایش آسان میکاها از سنگ میزبان گشته و استخراج آنها را آسان می کند. درصد میکازایی در بخشهای مختلف دایکها متفاوت است در بخش میانی دایکها که به نظر می رسد محل عبور محلولهای گرمایی بوده باشد، میکازایی به بیشترین مقدار خود تا ۶۵ درصد می رسد، در حالیکه بخش های حاشیه ای دایکها کمترین میکازایی را نشان می دهند.

وجود کانیهای درشت دانه تر در بخش مرکزی نسبت به بخش حاشیه ای دایکها احتمالاً مبین آن است که بخش میانی دایکها معبر اصلی عبور سیالات گرمایی بوده و به همین دلیل نسبت به بخش حاشیه ای دایکها از دگرسانی بیشتری برخوردارند [۳] (شکل ۳ - ب). همین مسئله سبب شده است تا ورقه های میکا به ابعاد مختلف از حداقل چند میلی متر در حاشیه تا حداکثر ۷ سانتی متر در مرکز دایک دیده شوند. اجتماع زیاد درشت بلورها در بخش مرکزی دایکها می تواند مبین وجود یک کاهش جریان در این دایکها باشد به طوری که حرکت راحتتر سیالات در این بخش سبب تجمع بلورها شده است.

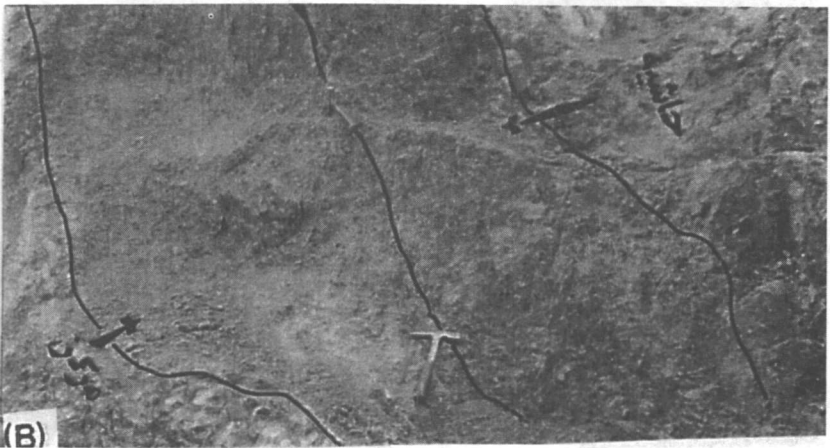
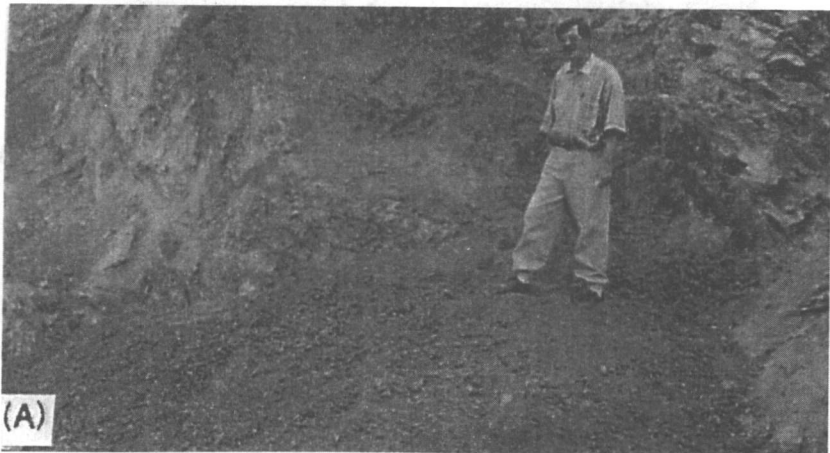
سنگهای میزبان تقریباً سالم و نادگرسان این میکاها در نمونه دستی دارای رنگی تیره بوده و علاوه بر درشت بلورهای میکا، کانی پیروکسن نیز به صورت درشت بلورهای کاملاً خود شکل در نمونه دستی قابل رؤیت است (شکل ۴). اندازه این بلورها حداکثر به ۰/۵ cm می رسد.

درشت بلورهای میکا در نمونه دستی خود شکل بوده و عموماً به صورت تجمعی از ورقه های شش گوش قابل رؤیت اند (شکل ۵). ورقه های نازک این میکاها در نمونه دستی به رنگ قهوه ای تیره و تجمع بلورها به صورت سیاه دیده می شود.

عمده‌ترین کانیهای تشکیل دهنده این سنگها بیوتیت و کلینوپیروکسن است و به طور فرعی آپاتیت، الومین و نفلین نیز در زیر میکروسکوپ قابل تشخیص‌اند. با توجه به اجتماع کانی‌ها و عدم حضور کانیهای کوارتز و فلدسپات این سنگها را می‌توان جزء سنگهای مافیک لامپروفیری تقسیم‌بندی نمود.

ویزگیهای میکروسکوپی

نکته قابل توجه در مطالعات میکروسکوپی این بلورها، قرار گرفتن درشت بلورهای میکا

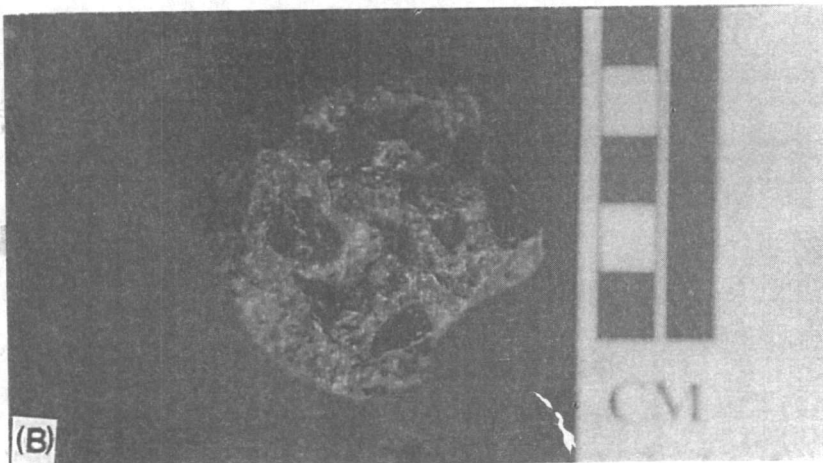


شکل ۳ دایکهای میکادار.

A: تزریق دایک بین سنگهای آهکی کرتاسه پائینی.

B: در بخش حاشیه‌ای دایک میکازایی کمتری نسبت به بخش مرکزی صورت گرفته است.

و کلینوپیروکسن در زمینه‌ای ریزدانه‌تر از همین بلورها به انضمام کانیهای الیون، نفلین و آپاتیت بود که سبب ایجاد بافت پورفیری در سنگ شده است (شکل ۶).
 بلورهای الیون به صورت کانیهای کوچک تماماً خود شکل در متن سنگ پراکنده‌اند و یکی از سازهای زمینه را تشکیل می‌دهند. اندازه این بلورها حداکثر به ۰/۵ میلی‌متر می‌رسد و عموماً در حال تجزیه به آنتی‌گوریت هستند. از این بلورها داده‌ای برای آنالیز میکروپروب در دست نیست. (شکل ۷)

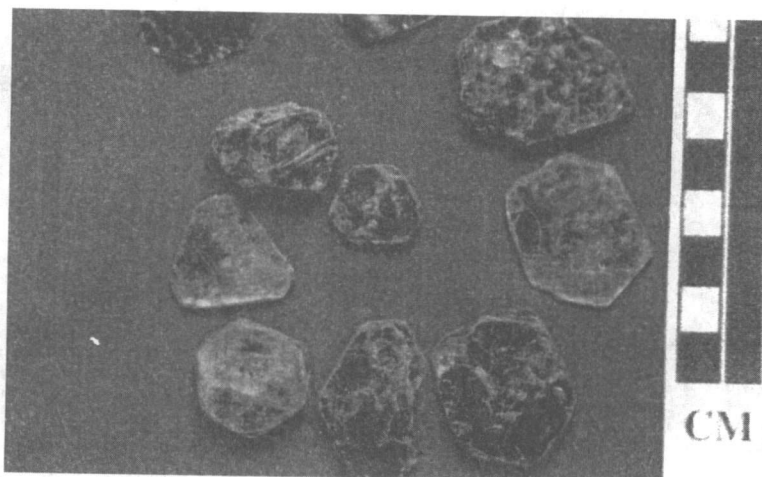


شکل ۴ بلورهای میکا و سنگ میزبان آنها.

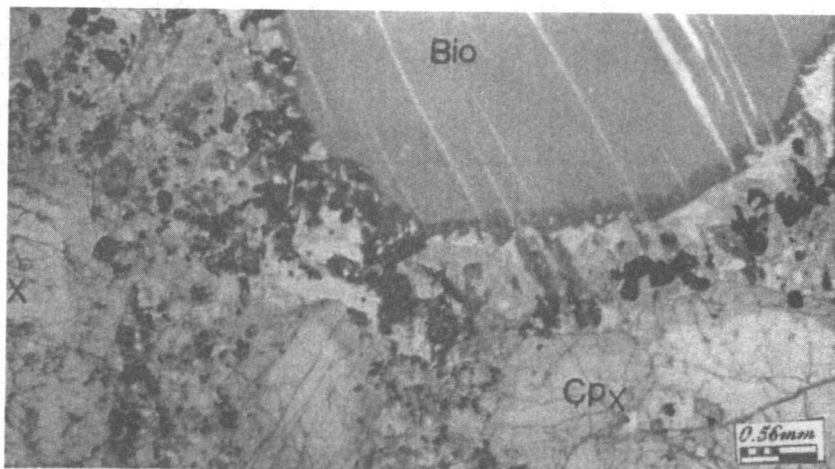
A: سنگ نسبتاً سالم و تجزیه نشده، قطعات سیاه در متن سنگ میکاها هستند.

B: همان سنگ با تجزیه بیشتر.

SID.ir



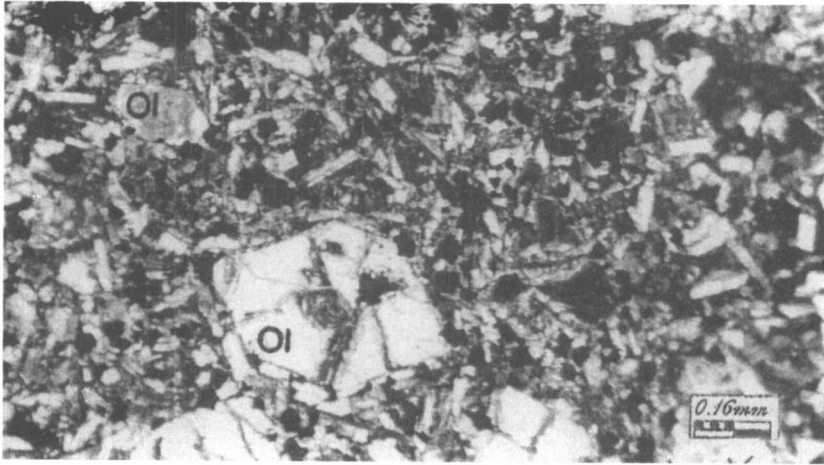
شکل ۵ بلورهای تقریباً ششگوش میکای نسل دوم (در نمونه دسته).



شکل ۶ بلورهای بیوتیت و کلینوپیروکسن در سنگ مونشیکیت به منطقه بندی این بلورها و بافت سنگ توجه شود. نور طبیعی Bio: بیوتیت Cpx: کلینوپیروکسن (بزرگنمایی $\times 25$).

الف - میکاها (بیوتیت)

میکاهای مورد بحث در نور طبیعی به رنگ قهوه‌ای مایل به سرخ دیده می‌شوند. در نور قطبیده برخلاف بیوتیت‌ها که زاویه خاموشی صفر دارند، این بلورها زاویه خاموشی کوچکی در حد $1/5$ تا 4 درجه نشان می‌دهند که از این لحاظ تا حدودی شبیه به فلوگوپیت هستند [۴]. بنابراین این بلورها در کل مشخصاتی حد واسط بیوتیت و



شکل ۲ بلورهای خودشکل ایلوین از بخش حاشیه‌ای دایک میکادار، به تجزیه این بلورها به آنتی گوریت و کربنات منیزیم و بلورهای خودشکل آپاتیت در زمینه توجه شود. نور پلاریزه Ol: ایلوین (بزرگنمایی $\times 100$)

فلوگوپیت نشان می‌دهند. به طور کلی میکاهای مورد بحث به سه صورت زیر دیده می‌شوند:

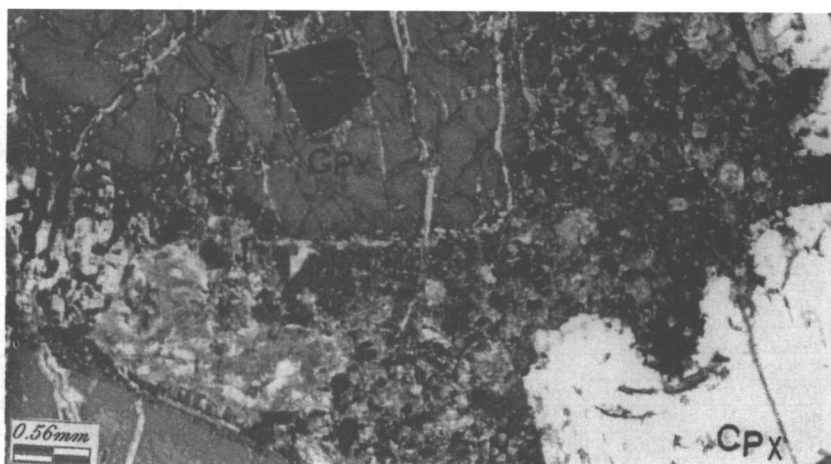
۱- درشت بلورها

۲- بلورهای محبوس در کانی پیروکسن

۳- ریز بلورهای زمینه

این بلورها تماماً خودشکل و شش گوش دیده می‌شوند (شکل ۶)، و دارای منطقه بندی کاملاً مشخصی هستند (شکل ۶). بخش مرکزی کمرنگ تر از بخش حاشیه‌ای است. بین بخش مرکزی و حاشیه‌ای بلورها مرز دنداندار و نامنظمی در امتداد رخها به چشم می‌خورد، که این امر را می‌توان ناشی از تفاوت ترکیبی دو بخش به دلیل تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی بعد از بلوری شدن بخش مرکزی در مقایسه با مراحل پایانی بلوری شدن دانست. نتیجه این فرایند اولاً سبب تحلیل رفتن بلورها در امتداد سطوح رخ و حاشیه دنداندار شده است و ثانیاً در ادامه بلوری شدن، این تغییر شرایط ماگمایی، بلوری شدن بخش حاشیه‌ای بلورها را به وجود آورده است. این تفاوت ترکیب باعث شده است تا اختلاف رنگ فاحشی بین دو بخش حاشیه‌ای و مرکزی به وجود آید.

این زوگلا تغییر در مورد بلورهای محبوس در کانی پیروکسن و ریز بلورهای زمینه نیز



شکل ۸ درشت بلورهای کلینوپیروکسن به زمینه در حال تجزیه سنگ توجه شود. بلورهای کدر خود شکل به وسیله پیروکسن محبوس شده اند. (بزرگنمایی A, B: $\times 25$ ، نور پلاریزه)

کاملاً مشخص است، به طوری که بلورهای محبوس در پیروکسن مشابه با بخش مرکزی درشت بلورها کمرنگ است در حالی که ریزبلورهای زمینه از نظر رنگ مشابه با بخش حاشیه‌ای درشت بلورها و فاقد منطقه بندی مشخص اند. ریزبلورها به شکل ورقه‌های مستطیلی شکل خود شکل تشکیل دهنده‌های اصلی زمینه اند (شکل ۸).

برای بررسی دقیق‌تر و تعیین اختلاف ترکیب بخش حاشیه‌ای و مرکزی بلورها، هر یک از این بخش‌ها به طور جداگانه مورد آنالیز میکروپروب قرار گرفتند (جدول ۱).

بر اساس میزان Mg/Fe^{2+} میکاهای آهن - منیزیم دار به دو قطب آهن‌دار (بیوتیت) $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ و منیزیم دار (فلوگویت) $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ تقسیم می‌شوند. چنانچه میزان Mg/Fe^{2+} میکا بیشتر از ۲ باشد میکا منیزیم دار یا فلوگویت بوده و چنانچه مقدار آن کمتر از ۲ باشد میکا آهن‌دار یا بیوتیت قلمداد می‌شود [۵]. انواع حد واسط دو قطب مزبور به نامهای بیوتیت منیزیم دار و فلوگویت آهن دار نیز گزارش شده است. داده‌های میکروپروب^(۱) این کانی‌ها نشان می‌دهند که

۱- آنالیزهای میکروپروب این مقاله در آزمایشگاه میکروسوند غرب فرانسه واقع در مرکز فرانسوی تحقیقات دریایی اروپا (IFREMER) در شهر برست انجام شده است. در طول آزمایشها ولتاژ شتابدهنده دستگاه KV

جدول ۱ تشکیل دهنده‌های اصلی کانی بیوتیت در سنگهای میکادار

Samples	Fin crystal	Fin crystal	Core	Edge	Edge	Core	Edge	Core
SiO ₂	36.65	36.60	36.45	34.37	35.56	36.41	35.90	36.05
Al ₂ O ₃	16.05	16.30	15.90	15.03	15.11	16.08	15.18	15.87
TiO ₂	8.02	8.12	7.75	10.62	10.09	7.59	7.96	7.92
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.14	0.00	0.05	0.10	0.06	0.04
FeO	10.04	9.11	10.45	9.66	10.20	10.45	13.48	9.91
MgO	15.78	15.85	15.61	14.39	14.80	15.40	13.43	15.71
K ₂ O	9.91	10.14	9.97	9.15	9.35	9.68	9.64	9.55
Na ₂ O	0.47	0.47	0.59	0.43	0.52	0.53	0.64	0.59
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.04	0.00	0.05	0.00	0.19	0.02	0.19	0.01
NiO	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09
Total	96.95	96.70	96.90	93.64	95.88	96.26	96.46	95.74

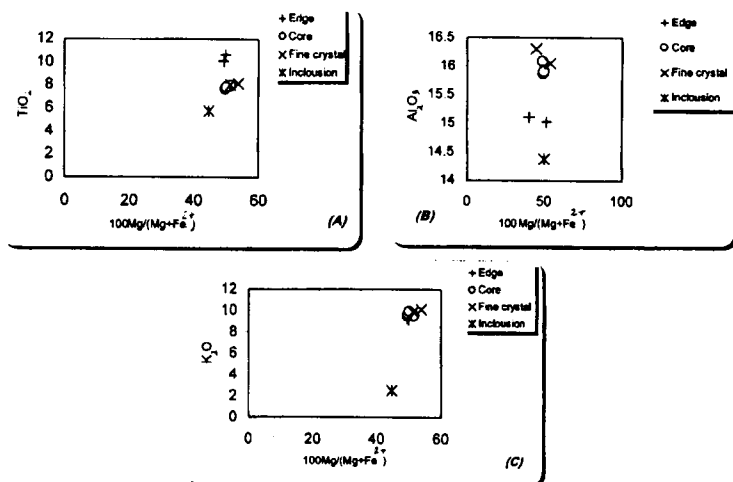
Number of cations
per 20 oxygens

Si	4.92	4.91	4.91	4.78	4.84	4.92	5.03	4.90
Al	2.54	2.58	2.53	2.46	2.42	2.56	2.51	2.54
Ti	0.81	0.82	0.79	1.11	1.03	0.77	0.84	0.81
Cr	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
Fe	1.13	1.02	1.18	1.12	1.16	1.18	1.58	1.13
Mg	3.16	3.17	3.14	2.98	3.00	3.10	2.81	3.18
k	0.85	0.87	0.86	0.81	0.81	0.84	0.84	0.83
Na	0.06	0.06	0.08	0.08	0.07	0.07	0.09	0.08
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
Ni	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01

میزان Mg/Fe^{2+} در تمامی بلورها کمتر از ۲ است (جدول ۱). براین اساس، این کانی در قطب آهن‌دار (بیوتیت) قرار می‌گیرد از آن جا که میزان Mg در تمامی این بلورها نسبت به بیوتیت معمولی بسیار بالاترست این بلورها با عنوان بیوتیت منیزیم دار نامگذاری شده‌اند.

برای بررسی تغییر عناصر، نمودار میزان عناصر مختلف، با توجه به تغییر $Mg \# = 100Mg / (Mg + Fe^{2+})$ در مرکز و حاشیه درشت بلورها و ریز بلورهای زمینه ترسیم شده است (شکل ۹). چنانکه در این نمودار دیده می‌شود $Mg \#$ در بخش حاشیه‌ای و مرکزی درشت بلورها و ریز بلورهای زمینه بین ۵۵-۵۲ متغیر است.

TiO_2 در بخش حاشیه‌ای و بلورهای زمینه نسبت به بخش مرکزی درشت بلورها مقادیر بالاتری نشان می‌دهند به طوری که در این بخش مقادیر TiO_2 بین ۱۰/۶-۷/۹



شکل ۹ نمودار تغییرات $100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ در مقابل اکسیدهای TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O برای کانی بیوتیت در سنگ میکادار Edge: حاشیه بلور، Core: مرکز بلور، Fine Crystal: ریزبلورهای زمینه، Inclusion: بلورهای نفوذی در کانی پیروکسن

ولی در بخش مرکزی مقدار TiO_2 بین $7/5-7/9$ را نشان می‌دهند (شکل ۹-الف). این داده‌ها با مطالعات تجربی انجام شده بر روی ماگماهای غنی از پتاسیم همخوانی دارد. این مطالعات نشان داده است که فلوگوپیت‌های اولیه نسبت به انواع تأخیری آن دارای مقادیر $\text{Mg}\#$ و Al_2O_3 بالاتر و TiO_2 پائین‌تری هستند. از طرف دیگر ثابت شده است که مقدار TiO_2 فلوگوپیت‌ها با کاهش فشار افزایش نشان می‌دهد [۶].

رنگ میکاها هم با توجه به تغییر ترکیب متفاوت است، به طوری که میکاهای اولیه به دلیل فزونی Mg و کاهش Fe نسبت به میکاهای تأخیری کم رنگ‌ترند. این مسئله در مورد میکاهای درشت بلور قابل رؤیت است. مرکز این میکاها به دلیل Mg بالا کم‌رنگ تر از حاشیه هستند. با توجه به Mg بسیار بالا و Fe پائین میکاهایی که ابتدا بلوری شده‌اند، ترکیب این میکاها بسیار نزدیک به ترکیب فلوگوپیت است. ریزبلورهای زمینه نیز نظیر بخش حاشیه‌ای درشت بلورها بسیار پررنگ‌تر از سایر بلورها هستند که نشانه Fe بالا و بلوری شدن تأخیری آنهاست. در کنار این بلورها کانیهای کدر آهن‌دار نیز به فراوانی دیده می‌شوند.

برای تعیین نوع میکاهای بررسی شده، محل این میکاها روی نمودار مثلی

Mg-Fe-Al مشخص شده‌اند (شکل ۱۰-الف) [۷]. همانطور که در این نمودار مشخص شده است تمامی میکاها در قلمرو بیوتیتها و به دلیل فراوانی Al بین دو عضو آنیت^(۱) و سیدروفیلیت^(۲) واقع می‌شوند. مقایسه این نمودار با نمودارهای بخش ب (شکل ۱۰-ب) که نشان دهنده موقعیت کانی میکا در انواع مختلف لامپروفیرهاست، نشان می‌دهد که این سنگها مشابه لامپروفیرهای کالک آلکانل و لامپروفیرهای آلکانل هستند [۷].

برای تعیین دقیق‌تر نوع لامپروفیرها در ارتباط با کانی میکا، ترکیب این میکاها روی نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 مشخص شده است [۷] (شکل ۱۱). همانطور که در شکل دیده می‌شود بین ترکیب این میکاها و لامپروفیرهای نوع آلکانل، همخوانی کاملی وجود دارد.

مراحل بلوری شدن کانی بیوتیت

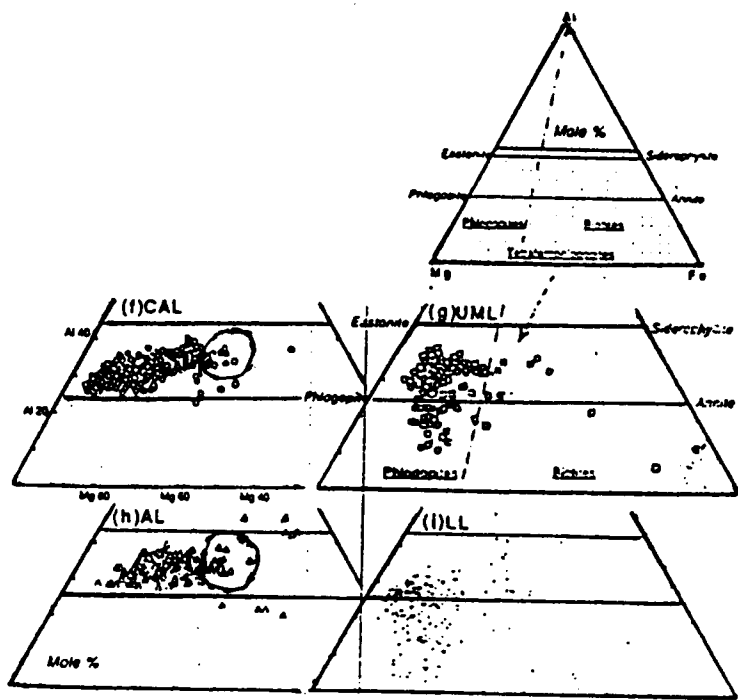
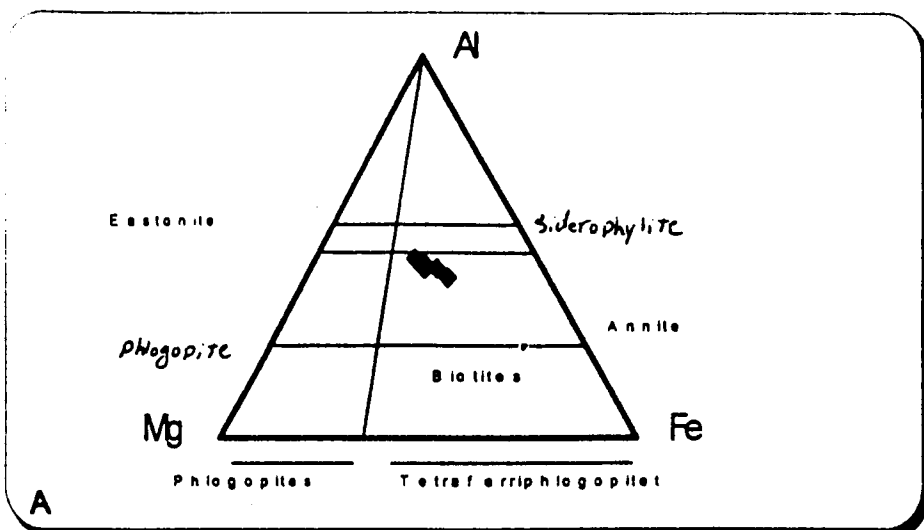
با توجه به ابعاد و شکل متفاوت بلورها که پیش از این صحبت شد، و مقایسه آنها با داده‌های ژئوشیمیایی بخش‌هایی مختلف میکاها، حداقل سه مرحله بلوری شدن برای کانی مزبور در نظر گرفته شده‌اند:

مرحله اول

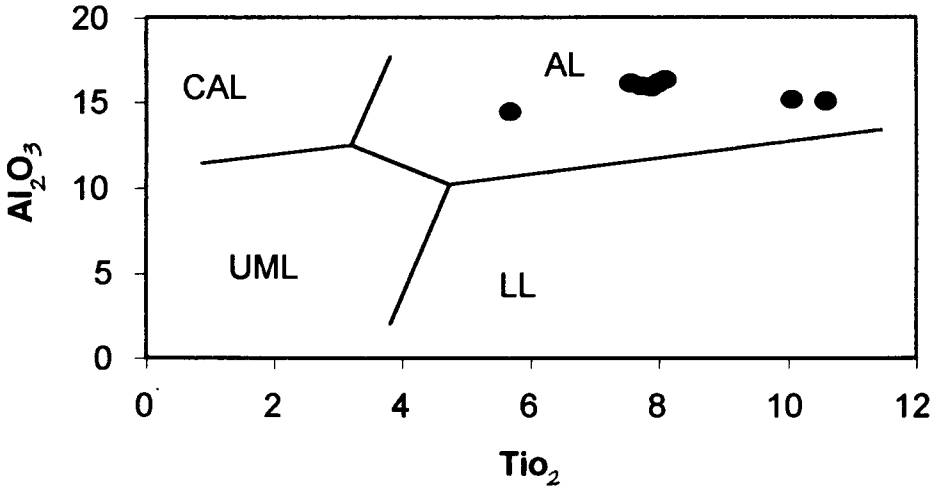
کانیهای نسل اول طی این مرحله در اعماق و دمای زیاد بلوری شده‌اند. همانطور که گفته شد این کانیها از میزان Mg بالا و Fe و Ti پائینی برخوردارند. بلورهای میکا با نفوذ به درون کانی پیروکسن در این مرحله بلوری شده‌اند.

مرحله دوم

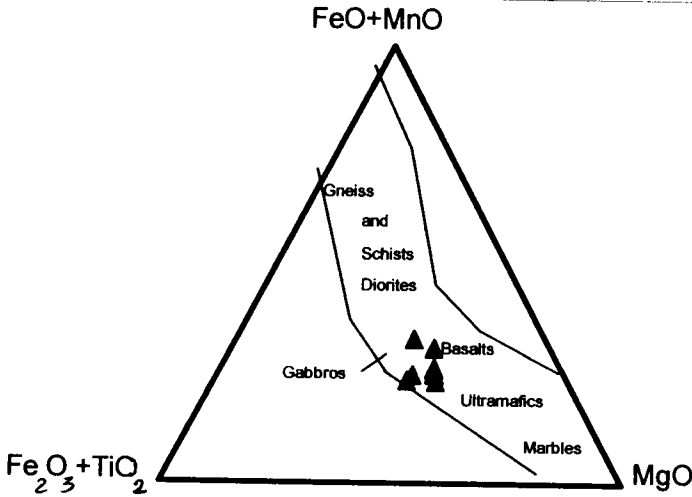
حین حرکت ماگما در طول مسیر دایکها از اعماق به بالا، در شرایط دمایی پائینتر، مرکز درشت بلورها به عنوان کانیهای نسل دوم بلوری شده‌اند. این کانیها نسبت به کانیهای مرحله قبل از میزان Fe و Ti بالاتری برخوردارند، در حالی که Mg و Al_2O_3 در مقایسه با انواع نسل اول مقادیر پائینتری نشان می‌دهند. در این مرحله یونهای کلسیم موجود در ماگما برای بلوری شدن پیروکسن‌ها صرف شده‌اند.



شکل ۱۰ تعیین نوع میکاها با توجه به نمودار Fe-Mg-Al، (A). مقایسه این میکاها با میکاهای انواع مختلف سنگهای لامپروفیری (B) با نمودار (h) که نشانه لامپروفیرهای آلکالن است مطابقت دارد، [v]. AL: آلکالی لامپروفیر، CAL: کالک آلکالی لامپروفیر، LL: لامپروفیریت، لامپروفیر UML: اولترا مافیک لامپروفیر



شکل ۱۱ - A نمودار تعیین نوع لامپروفیر با توجه به ترکیب کانی میکا (راک، ۱۹۹۱)



شکل ۱۱ - B نمودار تغییرات ترکیب شیمیایی فلگوپیت‌ها و بیوتیت‌ها با نوع سنگ (نمودار کامل شده هنتریچ، ۱۹۴۶ در [۵]. با توجه به این نمودار تمامی میکاهای مورد مطالعه در محدوده سنگهای گابرویی و بازالتها قرار می‌گیرند.

مرحله سوم

آخرین مرحله بلوری شدن است که در اعماق کمتر و نزدیک به سطح زمین و در دماهای بسیار پایین و فشار پایین تشکیل شده است. طی این مرحله بخش‌های حاشیه‌ای درشت

بلورها و ریزبلورهای زمینه بلوری شده‌اند. بلورها در این مرحله از Fe و Ti بسیار بالا و Mg خیلی کمتری برخوردارند (علاوه بر ریزی بلورها رنگ قهوه‌ای مایل به سرخ آنها به علت فراوانی Fe و Ti مبین بلوری شدن آنها در این مرحله است).

ب - پروکسن‌ها

این کانی در نور طبیعی به رنگ بنفش متمایل به قهوه‌ای است و در نور قطبیده زاویه خاموشی بالائی را نشان می‌دهد و به سه صورت در سنگ دیده می‌شود:

۱ - درشت بلورها

۲ - ریزبلورهای زمینه

۳ - بلورهای سوزنی شکل

درشت بلورها خود شکل‌اند و دارای منطقه‌بندی مشخصی هستند. این منطقه بندی برخلاف بلورهای بیوتیت که دارای منطقه‌بندی با حد و مرز دندانه‌ای هستند، حد و مرز صاف و مشخصی نشان می‌دهند. مانند بلورهای بیوتیت زونینگ این بلورها را نیز می‌توان به تغییر شرایط ماگما هنگام بلوری شدن بخش حاشیه‌ای مربوط دانست، به طوری که افزایش Ti در مراحل پایانی بلوری شدن موجب این حاشیه پررنگ شده است.

بیشتر این بلورها سالم‌اند و دگرسانی کمی نشان می‌دهند. فقط در سنگهایی که به شدت تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند، خوردگی ضعیفی در حاشیه آنها دیده می‌شوند (شکل ۸).

ریزبلورهای زمینه از نظر نوری مشابه با بخش حاشیه‌ای درشت بلورها هستند. این بلورها به صورت خود شکل تا نیمه خود شکل بخش اعظم زمینه را به همراه بلورهای میکا تشکیل می‌دهند.

در بخش حاشیه‌ای دایکها، میزان درشت بلورهای پروکسن بسیار ناچیز است و عموماً به صورت ریزبلورها دیده می‌شوند و اندازه بلورها در این بخش حداکثر به ۲ میلیمتر می‌رسد. بلورهای سوزنی پروکسن در آخرین فاز و در اثر انجماد سریع سیال باقیمانده حاصل شده‌اند.

برای تعیین ترکیب دقیق پروکسن‌ها، این کانی نیز با آنالیز میکروپروب مورد تجزیه و

تحلیل قرار گرفت. اکسیدهای تشکیل دهنده اصلی این کانی در جدول ۲ دیده می شوند. میزان Fe^{3+} در این جدول از رابطه (بار کل کاتیونها - $12 = Fe^{3+}$) محاسبه شد [۸]. برای تعیین دقیق نوع پیروکسن ها از نمودارهای موریموتو [۹] استفاده شد. در این نمودار با توجه به عناصر Ca ، Mg ، Fe ، Na و Ca که به صورت $Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$ در مقابل $J = 2 \times Na$ رسم شده است، پیروکسن ها به سه دسته پیروکسن های سدیم دار، پیروکسن های کلسیم دار، پیروکسن های کلسیم - سدیم دار تقسیم می شوند (شکل ۱۲ نمودار ب).

با توجه به این نمودار تمامی پیروکسن های مطالعه شده در محدوده پیروکسن های کلسیم دار قرار می گیرند (نمودار الف شکل ۱۲). پیروکسن های کلسیم دار خود با توجه به سه عضو انتهائی En ، Fs و Wo به زیرگروه های مختلفی تقسیم می شوند (نمودار ب شکل ۱۲). بخش مرکزی پیروکسن های مطالعه شده در محدوده دیوپسید قرار می گیرند در حالی که بخش حاشیه ای درشت بلورها و ریزبلورهای زمینه کلسیم دار بوده و یا به عبارتی دیوپسیدهای با کلسیم بالا هستند. نمودار C شکل ۱۲ نشان می دهد که پیروکسن های تاخیری (حاشیه درشت بلورها و بلورهای زمینه) از درصد ولاستونیت بالاتری نسبت به مرکز بلور برخوردارند. احتمالاً با عبور ماگما از سنگهای آهکی میزبان و هضم این آهکها به طور محلی به وسیله ماگما در مراحل پایانی بلوری شدن سبب بالا رفتن کلسیم ماگما و در نتیجه بلوری شدن پیروکسن های با کلسیم بالا شده است. مقایسه این نمودار با نمودارهای مشابه در گروههای مختلف لامپروفیرها، نمونه های مورد نظر در قلمرو لامپروفیرهای آلکالن، و اولترامافیک قرار می گیرند (شکل ۱۳ - ب) [۷].

برای تعیین دقیق تر نوع سنگ از نمودار TiO_2 / SiO_2 در مقابل MgO / FeO استفاده شده [۷]. براساس این نمودار سنگهای دربرگیرنده این پیروکسن ها در قلمرو سنگهای لامپروفیر آلکالن جای می گیرند (شکل ۱۳ - الف).

شبهات زیادی از نظر ترکیبی بین حاشیه درشت بلورها و ریزبلورهای زمینه به چشم می خورد، به طوری که هر دو بخش دارای TiO_2 و Al_2O_3 بالاتری نسبت به بخش مرکزی درشت بلورها هستند (جدول ۲). این مطلب با نتایج به دست آمده از تفکیک کلینوپيروکسن های اولیه تاخیری برازش دارد [۶].

بخش مرکزی درشت بلورها حداقل میزان TiO_2 را نشان می دهند (حدود

جدول ۲ تشکیل دهنده‌های اصلی کانی کلینوپیروکسن در سنگهای میکادار.

Samples	Edge	Edge	Edge	Edge	Core	Core	Core	Core
SiO ₂	43.84	45.06	41.08	42.36	47.89	47.21	47.03	47
TiO ₂	4.81	4.18	5.36	5.43	2.06	2.41	2.49	2.34
Al ₂ O ₃	8.48	7.88	10.71	9.91	8.74	9.74	9.14	9.26
FeO	6.23	6.5	7.2	6.15	6.58	7.81	6.97	6.94
MnO	0.04	0.12	0	0.22	0.03	0	0.08	0.14
MgO	12.33	12.41	10.3	11.43	13.07	12.79	12.52	12.52
CaO	23.68	23.64	23.36	23.65	21.42	21.11	21.61	21.21
Na ₂ O	0.31	0.37	0.37	0.38	0.88	1.04	0.79	1
K ₂ O	0.02	0	0.03	0	0	0.01	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0.09	0.1	0.02	0.04	0.12
NiO	0	0	0	0	0	0	0.15	0.02
Total	99.73	100.15	98.4	99.61	100.77	101.93	100.83	100.54

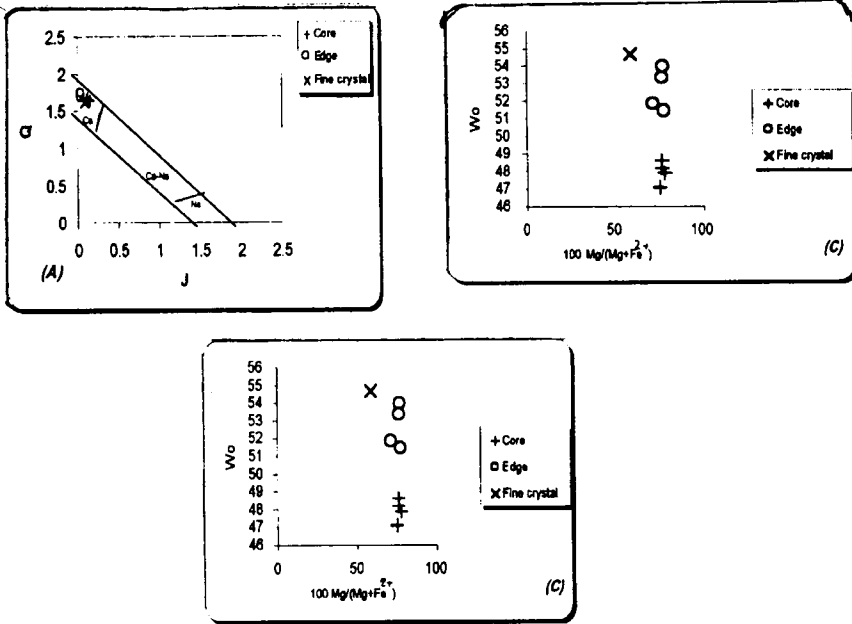
Number of cations per 6 oxygens

Si	1.64	1.68	1.57	1.59	1.75	1.71	1.72	1.72
Ti	0.14	0.12	0.15	0.15	0.06	0.07	0.07	0.06
Al IV	0.36	0.32	0.43	0.41	0.25	0.29	0.28	0.28
Al VI	0.01	0.02	0.05	0.03	0.13	0.12	0.12	0.12
Fe ³⁺	0.1	0.1	0.11	0.1	0.07	0.11	0.07	0.09
Fe ²⁺	0.09	0.11	0.12	0.09	0.13	0.12	0.14	0.12
Mn	0	0	0	0.01	0	0	0	0
Mg	0.69	0.69	0.59	0.64	0.71	0.69	0.68	0.68
Ca	0.95	0.94	0.95	0.95	0.84	0.82	0.85	0.83
Na	0.02	0.03	0.03	0.03	0.06	0.07	0.06	0.07
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg#	88.46	86.25	83.1	87.67	84.52	85.19	82.93	85
Wo	51.91	51.09	53.67	53.37	48.00	47.13	48.85	48.28
En	37.70	37.50	33.33	35.96	40.57	39.66	39.08	39.53
Fs	10.38	11.41	12.99	10.67	11.43	13.22	12.07	12.21

۴-۵ درصد) این در حالی است که بخش حاشیه‌ای بلورها TiO₂ حدود ۲/۵-۱/۵ درصد) را نشان می‌دهند و در ریزبلورهای زمینه TiO₂ به حداکثر مقدار خود می‌رسد (حدود ۵/۵ درصد).

اکسیدهای Al₂O₃ نیز تغییرات افزایشی نامحسوسی را از مرکز به حاشیه نشان می‌دهد، به طوری که در مرکز مقدار آن بین ۹/۷ - ۸/۴ درصد متغیر است در حالی که در حاشیه مقدار آن حداکثر به ۱۱ درصد می‌رسد.

اکسیدهای Na₂O و Cr₂O₃ بر عکس دو اکسید قبلی عمل کرده‌اند به طوری که Na₂O در مرکز بین ۱/۱-۰/۸ درصد متغیر است در حالی که در حاشیه مقادیر این اکسید بین ۳/۳-۰/۲ درصد در نوسان است.



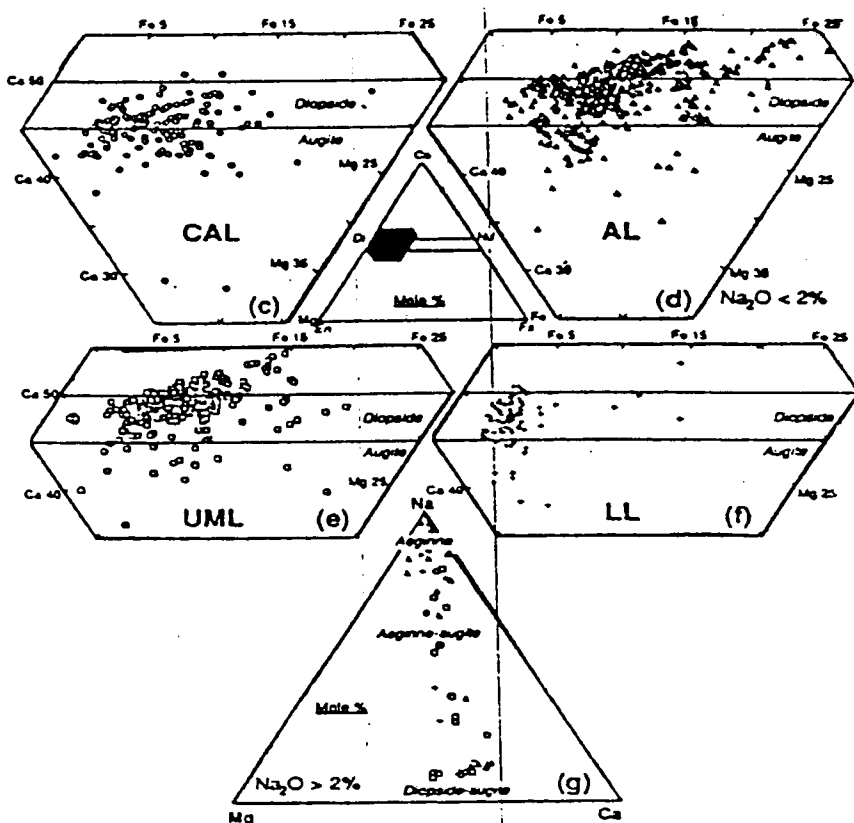
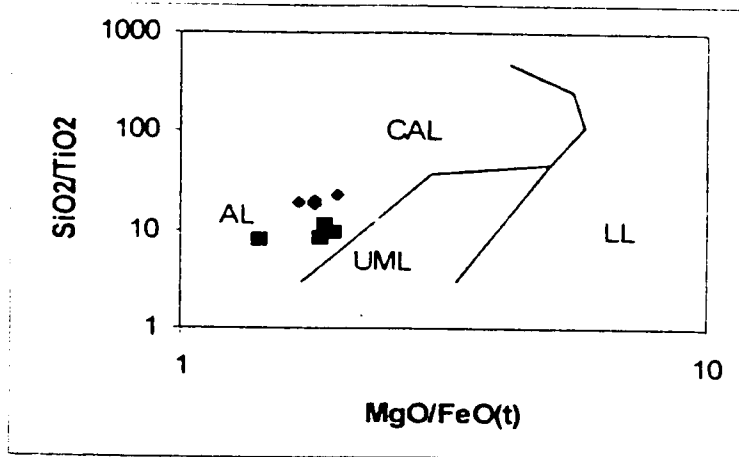
شکل ۱۲ نمودارهای تعیین نوع پیروکسن در سنگ میکادار A: تعیین پیروکسن‌ها با توجه به دیاگرام Q-J که در آن $Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$, $J = 2*Na$ در شکل محدوده Ca پیروکسن کلسیم دار - محدوده Ca-Na پیروکسن‌های کلسیم و سدیم دار و محدوده Na پیروکسن‌های سدیم دار را نشان می‌دهند B: نوع دقیق پیروکسن‌ها با توجه به سه عضو انتهایی (ولاستونیت - انستاتیت - فروسیلیت) مشخص شده است [۹]. C: نسبت مقادیر ولاستونیت در مقابل $100Mg/(Mg+Fe^{2+})$ [۱۱].

Core: مرکز بلور، Edge: حاشیه بلور، Fine Crystal: ریزبلورهای زمینه.

مراحل بلوری شدن کانی پیروکسن

با توجه به توضیحات گفته شده، برای بلورهای کلینوپیروکسن سه مرحله بلوری شدن می‌توان در نظر گرفت:

در مرحله اول هسته درشت بلورها به وجود آمده‌اند. این بلورها عموماً بیوتیت‌های نسل اول را در خود حبس کرده‌اند. با توجه به نفوذ بلورهای بیوتیت در پیروکسن می‌توان چنین توجیه کرد که در مراحل اولیه بلوری شدن سنگ به دلیل فشار زیاد بخار آب، و فراوانی یونهای آلکالی و Al محیط برای بلوری شدن میکاها فراهم بوده است و سپس



شکل ۱۳ تعیین نوع سنگهای لامپروفیری با توجه به ترکیب کانی کلینوپیروکسن (A) مقایسه ترکیب کانی کلینوپیروکسن در لامپروفیرهای مختلف (B) [V].

جدول ۳ تعیین درصد مولکولهای قطبی پیروکسن بتابروش کوشیرو برای دایک میکادار [۱۰].

SM100(Edge)				SM100(Core)				نوع پیروکسن ها	
44	42	41	38	39	36	34	32	شماره آنالیزها	
1.3	1.5	1.7	1.7	3.6	4.2	28	4.48	کمیت (Na,K) FeSi ₂ O ₆	
0	0	0	0	0	0	0	0	ژاده اپت NaAlSi ₂ O ₆	
7.9	7	9.8	9.5	3.4	4.2	3.25	4.08	اوزیت تیتان دار CaTiAl ₂ O ₆	
5.3	8.5	7.9	6.1	7.9	8	6.69	8.1	اوزیت آهن دار CaFeAlSiO ₆	
3.5	0.1	3	2.3	7.9	10	5.48	0	چرمه CaAlSiO ₆	
41	43	42	42	35	33	26.8	40.2	ولاستونیت Ca ₂ Si ₂ O ₇	
40	41	36	38	42	41	31.7	43	لمستیت Mg ₂ Si ₂ O ₇	

در مراحل بعدی با کاهش فشار بخار آب، محیط برای بلوری شدن پیروکسن فراهم شده و طی آن هسته درشت بلورها شکل گرفته است. این کاهش ممکن است یا در نتیجه خروج آب از محیط و نشست آن از طریق درز و شکاف به خارج باشد، و یا جذب یونهای OH برای تشکیل بیوتیت‌های فراوانی که در دایکها بوجود آمده‌اند، صورت گرفته باشد.

در مرحله دوم حاشیه درشت بلورها و ریزبلورهای زمینه بلوری شده‌اند. به دلیل فراوانی یونهای Fe و Ti در محیط، پیروکسن‌های این مرحله انباشته از Ti هستند. در مرحله سوم آخرین مراحل بلوری شدن صورت گرفته و طی آن بلورهای سوزنی پیروکسن تشکیل شده‌اند.

با توجه به درصد مولکولهای قطبی تعیین شده در کلینوپیروکسن‌ها، می‌توان شرایط بلوری شدن سنگ میزبان آن را تعیین کرد (جدول ۳). این جدول نتایج زیر را نشان می‌دهد.

۱ - عدم وجود مولکول ژاده‌ایت مبین شرایط کم فشار برای بلوری شدن سنگ است.

۲ - میزان درصد مولکول اکمیت نشان دهنده فشار اکسیژن محیط بلوری شدن و با توجه به مقدار اندک آن سنگ مورد مطالعه در فشار اکسیژن پایین تبلوری شده است.

۳ - درصد مولکول اوزیت تیتان‌دار در بخش حاشیه‌ای بلورها بیشتر از بخش مرکزی است که حاکی از افزایش تیتان در مراحل پایانی بلوری شدن است.

۴ - پایین بودن درصد مولکول اوزیت آهن‌دار در این سنگها مبین کمبود آهن در کانی

کلینوپیروکسن است.

۵ - فراوانی مولکول و لاستونیت را تنها می‌توان به هضم سنگهای آهکی در خلال صعود ماگما از سنگ میزبان آهکی دانست. افزایش این مولکول در بخش حاشیه‌ای بلورها (مراحل پایانی بلوری شدن) مبین این امر است.

۶ - حضور درصد بالای مولکول انستاتیت نشانه‌ای از فراوانی Mg در محیط بلوری است که با بلوری شدن الیون اولیه در سنگ مطابقت داشته و این مسئله در ماگمای آلكالی امری طبیعی است.

بحث و برداشت

براساس مشاهدات میکروسکوپی و داده‌های میکروپروب الکترونی نتایج زیر حاصل شده‌اند: بررسی‌های سنگ شناختی نشان داده‌اند که بلورهای الیون جزء اولین فازهایی هستند که از ماگما بلوری شده‌اند. نتایج حاصل از آزمایش ذوب در فشار بالا که توسط اریما و ادگار [۶] روی ماگماهای غنی از پتاسیم انجام شده، نشان می‌دهند که الیون و کلینوپیروکسن به همراه کانی تیتانومینتیت تا حدود فشار ۲۲ کیلوبار و در حضور ۱۵٪ وزنی آب تنها فازهای نزدیک به لیکیدوس هستند.

به تدریج با کاهش فشار و افزایش مواد فرار، بلورهای الیون ناپایدار گشته و در عوض بلورهای بیوتیت با Mg بالا بلوری می‌شوند. آزمایش‌های اریما و ادگار [۶] نشان داده‌اند که الیون در همان شرایطی که کانی فلوگوپیت بلوری می‌شود، یعنی در دمای °C ۱۰۵۰ (حدود °C ۷۰ زیر لیکیدوس) بین فشارهای ۱۱ تا ۲۲ کیلوبار و در حضور ۱۵٪ وزنی آب با سیال وارد واکنش شده و ناپدید می‌شود. واکنش زیر برای سیستم بیوتیت - مافوریت - H₂O ارائه شده است [۶].

$$\text{Olivine} + L_7 = \text{Phlogopite} + L_2$$

این مسئله با روند تکامل سیالات بازالتی بی‌آب به سمت لامپروفرهای آلكالن سازگار است [۷]. با توجه به این روند تکاملی، سیالات بازالتی با کاهش فشار و افزایش مواد فرار به سمت نفلینیت و در نهایت نفیلن مونشیکیت سوق می‌یابند.

در عین حال، با خروج آب از محیط به طوری که گفته شد، محیط برای بلوری شدن کلینوپیروکسن غنی از Mg و Fe یعنی دیوپسید (بلورهای نسل اول) فراهم می‌شود. در این شرایط، میکاهای نسل دوم نیز به بلوری شدن خود ادامه می‌دهند. با توجه به

داده‌های میکروپروب چنین به نظر می‌رسد که میکرولیتهای کلینوپیروکسن (Mg # 60) در محدوده پایداری مجموعه (کلینوپیروکسن + فلوگوپیت + تیتانومنیست + آپاتیت + پرووسکیت) در فشارها و در دماهای پائین، از ماده مذاب بلوری شده باشند. مقاله حاضر خلاصه‌ای از گزارش طرح تحقیقاتی است که هزینه آن از طرف دانشگاه آزاد اسلامی واحد شرق گیلان (لاهیجان) بر اساس مصوبه شورای پژوهشی پرداخت شده که مجریان طرح صمیمانه تشکر خود را تقدیم می‌دارند.

مراجع

- ۱ - نبوی، حسن، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران - انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
- ۲ - درویش زاده علی، ۱۳۷۰، زمین‌شناسی ایران، انتشارات ندا، ۹۰۱ صفحه.
- ۳ - درویش زاده علی، آسیابانها، عباس، ۱۳۷۰، ماگما و سنگهای ماگمایی مبنایی پترولوژی آذرین، انتشارات دانشگاه تهران، تالیف اریک - ۱ - ک میدل پوست: ترجمه، ۵۱۵ صفحه.
4. Roubault, M. (1963) Determination des minéraux des Roches au microscope polarisant. Lamerre-poiant Ed.365 P.
5. Deer, W. A, Howie, R. A., Zussman, J. (1992) An introduction to the rock - forming.
6. Arima, M. and Edgar, A.D. (1983) High pressure experimental studies on a katungite and bearing on the of some potassium- rich magmas of the west branch of the African rift. J.Petrol. 24, 166-187.
7. Rock, N.Ms. (1991) Lamprophyres. Blackie and son Ltd publ. 285 P.
8. Gaggero, L. Spadea, P., Cortesogno, L., Savelieva, G. N., Petsev, A. (1997) Geochemical investigation of the igneous rocks from the Nurali ophiolite melange zone, southern uruls. Tectonophysics, 276, 139-161 p.
9. Morimoto, N. (1998) Mineralogical magazine, 52, 535-50.
10. Kushiro, I. (1962) Clinopyroxen Solid solution at high Pressure. Carnegieinst. Washington, yb 64, P.112
11. Clague, D.A., Moore, J.G., Dixon, J.E., and Friesen, W.B. (1995) Petrology of submarine Lavas From Kilauea's Puna Ridge, Hawaii. Journal of petrology, V.36, 299-349.