

## مطالعه آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی موجود در افیولیت ملانژ های ناین و عشین-زوار

قدرت ترابی، نرگس شیردشت زاده، ایرج نوربهبشت و تهمینه پیرنیا

گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

### چکیده

از انواع سنگ‌های دگرگونی موجود در افیولیت ملانژ ناین و عشین-زوار، آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی می‌باشند که بر اثر دگرگونی ناحیه ای سنگ‌های بازیک موجود در این افیولیت‌ها، یعنی گدازه‌های بالشی، بازالت‌ها و دایک‌های دیابازی، بوجود آمده‌اند. مطالعات صحرایی در هر دو منطقه مذکور نشان می‌دهد که این آمفیبولیت‌ها و دایک‌ها دارای برگوارگی بوده و در بسیاری نقاط با پریدوتیت‌های گوشته همبری دارند، بدین ترتیب می‌توان گفت که این سنگ‌ها جزیی از خود مجموعه افیولیت بوده و قطعات بیگانه ای که طی فرآیندهای تکتونیکی به این مناطق آورده شده باشند، نیستند. بررسی‌های پتروگرافی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت ملانژ ناین و عشین زوار نیز بیانگر تشابه کانی شناسی و وجود کانی‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز، کوارتز، اسفن، کلریت، کلسیت، پرهنیت، مگنتیت در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی در هر دو منطقه می‌باشد. با این تفاوت که در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ناین علاوه بر کانی‌های مذکور، کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن نیز در این سنگ‌ها وجود دارند. آنالیز شیمیایی کانی‌های آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی در این دو افیولیت نیز حاکی از تشابه ترکیب شیمیایی کانی‌های آنها می‌باشد. بر اساس ژئوترموبارومتري این سنگ‌ها، دما و فشار بدست آمده برای آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی عشین-زوار در حدود ۶۷۶ درجه سانتیگراد و ۲/۹ تا ۶/۸ کیلو بار و در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت ناین در حدود ۷۷۰ درجه سانتیگراد و ۶/۴ تا ۶/۸ کیلو بار می‌باشد، که نشان دهنده تشکیل آنها در شرایط دما و فشاری تقریباً مشابه است. همچنین بر اساس نتایج آنالیز NAA و ICP-MS سنگ کل، آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی، دارای ماهیت تولیتی بوده و در نظام تکتونیکی پشته‌های میان اقیانوسی تشکیل گردیده‌اند.

## Study of Amphibolitic Rocks in The Ophiolitic Mélanges of Nain and Ashin-Zavar

G. Torabi, N. Shirdashtzada, I. Noorbehesht and T. Pirnia

Archive of SID

Department of Geology, University of Isfahan

### Abstract

The amphibolites and amphibolitic dikes are among the metamorphic rocks found in Nain and Ashin-Zavar ophiolitic mélanges. These rocks are produced by the regional metamorphism of basic rocks existing in these ophiolites including pillow lavas, basalts and diabasic dikes. Field studies in these two areas show that the foliated amphibolites and amphibolitic dikes are in contact with mantle peridotites, so these rocks seem to be a part of the Nain ophiolitic mélange, and not exotic blocks carried by tectonic processes. In addition, a petrographic similarity is observed in amphibolites and amphibolitic dikes of Nain and Ashin-Zavar. The common minerals in these rocks are amphibole, plagioclase, quartz, sphene, chlorite, calcite, prehnite and magnetite. The only difference is the presence of garnet and clinopyroxene, in the amphibolites and amphibolitic dikes. The chemical analyses indicate rock forming-minerals in both areas are extremely similar in composition. According to the geothermobarometry the temperature and pressure gained for the Ashin-Zavar amphibolites and amphibolitic dikes are about  $676\text{C}^\circ$  and 2.9 to 6.8 Kbars. In addition, the temperature for the Nain amphibolitic dikes is about  $770\text{C}^\circ$  while the pressure range is between 6.4 to 6.8 Kbars. Application of ICP-MS and NAA methods for whole rock analyses demonstrate a tholeiitic composition for the studied rocks, which could be formed in a mid-ocean ridge setting.

**Keywords:** Ophiolite, Ashin-Zavar, Nain, Amphibolite, Amphibolitic dike, Geothermobarometry, Whole rock geochemistry.

### مقدمه

زون افیولیت ملانژ نائین - زوار بخشی از زون زمین درز افیولیتی سبزوار - نائین است که بطول صدها کیلومتر از تربت جام تا نائین و از آنجا تا گودال جازموریان قابل ردیابی است و باقی مانده یک ریفت درون قاره ای است که حاصل بازشدگی بلوک‌های پوسته ای در طول مرز آنها است [1]. بلوک مرکزی افیولیت عشین - زوار در بخش‌های غربی زوار واقع است و افیولیت نائین نیز شامل وسعتی از شمال شهر نائین تا روستای سپرو (سپرآب)، می‌باشد. در شکل شماره یک موقعیت افیولیت نائین و عشین در میان سایر مجموعه‌های افیولیتی ایران نشان داده شده است. بر اساس مطالعات [2]، [3]، [4]، [5]، [6]، [7]، [8]، [9]، [13]، [34]، [35] و [36] دو افیولیت ملانژ عشین و نائین از نظر سنگ شناسی

شامل پریدوتیت گوشته، پریدوتیت سرپانتینی گوشته، پیروکسنیت، گابرو، دایک‌های دیابازی، پیلولاوا، لیستونیت و رودینگیت می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، سرپانتینیت‌ها و اولترامافیک‌های سرپانتینی شده گوشته بصورت متن و زمینه اصلی در این دو ملانژ بوده و در برگیرنده سایر واحدهای سنگی می‌باشند. علاوه بر این، واحدهای دگرگونی شامل آمفیبولیت، متاگابرو، اسکارن، مرمر و فیلیت، متاچرت نواری و در برخی نقاط کوارتزیت نیز در هر دو مجموعه افیولیت ملانژ نائین و عشین-زوار مشاهده می‌شوند. این سنگ‌های دگرگونی بصورت بلوک‌های بزرگ و کوچک در نقاط مختلف این دو افیولیت مشاهده می‌شوند. بر اساس مطالعات [7] و [29]، انواع آمفیبولیت‌های موجود در این منطقه شناسی شامل آمفیبولیت‌های



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه افیولیت های ایران [27]

منطقه نیز دگرگون شده و در آنها هورنبلند نیز یافت می‌شود [۷]. دایک‌های آمفیبولیتی به طور کاملاً مشخص پریدوتیت‌های گوشته را قطع کرده‌اند و سپس به توده‌های آمفیبولیتی رسیده و در آنها محو شده‌اند که نشان می‌دهد این دایک‌های آمفیبولیتی همان دایک‌های دیابازی اند که پریدوتیت‌های گوشته را قطع کرده بوده‌اند و قبل از رخداد دگرگونی تغذیه کننده بازالت‌ها و گدازه‌های بالشی بوده‌اند [۱] و [۲]. وجود دایک‌های آمفیبولیتی در درون پریدوتیت‌ها می‌تواند بیانگر این باشد که این سنگ‌های دگرگونی جزء خود افیولیت هستند.

در این مقاله به بررسی و مقایسه کانی شناسی و پترولوژی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی موجود در افیولیت ملانژ عشین - زوار و نائین و چگونگی تشکیل آنها پرداخته شده است.

#### روش مطالعه

این مطالعه بر اساس بررسی‌های صحرایی، پتروگرافی و آنالیز کانیها با استفاده از دستگاه میکروپروپ JEOL

فولیاسیون دار، آمفیبولیت‌های میلیونی و آمفیبولیت‌های همگن می‌باشند. در این نوشتار آمفیبولیت‌های موجود در منطقه از نظر مورفولوژی و پروتولیت به دو گروه تقسیم شده‌اند:

(۱) آمفیبولیت‌ها که از دگرگونی ناحیه ای بازالت‌ها و گدازه‌های بالشی موجود در سکناس افیولیتی به وجود آمده و به صورت توده ای می‌باشند و در این نوشتار از آنها با عنوان "آمفیبولیت" یاد می‌شود.

(۲) آمفیبولیت‌هایی که بر اثر دگرگونی ناحیه ای دایک‌های دیابازی تشکیل شده و ریخت شناسی آنها بسیار شبیه به دایک‌های مزبور می‌باشد. به همین دلیل و تنها به منظور تفکیک آنها از گروه اول (آمفیبولیت‌ها)، در اینجا از عبارت "دایک‌های آمفیبولیتی" برای معرفی آنها استفاده می‌شود. لذا این دایک‌ها که از پریدوتیت‌ها منشاء گرفته‌اند می‌توانند در مجاورت آنها قرار داشته باشند و وقتی تحت تاثیر دگرگونی قرار گرفته‌اند نیز در مجاورت همین پریدوتیت‌ها قرار می‌گیرند.

البته علاوه بر این آمفیبولیت‌ها، گابروهای موجود در

دایک‌ها در شمال معدن اصلی کرومیت N25W و در جنوب معدن کرومیت N18W با شیب‌های تقریباً عمودی می‌باشد (شکل ۲). این دایک‌ها دارای ضخامت (بطور متوسط ۳ متر) بیش از دایک‌های دیابازی (بطور متوسط یک متر) هستند. همچنین بر اساس مطالعات صحرایی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت ملانژ نائین و عشین زوار دارای برگوارگی می‌باشند که در هر دو مجموعه، این برگوارگی در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی به موازات هم است.

البته علاوه بر این دایک‌های دیابازی دگرگون شده که در طی بسته شدن دریا در ژوراسیک به دایک آمفیبولیتی تبدیل شده‌اند، گروه دیگری از دایک‌های دیابازی با سن کمتر در منطقه نائین وجود دارند که مربوط به باز شدن دریا در کرتاسه می‌باشند ولی دگرگون نشده باقی مانده‌اند.

بر اساس مطالعات صحرایی، اسکارن‌ها به همراه چرت‌های دگرگون شده نواری بر روی سنگ‌های آمفیبولیتی واقع شده‌اند. در منطقه نائین اسکارن‌های موجود توسط [۲]، [۳]، [۴] و [۵] مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. به طور کلی این اسکارن‌ها که در نقاط مختلف این ملانژ افیولیتی پراکنده‌اند دارای وسعت قابل توجه و ارزش اقتصادی نمی‌باشند و در برخی از رخنمون‌ها ضخامت آنها به ۲ متر می‌رسد. اسکارن‌ها و متاچرت‌های موجود در افیولیت ملانژ نائین در پی نفوذ گرانیت در آهک‌ها و لایه‌های متناوب آهک و چرت موجود در بخش‌های فوقانی این افیولیت به وجود آمده‌اند. با توجه به حضور قطعاتی از جنس آمفیبولیت در درون این اسکارن‌های نائین (در مختصات جغرافیایی ۵۶°، ۵۲° تا ۱۰'، ۵۳° شرقی و ۳۲°، ۵۲' تا ۱۰'، ۳۳° شمالی)، سن تشکیل این اسکارن‌ها و پدیده گرانیتی زایی در این منطقه مربوط به پس از رخداد دگرگون ناحیه ای است (شکل ۲).

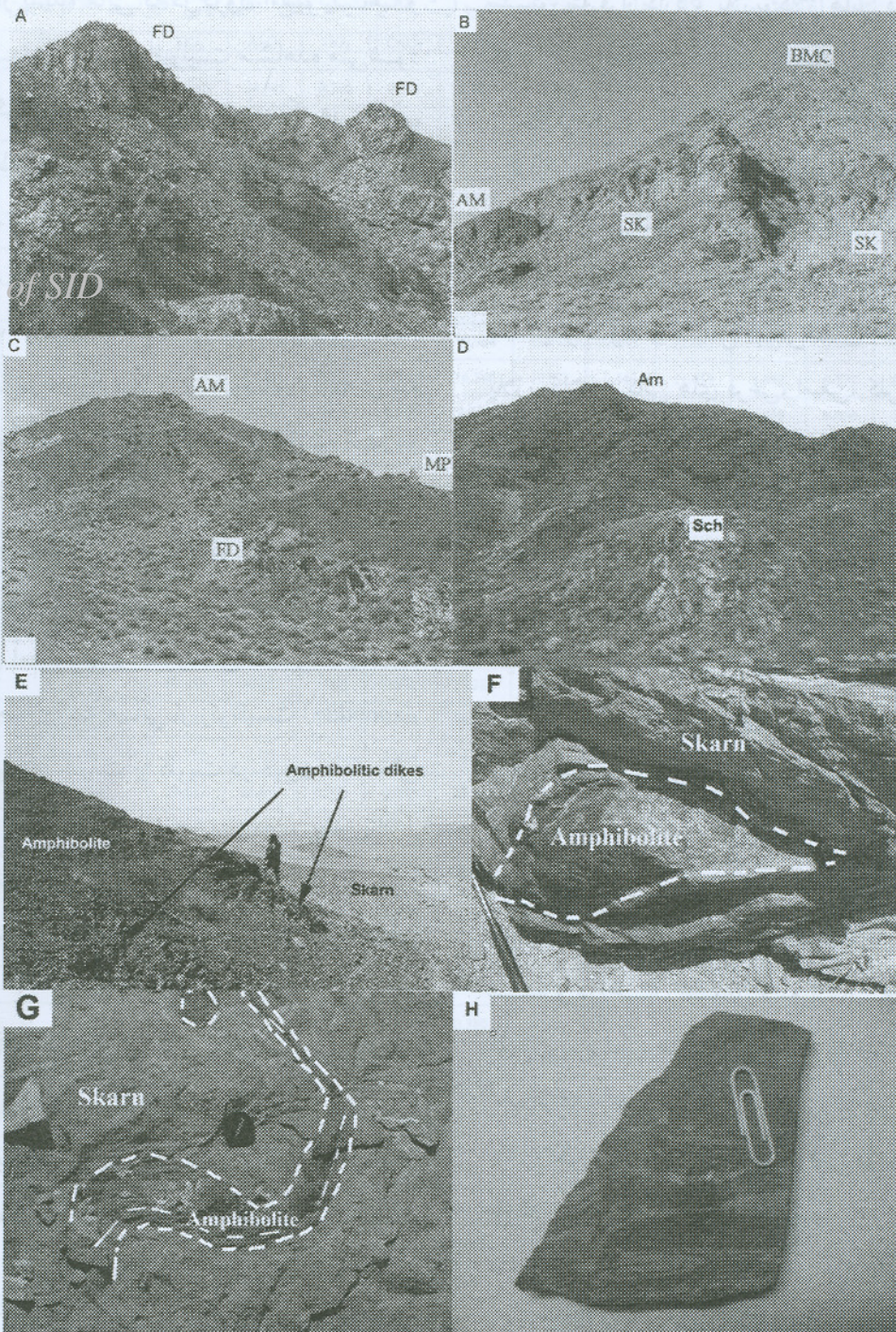
مدل (WDS) JXA-8800، دانشگاه کانازاواوی ژاپن و با ولتاژ ۱۵ کیلو ولت انجام گرفته است. به این منظور کانی‌های آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت ملانژ نائین و عشین - زوار مورد آنالیز میکروپروب قرار گرفت و سپس محاسبه فرمول ساختاری کانی‌ها و تفکیک  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  با استفاده از روش ارائه شده توسط [14] انجام گرفت. به منظور ژئوترموبارومتري این سنگ‌ها از ژئوبارومتر آلومینیوم موجود در آمفیبول و ژئوترموتر پلاژیوکلاز-هورنبلند استفاده شد. علاوه بر این، بررسی ژئوشیمیایی و آنالیز سنگ کل به روش ICP-MS در دانشگاه نانسو فرانسه و نیز به روش NAA در مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته ای اصفهان صورت گرفت.

### شواهد صحرایی

روابط صحرایی واحدهای مختلف سنگ‌های دگرگونی با یکدیگر و با سایر سنگ‌های ملانژ افیولیتی عشین-زوار و نائین به صورت زیر می‌باشد:

با تعقیب دایک‌های آمفیبولیتی که در درون پریدوتیت‌های گوشته وجود دارند، در هر دو مجموعه افیولیتی مشاهده می‌شود که دایک‌های آمفیبولیتی در نهایت به پیکره‌های آمفیبولیتی ختم شده و در آنها محو می‌شوند (شکل ۲). از جمله نقاطی که این پدیده مشاهده می‌شود می‌توان به جنوب کوه زرد و در اطراف مزرعه سوچه، ابیانه نائین، بخش‌های شمالی شهر نائین، جنوب سپرو (سپر آب)، امیر آباد و کاظم آباد اشاره کرد.

دایک‌های آمفیبولیتی موجود در افیولیت عشین-زوار بصورت برگواره بوده (Foliated Amphibolitic dikes) و در نقاطی همانند شرق و جنوب شرقی چاه دم‌عبدا... و سنجد، جنوب و شمال معدن کرومیت، به فراوانی درون پریدوتیت‌های گوشته دیده می‌شوند. امتداد عمومی این



شکل ۲- (A) فراوانی دایک‌های برگواره آمفیبولیتی (FD) در درون پریدوتیت‌های گوشته بخش‌های جنوب ملائز افیولیتی عشین - زوار (نگاه به شمال غرب)؛ (B) دگرگونه‌های موجود در ملائز شامل آمفیبولیت (AM)، اسکارن (SK)، و متاچرت‌های نواری (BMC)، در شرق چاه لقه (نگاه به شمال)؛ (C) ادامه دایک‌های آمفیبولیتی برگواره (FD) موجود در پریدوتیت‌های گوشته (MP) در چاه سنجد به آمفیبولیت‌ها می‌رسد (نگاه به شمال)؛ (D) دایک‌های آمفیبولیتی (FD) پس از رسیدن به آمفیبولیت‌ها (Am) در آنها محو می‌شوند (چاه سنجد)؛ (E) روابط ضحرائی بین دایک‌های آمفیبولیت و آمفیبولیت‌ها و اسکارن‌ها افیولیت ملائز نایین؛ (F) و (G) وجود قطعاتی از آمفیبولیت در اسکارن‌های موجود در افیولیت ملائز نایین؛ (H) پدیده تفریق دگرگونی در درون آمفیبولیت‌های افیولیت ملائز نایین

شیستوزیته قرار دارد و پلاژیوکلاز هایی دگرسان شده ای که در بین آمفیبول‌ها اند، تشکیل گردیده اند. سایر کانی‌های موجود در آنها نیز شامل اسفن، کلریت، کلسیت، کوارتز، پرهنیت، مگنتیت و ایلمنیت می‌باشند بر اساس مطالعات کانی شناسی، کانی‌های موجود در آمفیبول‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت (Zoned amphibole) مشابه یکدیگر بوده و شامل کانی‌های اصلی آمفیبول و پلاژیوکلاز و کانی‌های فرعی، اسفن، کلریت، کلسیت، کوارتز، پرهنیت، مگنتیت و ایلمنیت می‌باشند، با این تفاوت که آمفیبول‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی نائین علاوه بر کانی‌های مذکور دارای گارنت (آلماندین) و کلینوپیروکسن (دیوپسید) نیز می‌باشند که این کلینوپیروکسن‌ها بقایای کلینوپیروکسن‌های اولیه آذرین می‌باشند. نتایج آنالیز میکروپروب و درصد اکسیدهای برخی کانی‌های این سنگ‌ها در جدول‌های ۱ تا ۶ آورده شده است.

در بسیاری از نمونه‌ها مشاهده می‌شود آمفیبول‌ها که طی دگرگونی از کلینوپیروکسن‌ها به وجود آمده‌اند خرد شده و در حال تبدیل به کانی‌هایی همچون کلینوزویزیت، پرهنیت، کلریت و کلسیت می‌باشند. این آمفیبول‌ها به صورت نیمه شکل دار تا بی شکل و دارای چند رنگی سبز زیتونی تا سبز روشن می‌باشند و در برخی مقاطع در حاشیه هورنبلندها، اکتینولیت‌های سوزنی شکل به رنگ سبز کم رنگ مشاهده می‌شود. با توجه به نمودار  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  در برابر TSi و نیز با توجه به اینکه مقدار Ti کمتر از ۰/۵۰ بوده و مجموع Na و K از ۰/۵۰ بیشتر است، ترکیب آمفیبول‌های مربوط به آمفیبول‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت نائین و افیولیت عشین-ژوار به ترتیب Tschermakitic Hornblende و Magnesian Hornblende می‌باشد (شکل ۴).

یکی دیگر از پدیده‌هایی که در درون آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی هر دو افیولیت مشاهده می‌شود پدیده تفریق دگرگونی است (شکل ۲). بطوریکه در بخش‌هایی از این منطقه تشکیل یک پلاژیوگرانیت و یک سنگ غنی از آمفیبول در اثر پدیده تفریق دگرگونی بخوبی قابل تشخیص است.

بدین ترتیب می‌توان گفت که بر اثر دگرگونی ناحیه ای گدازه‌های بالشی، بازالت‌ها و دایک‌های دیابازی به آمفیبولیت و دایک‌های آمفیبولیتی تبدیل شده‌اند. در برخی مناطق همچون ایبانه نائین و جنوب سپرو (افیولیت نائین) نیز، ورود سیالات دارای Ca، که حاصل سرپانتینیتی شدن پریدوتیت‌های منطقه می‌باشد موجب رودینگیتی شدن دایک‌های آمفیبولیتی و گابروهای مجاورشان شده است و در نتیجه رگه‌هایی از زنونولیت (xonotlite)، پکتولیت، اکتینولیت، گارنت و کلریت در درون دایک‌های آمفیبولیتی دیده می‌شود.

## پetroگرافی و شیمی کانی‌های آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی

آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی در نمونه‌های دستی، به رنگ سبز تا سبز تیره دیده می‌شوند اما در برخی نقاط که سنگ به اپیدوزیت تبدیل شده، رنگ آنها متمایل به زرد است. بطور کلی دایک‌های آمفیبولیتی در هر دو افیولیت، از نظر بافتی دانه ریز تر از آمفیبولیت‌های این مناطق می‌باشند و قطعات گارنت قهوه ای رنگ نیز در نمونه‌های دستی آمفیبولیت‌های افیولیت نائین قابل مشاهده است ولی در دایک‌های آمفیبولیتی به سختی دیده می‌شوند و تنها با کمک مطالعات میکروسکوپی می‌توان به وجود آنها پی برد. این سنگ‌ها عمدتاً از هورنبلند که در امتداد

جدول ۱- میانگین نتایج آنالیز شیمیایی کانی‌های موجود در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت ملانژ ناین بر حسب wt%.

Sample	Mineral type	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	NiO	Total
Amphibolite:													
Prehnite 53	Prehnite	44.056	24.545	0.140	0.000	0.177	0.004	0.018	26.266	0.026	0.016	0.005	95.253
Amphibole 54	Tschemakitic Hornblende	42.466	12.016	0.767	0.000	17.347	10.146	0.843	11.334	1.283	1.511	0.025	100.674
plagioclase 55	Albite	68.232	19.619	0.000	0.000	0.240	0.291	0.014	0.107	11.997	0.168	0.006	98.995
Amphibole 515	Tschemakitic Hornblende	41.683	12.798	1.332	0.036	15.748	10.242	0.246	11.356	1.602	0.632	0.000	95.675
Garnet 517	Almandine	37.877	21.48	0.191	0.026	24.321	2.952	3.284	10.4	0.033	0.000	0.000	100.564
plagioclase 518	Andesine	61.880	11.613	0.002	0.000	0.173	0.004	0.031	15.392	9.579	0.062	0.000	98.736
Amphibole 519	Tschemakite	42.124	12.714	1.318	0.049	17.623	9.909	0.263	11.453	1.829	0.661	0.000	97.943
Pyroxene 520	Diopside	49.709	3.807	0.383	0.015	10.954	11.173	0.346	22.063	0.65	0.006	0.028	99.134
Amphibole 521	Tschemakitic Hornblende	42.324	11.564	1.210	0.013	16.848	10.073	0.342	11.619	1.662	0.577	0.000	96.232
Prehnite 522	Prehnite	42.946	23.764	0.025	0.000	0.254	0.008	0.039	26.284	0.119	0.000	0.015	93.454
plagioclase 523	Albite	67.860	19.375	0.000	0.059	0.033	0.000	0.010	0.039	11.957	0.026	0.007	99.366
Amphibolitic Dikes:													
Amphibole 524	Tschemakitic Hornblende	41.174	12.150	1.085	0.056	16.683	9.340	0.128	11.027	1.909	0.406	0.000	93.958
Prehnite 525	Prehnite	42.85	21.07	0.000	0.000	4.080	0.000	0.000	26.510	0.060	0.010	0.000	94.580
Amphibole 526	Tschemakitic Hornblende	43.242	12.505	1.112	0.041	17.502	9.990	0.194	11.675	1.863	0.355	0.000	98.479
Pyroxene 527	Diopside	50.699	2.560	0.274	0.000	10.573	11.760	0.274	22.710	0.754	0.046	0.015	99.665
Garnet 528	Almandine	38.717	21.875	0.092	0.011	23.689	3.058	1.152	12.127	0.094	0.000	0.000	100.815
Amphibole 529	Tschemakitic Hornblende	42.628	12.757	1.038	0.071	17.386	9.692	0.303	11.706	1.748	0.305	0.000	97.634
Amphibole 530	Tschemakitic Hornblende	42.381	12.474	1.161	0.043	16.661	10.037	0.167	11.290	2.018	0.297	0.000	96.529
Pyroxene 531	Diopside	48.772	2.129	0.126	0.044	10.141	11.530	0.243	23.046	0.522	0.004	0.013	96.570
Garnet 532	Almandine	38.127	21.610	0.088	0.022	23.545	2.274	2.951	11.862	0.027	0.000	0.000	100.506

جدول ۲- جدول محاسبه فرمول ساختمانی کانی‌های موجود در جدول یک.

Sample	Oxygen	Si	Al	Ti	Cr	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mg	Mn	Ca	Na	K	Ni	Total
Amphibolite:														
Prehnite 53	22	6.078	3.991	0.015	0.000	0.020	0.000	0.001	0.002	3.883	0.007	0.003	0.000	14.001
Amphibole 54	23	6.118	2.040	0.083	0.000	0.000	2.091	2.179	0.103	1.750	0.358	0.278	0.000	15.000
plagioclase 55	8	2.951	1.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.019	0.001	0.005	1.006	0.009	0.000	4.999
Amphibole 515	23	6.305	2.061	0.152	0.004	1.612	0.380	2.310	0.032	1.841	0.470	0.122	0.000	15.289
Garnet 517	12	2.969	9.031	0.011	0.002	1.540	0.055	0.345	0.218	0.873	0.005	0.000	0.000	15.049
plagioclase 518	8	2.907	0.642	0.000	0.000	0.006	0.000	0.001	0.000	0.774	0.872	0.004	0.000	5.208
Amphibole 519	23	6.272	2.061	0.148	0.006	1.737	0.457	2.199	0.033	1.827	0.528	0.126	0.000	15.394
Pyroxene 520	6	1.884	0.170	0.011	0.000	0.260	0.087	0.631	0.011	0.896	0.048	0.000	0.001	3.999
Amphibole 521	23	6.405	2.061	0.138	0.002	1.756	0.376	2.273	0.044	1.884	0.488	0.111	0.000	15.538
Prehnite 522	22	6.039	3.939	0.003	0.000	0.030	0.000	0.002	0.005	3.961	0.032	0.000	0.000	14.010
Plagioclase 523	8	2.988	1.004	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	1.021	0.001	0.000	5.019
Amphibolitic Dikes:														
Amphibole 524	23	6.386	2.061	0.127	0.007	1.890	0.274	2.159	0.016	1.832	0.574	0.080	0.000	15.406
Prehnite 525	22	6.089	3.528	0.000	0.000	0.000	0.485	0.000	0.000	4.036	0.018	0.002	0.000	14.157
Amphibole 526	23	6.385	2.061	0.123	0.005	1.793	0.368	2.199	0.024	1.847	0.534	0.067	0.000	15.406
Pyroxene 527	6	1.906	0.113	0.008	0.000	0.216	0.116	0.659	0.009	0.915	0.055	0.002	0.000	3.999
Garnet 528	12	3.005	8.995	0.005	0.001	1.538	0.000	0.354	0.076	1.008	0.014	0.000	0.000	14.996
Amphibole 529	23	6.347	2.061	0.116	0.008	1.757	0.408	2.151	0.038	1.867	0.505	0.058	0.000	15.316
Amphibole 530	23	6.373	2.061	0.131	0.005	1.770	0.325	2.250	0.022	1.819	0.588	0.057	0.000	15.401
Pyroxene 531	6	1.894	0.097	0.004	0.001	0.184	0.146	0.667	0.008	0.959	0.039	0.000	0.000	3.999
Garnet 532	12	2.99	9.01	0.005	0.001	1.535	0.01	0.266	0.196	0.997	0.004	0.000	0.000	15.014

قدرت تراپی، نرگس شیردشت زاده، ایرج نوربهبشت و تهمنه پیرنیا

جدول ۳- محاسبه درصد اعضای نهایی کانی های پلاژیوکلاز، گارنت و کلینوپروکسن موجود در دایک های آمفیبولیتی افیولیت ملانژ ناین.

Sample	Garnet 517	Garnet 528	Garnet 532
Almandine	51.65%	51.88%	51.20%
Andradite	2.70%	0.00%	0.49%
Grossular	26.52%	33.72%	32.70%
Pyrope	11.57%	11.84%	8.87%
Spessartine	0.31%	0.53%	6.54%
Livardite	0.08%	0.03%	0.07%

Sample	Pyroxene 520	Pyroxene 527	Pyroxene 531
Wollastonite	46.40%	46.51%	47.97%
Enstatite	32.70%	33.51%	33.39%
Ferrosilite	18.43%	17.18%	16.67%
Acmite	2.47%	2.79%	1.97%

Sample	plagioclase 55	plagioclase 518	plagioclase 523
Albite	98.6%	52.8%	99.7%
Anorthite	0.5%	46.9%	0.2%
Orthoclase	0.9%	0.2%	0.1%

جدول ۴- میانگین نتایج آنالیز شیمیایی کانی های موجود در آمفیبولیت های افیولیت ملانژ عشین، بر حسب wt%.

Sample	Mineral Type	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	NiO	Total
Amphibolite:													
Amphibole 371-1	Magnesio-Hornblende	44.267	0.851	13.290	0.080	13.810	0.276	11.900	10.902	1.764	0.639	0.020	97.771
plagioclase 371-2	Oligoclase	60.880	0.010	23.550	0.000	0.026	0.000	0.000	4.936	8.483	0.088	0.000	97.972
Amphibole 371-3	Magnesio-Hornblende	45.695	0.655	10.550	0.048	14.160	0.311	12.100	11.109	1.497	0.499	0.023	96.680
Amphibole 371-4	Magnesio-Hornblende	44.899	0.684	10.750	0.053	14.930	0.317	12.400	10.962	1.500	0.853	0.012	97.364
plagioclase 371-5	Oligoclase	61.265	0.018	24.320	0.000	0.034	0.009	0.000	5.633	8.104	0.107	0.000	99.489
Ilmenite 371-6	Ilmenite	0.040	50.310	0.240	0.030	43.630	4.160	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	98.460
Amphibolitic Dikes:													
Amphibole 397-1	Magnesio-Hornblende	47.481	1.026	8.586	0.008	15.639	0.240	13.149	10.840	1.057	0.237	0.000	98.263
Amphibole 397-2	Magnesio-Hornblende	48.313	0.826	7.682	0.047	15.429	0.295	13.503	10.809	1.044	0.233	0.026	98.206
plagioclase 397-3	Andesine	60.307	0.008	24.591	0.000	0.057	0.000	0.000	6.247	7.748	0.087	0.000	99.067
Amphibole 397-4	Magnesio-Hornblende	48.593	0.916	7.562	0.000	15.310	0.340	13.714	10.697	0.898	0.220	0.000	98.249
Amphibole 397-5	Magnesio-Hornblende	48.086	0.981	8.056	0.020	15.226	0.234	13.470	10.817	0.919	0.259	0.021	98.089

جدول ۵- محاسبه فرمول ساختاری کانی های موجود در جدول ۴.

Sample	Oxygen	Si	Al	Ti	Cr	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mg	Mn	Ca	Na	K	Ni	Total
Amphibolite:														
Amphibole 371-1	23	6.384	2.257	0.092	0.009	0.864	0.802	2.558	0.034	1.685	0.493	0.118	0.000	15.296
plagioclase 371-2	8	2.739	1.266	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.241	0.750	0.005	5.003	2.739
Amphibole 371-3	23	6.690	1.819	0.072	0.006	1.086	0.648	2.641	0.039	1.743	0.425	0.093	0.000	15.262
Amphibole 371-4	23	6.532	1.842	0.075	0.006	0.878	0.939	2.689	0.039	1.709	0.423	0.158	0.000	15.290
plagioclase 371-5	8	2.729	1.276	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.269	0.700	0.006	4.982	2.729
Ilmenite 371-6	3	0.001	0.007	0.977	0.001	0.942	0.000	0.002	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000	2.019
Amphibolitic Dikes:														
Amphibole 397-1	23	6.764	1.441	0.110	0.001	0.697	1.166	2.792	0.029	1.655	0.292	0.043	0.000	14.990
Amphibole 397-2	23	6.879	1.288	0.088	0.005	0.694	1.143	2.866	0.036	1.649	0.288	0.042	0.000	14.978
plagioclase 397-3	8	2.704	1.298	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.300	0.673	0.005	4.983	2.704
Amphibole 397-4	23	7.601	1.392	0.108	0.000	2.003	0.000	0.079	1.817	1.793	0.272	0.044	0.000	15.109
Amphibole 397-5	23	6.844	1.350	0.105	0.002	0.662	1.150	2.858	0.028	1.650	0.254	0.047	0.000	14.950

جدول ۶- محاسبه درصد اعضای نهایی کانی های پلاژیوکلاز موجود در آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی افیولیت ملانژ عشین.

Sample	Plagioclase 371-2	Plagioclase 371-5	Plagioclase 397-3
Albite	75.3	71.8	68.8
Anorthite	24.2	27.6	30.7
Orthoclase	0.5	0.6	0.5



آمفیبول که به موازات تزریق دایک‌ها می‌باشند بیانگر بسته شدن دریا و تاثیر فشارهای تکتونیکی ناشی از آن بر این سنگ هاست که هم موجب دگرگونی و هم جهت گیری این کانی‌ها شده است.

همچنین به دلیل آلتراسیون این سنگ‌ها و اسپیلیتی شدن گدازه‌های بالشی کانی‌های جدیدی در آنها تشکیل شده است که از آن جمله می‌توان به تشکیل آلبیت و رگه‌های پرهینیت اشاره کرد. همچنین بر اثر تجزیه آمفیبول‌ها، کلریت نیز به وجود آمده است. بافت این سنگ‌ها بدلیل وجود تیغه‌های آمفیبول نماتوبلاستیک می‌باشد (شکل ۴).

#### ژئوترموبارومتري

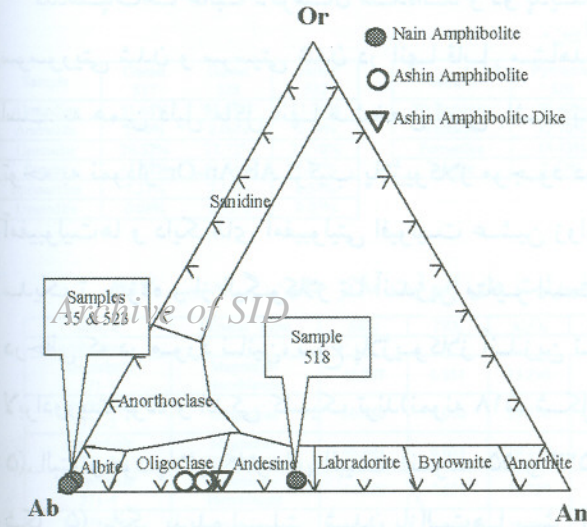
استفاده از آمفیبول‌ها به عنوان ژئوبارومتر توسط افراد مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس [10]، [12]، [15] و [18] با افزایش درجه دگرگونی، میزان عناصر  $K, Na, Al, Ti$  و  $Mg/(Mg+Fe)$  موجود در آمفیبول‌های کلسیم دار افزایش می‌یابد ولی مقدار  $Si$  و  $Fe+Mg+Mn+Ca$  کاهش می‌یابد. علاوه بر این با افزایش دما،  $Al$  مایل است تا جای  $Si$  را در تتراهدرال‌های آمفیبول‌ها کلسیم دار بگیرد در حالیکه با افزایش فشار،  $Al$  به جای  $Mg+Fe$  موجود در اکتاهدرال  $M2$  می‌نشیند [11]، [16]، [17]، [28]، [31] و [33]. به این ترتیب می‌توان گفت که با افزایش فشار و دما مقدار  $Al_2O_3$  به عنوان تابعی از این دو، افزایش می‌یابد [28]. از سویی دیگر، با افزایش دما، عنصر  $Ti$  در سایت  $M2$  آمفیبول افزایش می‌یابد [31]. به این ترتیب مشاهده می‌شود که میزان  $Ti$  موجود در سایت  $M2$  آمفیبول‌های موجود در آمفیبولیت‌های منطقه ناین نسبت به دایک‌های آمفیبولیتی اندکی بیشتر می‌باشد ولی میزان  $Si$  کل آنها کمتر است (شکل ۸؛ قسمت A و B).

فلدسپات‌ها غالباً دگرسان شده‌اند و دو پدیده سوسوریتی شدن و سرسیتی شدن در آنها قابل مشاهده است. به همین دلیل ماکل آنها مشخص نمی‌باشد. با توجه به نمودار  $Ab-An-Or$  ترکیب پلاژیوکلاز موجود در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی اقیولیت عشین زوار سدیک تر بوده و از لیگوکلاز تا آندزین متغیر است درحالی که در مورد نائین، نوع پلاژیوکلاز آندزین تا لابرادوریت بوده و اندکی کلسیک ترند (نمونه ۵۱۸، شکل ۵). البته وجود پلاژیوکلازهای آلبیت (نمونه ۵۵ و ۵۲۳، شکل ۵) بیانگر پدیده اسپیلیتی شدن بازالت‌ها پیش از دگرگون شدن آنها است.

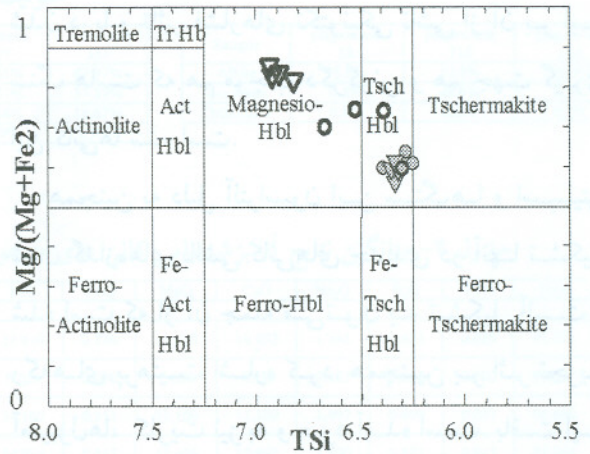
کلینوپیروکسن‌ها دارای ادخال‌هایی از اسمفن می‌باشد و در بسیاری موارد می‌توان پدیده تبدیل کلینوپیروکسن به آمفیبول را به خوبی مشاهده کرد که از کناره‌ها و در امتداد رخ‌ها در حال انجام می‌باشد. با توجه به نمودار  $Wo-En-Fs$  ارائه شده توسط [24] نیز نوع کلینوپیروکسن موجود در این سنگ‌ها دیوپسید می‌باشد (شکل ۶).

همچنین آنالیزهای شیمیایی نشان می‌دهند که گارنت موجود در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی نائین از نوع آلماندین است (جدول ۳ و شکل ۷). آمفیبول‌های اطراف گارنت‌ها تحت تاثیر فشار ناشی از شکل گیری گارنت‌ها قرار گرفته است. در مواردی در درون گارنت‌ها ادخال‌هایی از پیروکسن، پرهینیت و کلسیت مشاهده شد.

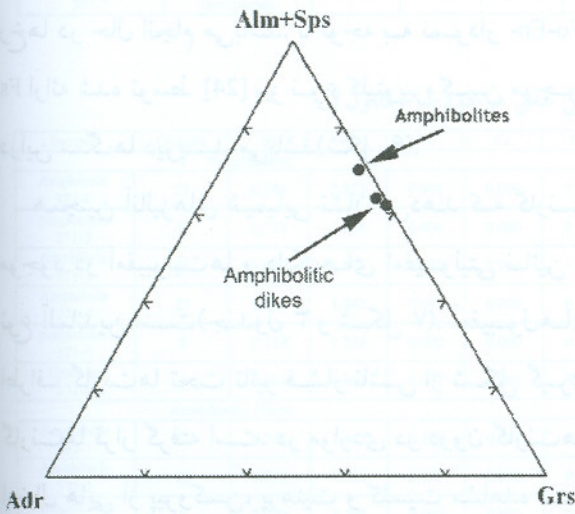
وجود برگوارگی در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی این دو مجموعه اقیولیتی را می‌توان به صورت تفکیک کانی‌های تیره و روشن مشاهده کرد که بر اثر تفریق دگرگونی رخ داده است و در آنها لایه‌های تیره بیشتر شامل آمفیبول و کلینوپیروکسن و لایه‌های روشن شامل پلاژیوکلاز و کوارتز می‌باشد. در دایک‌های آمفیبولیتی، لایه‌های تیره و روشن و جهت تیغه‌های



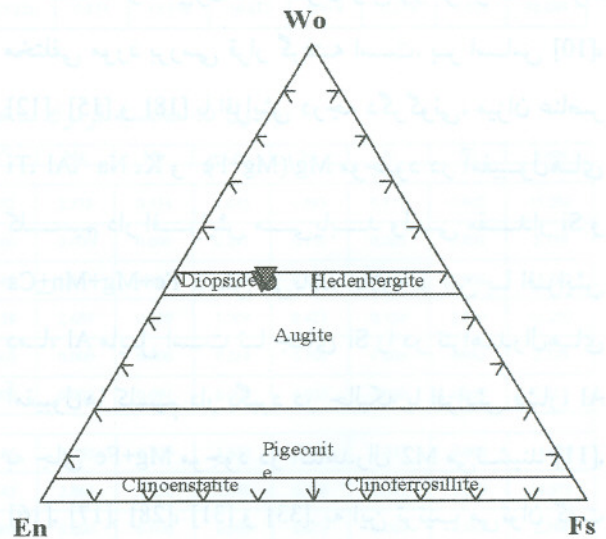
شکل ۵- ترکیب پلاژیوکلاز های موجود در آمفیبولیت ها (دایره) و دایک های آمفیبولیتی (مثلث) (دایره توپر مربوط به افیولیت ناین ودایره ها و مثلث های توخالی مربوط به افیولیت عشین می باشند)



شکل ۴- ترکیب آمفیبول های موجود در آمفیبولیت ها (دایره) و دایک های آمفیبولیتی (مثلث) (دایره و مثلث توپر مربوط به افیولیت ناین ودایره ها و مثلث های توخالی مربوط به افیولیت عشین می باشند)



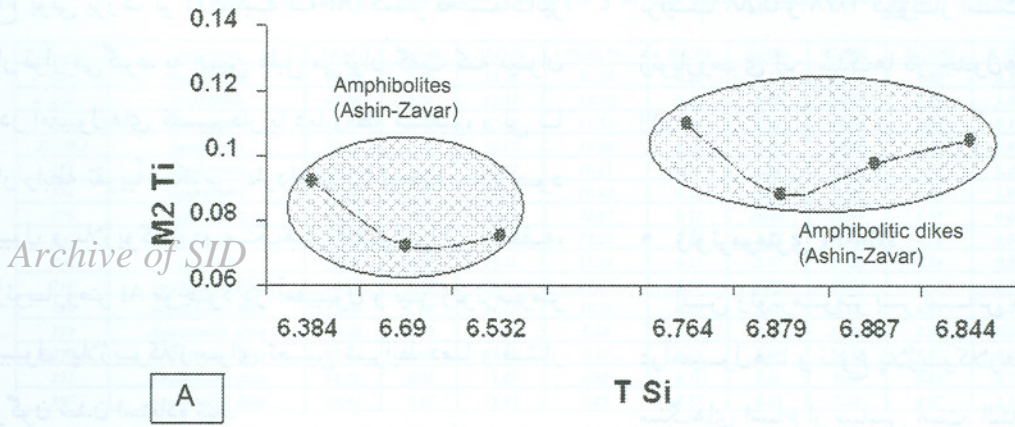
شکل ۷- ترکیب گارنت های موجود در آمفیبولیت های موجود در افیولیت ملانژ ناین



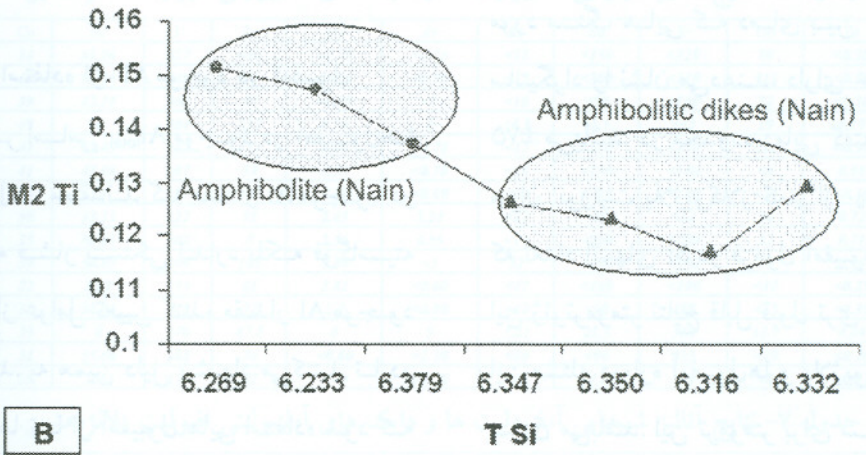
شکل ۶- ترکیب کلینوپیروکسن های موجود در آمفیبولیت ها (مثلث) و دایک های آمفیبولیتی (مربع) موجود در افیولیت ملانژ ناین در دیاگرام کلینوپیروکسن ها [24].

باشد. در منطقه عشین-زوار نیز بالاتر بودن میزان Ti در دایک های آمفیبولیتی نسبت به آمفیبولیت ها بیانگر دمای بالاتر تشکیل آنها است (شکل ۸؛ قسمت C). اما بدلیل

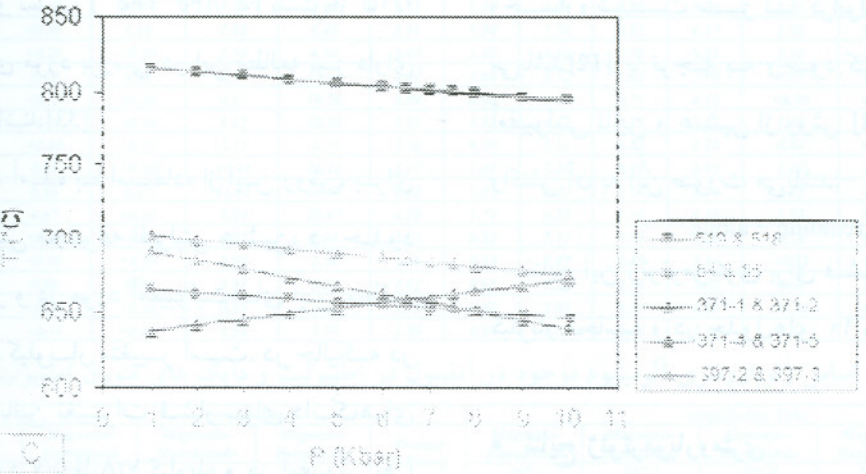
به این ترتیب میزان Ti بالاتر آمفیبولیت ها نسبت به دایک های آمفیبولیتی در ناین می تواند بیانگر میزان بالاتر بودن دما در آمفیبولیت ها نسبت به دایک های آمفیبولیتی



A



B



C

شکل ۸- (A) مقایسه آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی شمال ناینین از نظر میزان Ti موجود در سایت M2 آمفیبول‌ها در برابر تعداد اتم‌های Si کل در واحد فرمول ساختاری آنها؛ (B) مقایسه آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی عشین-زوار از نظر میزان Ti موجود در سایت M2 آمفیبول‌ها در برابر تعداد اتم‌های Si کل در واحد فرمول ساختاری آنها؛ (C) مقایسه تغییرات فشار و دما در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی عشین (مثلث) و آمفیبولیت‌های افیولیت ناینین (مربع).

ترتیب ۵/۸ و ۲/۷۸ کیلوپار است. نتایج مربوط به ژئوبارومتري این سنگ‌ها در جدول‌های ۸ و ۹ آورده شده اند.

#### • ژئوترموتری Hbl-Pl

این ژئوترموتر بر اساس  $Sill_{\text{total}}$  می‌باشد. در آمفیبول‌ها و نوع پلاژیوکلازهای همراه آنها، در سنگ‌های اشباع از سیلیس است. البته این ژئوترموتر در مورد سنگ‌هایی که دمای بین ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهند، دارای خطایی در حدود  $\pm 75^\circ\text{C}$  می‌باشد. در محدوده دمایی گفته شده و هنگامی که میزان آنورتیت پلاژیوکلاز کمتر از  $An_{90}$  باشد و نیز وقتی که تعداد اتمهای Si در فرمول آمفیبول کمتر از ۷/۸ باشد، این ژئوترموتر نتایج قابل قبول تری را ارائه می‌کند. البته این مسئله درباره آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازهای این منطقه صادق می‌باشد. این ترمومتر برای سنگ‌های مربوط به رخساره شیست سبز تا گرانولیت قابل استفاده می‌باشد [12]. با توجه به وجود کوارتز در سنگ‌های آمفیولیتی نائین و عشین از روش [18] استفاده شد. که واکنش آن به این صورت می‌باشد:



نتایج این ژئوترموتری برای فشارهای بین ۱ تا ۱۰ کیلوپار محاسبه و در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ آورده شده اند.

#### • نتایج ژئوترموپارومتري

به منظور ژئوترموپارومتري این سنگ‌ها در ابتدا، محدوده فشار برای هر یک از این سنگ‌ها مشخص می‌شود (جدول‌های ۸ و ۹). سپس بر اساس مقادیر فشار، به بررسی نتایج ژئوترموتری موجود در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ پرداخته و محدوده دمایی تعیین می‌شود. البته همان

شعاع یونی بزرگ تر Ti نسبت به Al، کمتر تحت تاثیر فشار قرار می‌گیرد. به همین دلیل می‌توان گفت که میزان Ti در آمفیبول‌های کلسیم دار با دما رابطه مستقیم، و لی با فشار رابطه تقریباً معکوس دارد [15]. با توجه به وجود آمفیبول و پلاژیوکلاز در سنگ‌های آمفیولیتی این منطقه، از ژئوبارومتر Al موجود در آمفیبول و نیز ژئوترموتر آمفیبول-پلاژیوکلاز برای تعیین شرایط دما و فشار دگرگون شدن استفاده شد.

#### • ژئوبارومتري با استفاده از Al موجود در آمفیبول

این بارومتر بر اساس  $Al_{\text{total}}$  موجود در آمفیبول‌ها می‌باشد. [10] و [11] معتقدند که مقدار Al موجود در آمفیبول‌ها فقط به فشار بستگی ندارد بلکه فوگاسیته اکسیژن هم یکی از عوامل تعیین کننده مقدار Al موجود در آمفیبول می‌باشد. به همین دلیل پیشنهاد می‌کنند تا در بارومتري آمفیبول‌ها تنها از آمفیبول‌هایی استفاده شود که دارای  $Fe \leq 0.65$  و نسبت  $Fe^{3+}/(Fe^{2+} + Fe^{3+})$  بیشتر از ۰/۲۵ باشند که نمونه‌های مورد بررسی در این مطالعه نیز دارای این ویژگی‌ها می‌باشند [33].

فشار بدست آمده با استفاده از این روش، برای دایک‌های آمفیولیتی مجموعه افیولیتی عشین، در حدود ۱/۹ تا ۳/۹ کیلوپار و در مورد آمفیولیت‌های این منطقه بین ۴/۲ تا ۸/۰ کیلوپار متغیر است. در حالیکه در مجموعه افیولیتی نائین تغییرات فشار برای دایک‌های آمفیولیتی در حدود ۵/۷ تا ۷/۸ کیلوپار و در آمفیولیت‌ها تقریباً ۵/۲ تا ۸/۰ می‌باشد.

به این ترتیب مشاهده می‌شود که بطور میانگین فشار بدست آمده، برای آمفیولیت‌ها و دایک‌های آمفیولیتی نائین  $6.8 \text{ kbar}$  و  $7.01 \text{ kbar}$  کیلوپار و در مورد آمفیولیت‌ها و دایک‌های آمفیولیتی افیولیت عشین به

جدول ۷- نتایج آنالیز شیمیایی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی اقیولیت ملائز عشین.

Sample	Rock type	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO%	MgO%	CaO%	Na <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O%	LOI%	Cr	Ni
185	Amphibolite	41.07	1.68	13.76	14.44	0.22	8.27	16.37	1.82	0.31	1.86	285	<90
225	Amphibolite	45.14	2.07	13.64	13.70	0.26	8.99	11.42	2.83	1.08	0.87	184	<80
226	Amphibolite	40.51	1.52	12.74	11.52	0.18	9.45	20.23	1.01	0.17	2.67	226	<75
F-269-1	Amphibolite	48.62	1.78	13.77	13.06	0.24	6.76	10.80	2.39	0.84	1.20	141	65
372	Amphibolite	55.20	1.12	13.87	10.19	0.21	4.64	8.49	3.73	1.20	1.34	455	235
374	Amphibolite	54.94	1.43	13.99	10.62	0.21	4.66	7.99	3.83	1.08	1.25	378	200
376	Amphibolite	44.08	0.98	13.61	12.67	0.22	10.46	13.96	1.91	0.61	1.49	370	315
Ep1	Epidosite	33.92	1.80	16.37	12.25	0.22	2.47	27.42	0.11	0.64	5.40	125	<70
Ep2	Epidosite	35.89	1.50	15.61	11.94	0.23	2.57	25.65	0.34	0.30	5.97	129	<70
216	Amphibolitic Dike	46.95	2.39	15.14	12.68	0.14	4.03	10.54	2.40	2.43	3.31	280	87
230	Amphibolitic Dike	53.00	1.07	14.63	12.58	0.19	3.68	8.12	4.64	1.00	1.10	140	70
239	Amphibolitic Dike	49.43	0.48	15.93	8.68	0.15	7.56	12.56	2.55	0.28	2.37	163	70
F-239-1	Amphibolitic Dike	47.60	0.60	15.26	9.27	0.15	7.88	14.23	1.87	0.14	2.76	129	71
251	Amphibolitic Dike	51.36	0.82	15.99	8.61	0.15	7.16	9.40	3.84	0.76	1.91	83	70
397	Amphibolitic Dike	55.41	0.85	15.93	9.28	0.17	4.19	7.54	4.07	1.10	1.46	379	178

ادامه جدول ۷- نتایج آنالیز شیمیایی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی اقیولیت ملائز عشین.

Sample	Co	Se	V	Zn	Mo	As	Rb	Ba	Sr	Ga	Ta	Hf	Zr
185	54	53.86	427	<40	<0.70	<0.36	<15	<150	<120	10	<0.30	2.1	<130
225	49	51.16	444	90	<0.60	<0.50	<15	<100	<110	<15	<0.30	3.1	<130
226	39	43.14	364	55	<0.80	<1	<10	<90	<100	22	<0.30	2.25	<110
F-269-1	49	0	404	117	0.56	0	14.1	41.1	102	19	0.19	3.2	117
372	41	42.45	262	112	8.56	<0.70	<17	<150	<170	<16	<0.30	2.45	<170
374	41	43.89	287	54	5.35	<0.70	<16	<150	<160	<8	0.46	2.04	61
376	54	53	387	107	7.32	<0.60	<20	<140	<180	<10	<0.30	1.1	<180
Ep1	30	33.33	222	71	2.43	3.24	<12	<80	964	24	0.72	2.18	<100
Ep2	33	38.65	202	0	2.36	4.86	<17	<100	1100	32	0.71	2.37	0
216	39	39.89	299	105	3.84	<1	52	<100	<100	17	0.88	3.95	<110
230	32	35.2	394	81	5.81	<0.80	<12	<100	<100	<10	<0.25	2.04	<110
239	32	38.04	248	72	2.4	<0.80	<10	<90	488	<15	<0.30	1.16	<100
F-239-1	39	0	270	67.2	0	0	1.81	23.3	388	13.9	0.04	1.09	31.1
251	31	35.68	283	74	<0.80	<1.50	<10	<90	323	<20	<0.26	1.36	<100
397	35	40	279	53	9.04	<0.70	<17	<150	421	<8	<0.27	1.13	<160

ادامه جدول ۷- نتایج آنالیز شیمیایی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی اقیولیت ملائز عشین.

Sample	Th	U	La	Ce	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Tm	Yb	Lu
185	<0.60	<0.30	3.09	9.60	3.33	1.30	4.82	0.90	5.74	1.43	0.56	4.11	0.61
225	<0.30	1.10	2.88	8.46	3.21	1.34	5.26	0.93	6.37	1.43	0.69	4.57	0.70
226	<0.20	<0.40	2.74	8.88	3.40	1.43	4.88	0.92	6.51	1.33	0.54	3.32	0.49
F-269-1	0.18	0.44	3.59	11.60	4.44	1.60	5.72	1.05	7.09	1.53	0.65	4.46	0.69
372	<0.30	<0.40	4.67	10.56	3.00	0.93	3.78	0.75	4.52	<0.90	0.41	2.50	0.41
374	<0.30	<0.40	5.13	12.58	3.23	1.13	4.62	0.83	3.49	1.08	0.45	2.93	0.43
376	<0.40	<0.37	2.33	6.33	2.16	0.50	3.11	0.63	4.16	0.94	0.43	2.98	0.48
Ep1	0.83	<0.20	11.34	16.16	3.17	1.21	3.83	0.83	4.93	1.07	0.52	2.86	0.40
Ep2	0.86	0.80	11.68	20.69	4.35	1.52	5.85	1.15	5.31	1.15	0.53	2.73	0.46
216	0.67	<0.40	9.04	20.67	4.50	1.74	6.25	1.10	6.33	1.33	0.67	4.30	0.59
230	<0.35	<0.35	4.52	8.54	2.05	0.82	3.17	0.54	3.80	0.78	0.38	2.68	0.38
239	<0.20	<0.30	0.90	2.80	1.28	0.52	2.07	0.35	2.44	<0.52	0.28	1.71	0.25
F-239-1	0.00	0.00	0.93	3.23	1.62	0.65	2.20	0.44	3.02	0.66	0.30	2.07	0.33
251	<0.20	<0.40	0.85	2.72	1.15	0.56	2.08	0.38	2.66	<0.56	0.27	1.95	0.29
397	<0.33	<0.44	1.38	3.70	1.59	0.69	2.39	0.44	3.26	0.62	0.31	1.83	0.32

جدول ۸: مقادیر فشار بر اساس ژئوبارومتری آلومینیوم موجود در آمفیبول در دایک‌های متورق آمفیبولیتی اقیولیت عشین.

Mineral Type	Amphibolite				Amphibolitic Dike					
	Magnesio-Hornblende 371-1	Magnesio-Hornblende 371-3	Magnesio-Hornblende 371-4	Average P(Kbars)	Magnesio-Hornblende 397-1	Magnesio-Hornblende 397-2	Magnesio-Hornblende 397-4	Magnesio-Hornblende 397-5	Average P(Kbars)	
Hollister et al. 1987 (Kbars)	8.0	5.5	5.6	6.36	3.4	2.5	2.4	2.9	2.80	
Schmidt 1992 (Kbars)	7.7	3.6	5.8	6.36	3.9	3.1	3.0	3.4	3.35	
Hammuratrom & Zen 1986 (Kbars)	7.4	3.2	5.3	5.96	3.3	2.6	2.4	2.9	2.80	
Johnson & Rutherford 1989 (Kbars)	6.1	4.2	4.3	4.86	2.6	2.0	1.9	2.3	2.20	
	Mean of all above				5.88	Mean of all above				2.78

جدول ۹- مقادیر فشار بر اساس ژئوبارومتري آلومینوم موجود در آمفیبول در دایک های آمفیبولیتی افیولیت ملائز نائین.

Mineral Type	Amphibolite					Amphibolitic dikes					Average P(Kbars)
	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makite	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makitic Hornblende	Average P(Kbars)	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makitic Hornblende	Average P(Kbars)	
Sample Point	515	519	521	54		524	526	529	529		
Hallister et al. 1987 (Kbars)	8.0	7.7	6.8	7.1	7.4	7.7	7.4	7.8	7.6	7.62	
Schmidt 1992 (Kbars)	7.8	7.5	6.8	7.0	7.3	7.5	7.3	7.6	7.4	7.45	
Hannarstrom & Zapp 1986 (Kbars)	7.2	7.2	6.4	6.7	6.9	7.2	7.0	7.3	7.1	7.15	
Johnson & Rutherford 1989 (Kbars)	6.1	5.9	5.2	5.4	5.6	5.9	5.7	6.0	5.8	5.85	
Mean of all above					6.82	Mean of all above					7.01

جدول ۱۰- مقدار دما بر اساس روش [18] در فشار بین ۱ تا ۱۰ کیلوبار در آمفیبولیت های افیولیت ملائز نائین.

Pressure	1 (Kbars)	2 (Kbars)	3 (Kbars)	4 (Kbars)	5 (Kbars)	6 (Kbars)	6.5 (Kbars)	7 (Kbars)	7.5 (Kbars)	8 (Kbars)	9 (Kbars)	10 (Kbars)
Sample	Temperature °C											
519-518 (Amphibolite)	814.7	812.4	810.0	807.7	805.3	803.0	801.8	800.6	799.5	798.3	796.0	793.6
54-55 (Amphibolite)	673.8	670.9	667.9	665.0	662.0	659.0	657.6	656.1	654.6	653.1	650.2	647.2

جدول ۱۱- مقدار دما بر اساس روش [18] در فشار بین ۱ تا ۱۰ کیلوبار در آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیت افیولیت ملائز عشین.

Pressure	1 (Kbars)	2 (Kbars)	3 (Kbars)	4 (Kbars)	5 (Kbars)	6 (Kbars)	6.5 (Kbars)	7 (Kbars)	7.5 (Kbars)	8 (Kbars)	9 (Kbars)	10 (Kbars)
Sample	Temperature °C											
371-1&371-2 (Amphibolite)	637.6	641.3	645.4	649.2	653.1	656.9	658.9	660.8	662.7	664.7	668.5	672.4
371-4&371-5 (Amphibolite)	691.0	685.3	679.6	673.9	668.3	662.6	659.7	656.9	654.1	651.2	645.5	639.8
397-2&397-3 (Amphibolitic Dike)	702.1	699.1	696.2	693.2	690.2	687.3	685.8	684.3	682.8	681.3	678.4	675.4

گونه مشاهده می شود از آنجایی که نمونه پلاژیوکلاز شماره ۵۵، آلبیتی شده است، لذا مقدار دمای حاصل از ژئوترموتری نمونه آمفیبول - پلاژیوکلاز شماره ۵۴-۵۵ نسبت به نمونه ۵۱۸-۵۱۹ دارای اختلاف بالا و خطا می باشد.

نتایج این ژئوترموتری در مورد آمفیبولیت های مجموعه افیولیتی نائین بیانگر تغییرات دمای بین ۶۵۶/۱ تا ۷۹۹/۳ درجه سانتیگراد در محدوده فشاری ۷/۰ تا ۷/۵۷ کیلوبار (جدول ۱۰ و ۱۲) و برای آمفیبولیت های مجموعه افیولیتی عشین بیانگر تغییرات دمای بین ۶۶۳/۹ تا ۶۸۷/۸ درجه سانتیگراد در محدوده فشاری ۵/۸۳ تا ۷/۸۰ کیلوبار و در مورد دایک های آمفیبولیتی به ترتیب در حدود

۶۷۸/۴ درجه سانتیگراد در فشار ۳/۲۲ کیلوبار است (جدول ۱۱ و ۱۳). علاوه بر این نتایج، وجود گارنت در آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی نائین، حاکی از شرایط فشار بالاتر در این منطقه نسبت به عشین-زوار می باشد که با نتایج حاصل از ژئوبارومتري تطابق دارد.

پلاژیوکلازهای موجود در آمفیبولیت های منطقه نائین نیز نسبت به عشین-زوار اندکی کلسیک ترند که این مسئله نیز با بالاتر بودن دمای تشکیل آمفیبولیت های نائین که از طریق ژئوترمتری بدست آمده همخوانی نشانی می دهد.

در شکل ۷، تغییرات مقادیر دما و فشار در نمونه های مختلف آمفیبولیت های دایک های آمفیبولیتی هر دو افیولیت با هم مقایسه شده اند. براساس این نتایج و ترسیم

جدول ۱۲- ابتدا بر اساس [31] مقدار فشار را بدست آورده و آنگاه بر اساس [18] به ژئوترموتری انجام گرفته است (آمفیبولیت های

### افیولیت ناین).

Couple of Amphibole-Plagioclase	P (kbar)	T (°C)
519-518 (Amphibolite)	7.5	799
54-55 (Amphibolite)	7.0	656

جدول ۱۳- ابتدا بر اساس [31] مقدار فشار را بدست آورده و آنگاه بر اساس [18] به ژئوترموتری انجام گرفته است (آمفیبولیت‌ها و

### دایک های آمفیبولیتی بر گواره افیولیت عشین).

Couple of Amphibole Plagioclase	P (kbar)	T (°C)
371-1&371-2 (Amphibolite)	7.7	663
371-4&371-5 (Amphibolite)	5.8	687
397-2&397-3 (Amphibolitic Dike)	3.1	678

عناصر LREE اندکی افزایش و در برخی دیگر کاهش یافته است که می‌توان دلیل آن را تجمع و یا کم شدن کانی پلاژیوکلاز در سنگ مورد بررسی دانست. پهنای محدوده فراوانی عناصر نادر خاکی نیز می‌تواند به دلیل تفریق دگرگونی باشد. با در نظر گرفتن پدیده‌های تفریق آذرین و دگرگونی، می‌توان گفت که آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار شباهت زیادی به NMORB دارند (شکل ۱۲).

موقعیت آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار در دیاگرام‌های Ta/Yb-Th/Yb و Ta/Yb-Ce/Yb نشان می‌دهد که این سنگ‌ها تولییتی می‌باشند (شکل ۱۳). همچنین موقعیت آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار در دیاگرام مثلثی Th-Hf/3-Ta، در محدوده A یعنی NMORB، و محدوده B یعنی EMORB و تولییت‌های داخل صفحات اقیانوسی قرار می‌گیرد (شکل ۱۴). دیاگرام Th/Yb-Ta/Yb نیز در مورد آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار نشان می‌دهد که سنگ اولیه این سنگ‌ها مرتبط با یک گوشته تهی شده بوده است (شکل ۱۴).

موقعیت این سنگ‌ها در نمودار رخساره‌های دگرگونی، مشاهده می‌شود که رخساره دگرگونی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت عشین-زوار، آمفیبولیت، و در مورد افیولیت ناین، بخش‌های انتهایی رخساره آمفیبولیت تا اوایل رخساره گرانولیت می‌باشد (شکل ۹).

### ژئوشیمی سنگ کل

با توجه به دیاگرام  $\text{SiO}_2$  در برابر آلکالی، موقعیت آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار در پیرامون خط جداکننده دو محدوده ساب آلکالن و آلکالن می‌باشند. دلیل این مسئله اسپیلیتی شدن سنگ اولیه قبل از دگرگونی و یا تفریق دگرگونی می‌باشد (شکل ۱۱).

در دیاگرام‌های نرمالیز شدن REE آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار در برابر کندریت و نیز در برابر NMORB، روند تغییرات این عناصر تقریباً افقی بوده و نسبت به کندریت‌ها حدوداً ده برابر غنی. (شکل ۱۲). در برخی نمونه‌های آنالیز شده، مشاهده می‌شود که مقدار

جدول ۷- نتایج آنالیز شیمیایی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی اقیولیت ملائز عشین.

Sample	Rock type	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO%	MgO%	CaO%	Na <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O%	LOI%	Cr	Ni
185	Amphibolite	41.07	1.68	13.76	14.44	0.22	8.27	16.37	1.82	0.31	1.86	285	<90
225	Amphibolite	45.14	2.07	13.64	13.70	0.26	8.99	11.42	2.83	1.08	0.87	184	<80
226	Amphibolite	40.51	1.52	12.74	11.52	0.18	9.45	20.23	1.01	0.17	2.67	226	<75
F-269-1	Amphibolite	48.62	1.78	13.77	13.06	0.24	6.76	10.80	2.39	0.84	1.20	141	65
372	Amphibolite	55.20	1.12	13.87	10.19	0.21	4.64	8.49	3.73	1.20	1.34	455	235
374	Amphibolite	54.94	1.43	13.99	10.62	0.21	4.66	7.99	3.83	1.08	1.25	378	200
376	Amphibolite	44.08	0.98	13.61	12.67	0.22	10.46	13.96	1.91	0.61	1.49	370	315
Ep1	Epidosite	33.92	1.80	16.37	12.25	0.22	2.47	27.42	0.11	0.64	5.40	125	<70
Ep2	Epidosite	35.89	1.50	15.61	11.94	0.23	2.57	25.65	0.34	0.30	5.97	129	<70
216	Amphibolitic Dike	46.95	2.39	15.14	12.68	0.14	4.03	10.54	2.40	2.43	3.31	280	87
230	Amphibolitic Dike	53.00	1.07	14.63	12.58	0.19	3.68	8.12	4.64	1.00	1.10	140	70
239	Amphibolitic Dike	49.43	0.48	15.93	8.68	0.15	7.56	12.56	2.55	0.28	2.37	163	70
F-239-1	Amphibolitic Dike	47.60	0.60	15.26	9.27	0.15	7.88	14.23	1.87	0.14	2.76	129	71
251	Amphibolitic Dike	51.36	0.82	15.99	8.61	0.15	7.16	9.40	3.84	0.76	1.91	83	70
397	Amphibolitic Dike	55.41	0.85	15.93	9.28	0.17	4.19	7.54	4.07	1.10	1.46	379	178

ادامه جدول ۷- نتایج آنالیز شیمیایی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی اقیولیت ملائز عشین.

Sample	Co	Se	V	Zn	Mo	As	Rb	Ba	Sr	Ga	Ta	Hf	Zr
185	54	53.86	427	<40	<0.70	<0.36	<15	<150	<120	10	<0.30	2.1	<130
225	49	51.16	444	90	<0.60	<0.50	<15	<100	<110	<15	<0.30	3.1	<130
226	39	43.14	364	55	<0.80	<1	<10	<90	<100	22	<0.30	2.25	<110
F-269-1	49	0	404	117	0.56	0	14.1	41.1	102	19	0.19	3.2	117
372	41	42.45	262	112	8.56	<0.70	<17	<150	<170	<16	<0.30	2.45	<170
374	41	43.89	287	54	5.35	<0.70	<16	<150	<160	<8	0.46	2.04	61
376	54	53	387	107	7.32	<0.60	<20	<140	<180	<10	<0.30	1.1	<180
Ep1	30	33.33	222	71	2.43	3.24	<12	<80	964	24	0.72	2.18	<100
Ep2	33	38.65	202	0	2.36	4.86	<17	<100	1100	32	0.71	2.37	0
216	39	39.89	299	105	3.84	<1	52	<100	<100	17	0.88	3.95	<110
230	32	35.2	394	81	5.81	<0.80	<12	<100	<100	<10	<0.25	2.04	<110
239	32	38.04	248	72	2.4	<0.80	<10	<90	488	<15	<0.30	1.16	<100
F-239-1	39	0	270	67.2	0	0	1.81	23.3	388	13.9	0.04	1.09	31.1
251	31	35.68	283	74	<0.80	<1.50	<10	<90	323	<20	<0.26	1.36	<100
397	35	40	279	53	9.04	<0.70	<17	<150	421	<8	<0.27	1.13	<160

ادامه جدول ۷- نتایج آنالیز شیمیایی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی اقیولیت ملائز عشین.

Sample	Th	U	La	Ce	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Tm	Yb	Lu
185	<0.60	<0.30	3.09	9.60	3.33	1.30	4.82	0.90	5.74	1.43	0.56	4.11	0.61
225	<0.30	1.10	2.88	8.46	3.21	1.34	5.26	0.93	6.37	1.43	0.69	4.57	0.70
226	<0.20	<0.40	2.74	8.88	3.40	1.43	4.88	0.92	6.51	1.33	0.54	3.32	0.49
F-269-1	0.18	0.44	3.59	11.60	4.44	1.60	5.72	1.05	7.09	1.53	0.65	4.46	0.69
372	<0.30	<0.40	4.67	10.56	3.00	0.93	3.78	0.75	4.52	<0.90	0.41	2.50	0.41
374	<0.30	<0.40	5.13	12.58	3.23	1.13	4.62	0.83	3.49	1.08	0.45	2.93	0.43
376	<0.40	<0.37	2.33	6.33	2.16	0.50	3.11	0.63	4.16	0.94	0.43	2.98	0.48
Ep1	0.83	<0.20	11.34	16.16	3.17	1.21	3.83	0.83	4.93	1.07	0.52	2.86	0.40
Ep2	0.86	0.80	11.68	20.69	4.35	1.52	5.85	1.15	5.31	1.15	0.53	2.73	0.46
216	0.67	<0.40	9.04	20.67	4.50	1.74	6.25	1.10	6.33	1.33	0.67	4.30	0.59
230	<0.35	<0.35	4.52	8.54	2.05	0.82	3.17	0.54	3.80	0.78	0.38	2.68	0.38
239	<0.20	<0.30	0.90	2.80	1.28	0.52	2.07	0.35	2.44	<0.52	0.28	1.71	0.25
F-239-1	0.00	0.00	0.93	3.23	1.62	0.65	2.20	0.44	3.02	0.66	0.30	2.07	0.33
251	<0.20	<0.40	0.85	2.72	1.15	0.56	2.08	0.38	2.66	<0.56	0.27	1.95	0.29
397	<0.33	<0.44	1.38	3.70	1.59	0.69	2.39	0.44	3.26	0.62	0.31	1.83	0.32

جدول ۸: مقادیر فشار بر اساس ژئوبارومتری آلومینیوم موجود در آمفیبول در دایک‌های متورق آمفیبولیتی اقیولیت عشین.

Mineral Type	Amphibolite				Amphibolitic Dike					
	Magnesio-Hornblende 371-1	Magnesio-Hornblende 371-3	Magnesio-Hornblende 371-4	Average P(Kbars)	Magnesio-Hornblende 397-1	Magnesio-Hornblende 397-2	Magnesio-Hornblende 397-4	Magnesio-Hornblende 397-5	Average P(Kbars)	
Hollister et al. 1987 (Kbars)	8.0	5.5	5.6	6.36	3.4	2.5	2.4	2.9	2.80	
Schmidt 1992 (Kbars)	7.7	3.6	5.8	6.36	3.9	3.1	3.0	3.4	3.35	
Hammuratrom & Zen 1986 (Kbars)	7.4	3.2	5.3	5.96	3.3	2.6	2.4	2.9	2.80	
Johnson & Rutherford 1989 (Kbars)	6.1	4.2	4.3	4.86	2.6	2.0	1.9	2.3	2.20	
	Mean of all above				5.88	Mean of all above				2.78



جدول ۹- مقادیر فشار بر اساس ژئوبارومتري آلومینوم موجود در آمفیبول در دایک های آمفیبولیتی افیولیت ملائز نائین.

Mineral Type	Amphibolite					Amphibolitic dikes					Average P(Kbars)
	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makite	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makitic Hornblende	Average P(Kbars)	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makitic Hornblende	Tscher-makitic Hornblende		
Sample Point	515	519	521	54		524	526	529	529		
Hallister et al. 1987 (Kbars)	8.0	7.7	6.8	7.1	7.4	7.7	7.4	7.8	7.6	7.62	
Schmidt 1992 (Kbars)	7.8	7.5	6.8	7.0	7.3	7.5	7.3	7.6	7.4	7.45	
Hannarstrom & Zapp 1986 (Kbars)	7.2	7.2	6.4	6.7	6.9	7.2	7.0	7.3	7.1	7.15	
Johnson & Rutherford 1989 (Kbars)	6.1	5.9	5.2	5.4	5.6	5.9	5.7	6.0	5.8	5.85	
Mean of all above					6.82	Mean of all above					7.01

جدول ۱۰- مقدار دما بر اساس روش [18] در فشار بین ۱ تا ۱۰ کیلوبار در آمفیبولیت های افیولیت ملائز نائین.

Pressure	1 (Kbars)	2 (Kbars)	3 (Kbars)	4 (Kbars)	5 (Kbars)	6 (Kbars)	6.5 (Kbars)	7 (Kbars)	7.5 (Kbars)	8 (Kbars)	9 (Kbars)	10 (Kbars)
Sample	Temperature °C											
519-518 (Amphibolite)	814.7	812.4	810.0	807.7	805.3	803.0	801.8	800.6	799.5	798.3	796.0	793.6
54-55 (Amphibolite)	673.8	670.9	667.9	665.0	662.0	659.0	657.6	656.1	654.6	653.1	650.2	647.2

جدول ۱۱- مقدار دما بر اساس روش [18] در فشار بین ۱ تا ۱۰ کیلوبار در آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیت افیولیت ملائز عشین.

Pressure	1 (Kbars)	2 (Kbars)	3 (Kbars)	4 (Kbars)	5 (Kbars)	6 (Kbars)	6.5 (Kbars)	7 (Kbars)	7.5 (Kbars)	8 (Kbars)	9 (Kbars)	10 (Kbars)
Sample	Temperature °C											
371-1&371-2 (Amphibolite)	637.6	641.3	645.4	649.2	653.1	656.9	658.9	660.8	662.7	664.7	668.5	672.4
371-4&371-5 (Amphibolite)	691.0	685.3	679.6	673.9	668.3	662.6	659.7	656.9	654.1	651.2	645.5	639.8
397-2&397-3 (Amphibolitic Dike)	702.1	699.1	696.2	693.2	690.2	687.3	685.8	684.3	682.8	681.3	678.4	675.4

گونه مشاهده می شود از آنجایی که نمونه پلاژیوکلاز شماره ۵۵، آلبیتی شده است، لذا مقدار دمای حاصل از ژئوترومتري نمونه آمفیبول - پلاژیوکلاز شماره ۵۴-۵۵ نسبت به نمونه ۵۱۸-۵۱۹ دارای اختلاف بالا و خطا می باشد.

نتایج این ژئوترومبارومتري در مورد آمفیبولیت های مجموعه افیولیتی نائین بیانگر تغییرات دمای بین ۶۵۶/۱ تا ۷۹۹/۳ درجه سانتیگراد در محدوده فشاری ۷/۰۰ تا ۷/۵۷ کیلوبار (جدول ۱۰ و ۱۲) و برای آمفیبولیت های مجموعه افیولیتی عشین بیانگر تغییرات دمای بین ۶۶۳/۹ تا ۶۸۷/۸ درجه سانتیگراد در محدوده فشاری ۵/۸۳ تا ۷/۸۰ کیلوبار و در مورد دایک های آمفیبولیتی به ترتیب در حدود

۶۷۸/۴ درجه سانتیگراد در فشار ۳/۲۲ کیلوبار است (جدول ۱۱ و ۱۳). علاوه بر این نتایج، وجود گارنت در آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی نائین، حاکی از شرایط فشار بالاتر در این منطقه نسبت به عشین-زوار می باشد که با نتایج حاصل از ژئوبارومتري تطابق دارد.

پلاژیوکلازهای موجود در آمفیبولیت های منطقه نائین نیز نسبت به عشین-زوار اندکی کلسیک ترند که این مسئله نیز با بالاتر بودن دمای تشکیل آمفیبولیت های نائین که از طریق ژئوترومتري بدست آمده همخوانی نشانی می دهد.

در شکل ۷، تغییرات مقادیر دما و فشار در نمونه های مختلف آمفیبولیت های دایک های آمفیبولیتی هر دو افیولیت با هم مقایسه شده اند. براساس این نتایج و ترسیم

جدول ۱۲- ابتدا بر اساس [31] مقدار فشار را بدست آورده و آنگاه بر اساس [18] به ژئوترموتری انجام گرفته است (آمفیبولیت های

### افیولیت ناین).

Couple of Amphibole-Plagioclase	P (kbar)	T (°C)
519-518 (Amphibolite)	7.5	799
54-55 (Amphibolite)	7.0	656

جدول ۱۳- ابتدا بر اساس [31] مقدار فشار را بدست آورده و آنگاه بر اساس [18] به ژئوترموتری انجام گرفته است (آمفیبولیت‌ها و

### دایک های آمفیولیتی بر گواره افیولیت عشین).

Couple of Amphibole-Plagioclase	P (kbar)	T (°C)
371-1&371-2 (Amphibolite)	7.7	663
371-4&371-5 (Amphibolite)	5.8	687
397-2&397-3 (Amphibolitic Dike)	3.1	678

عناصر LREE اندکی افزایش و در برخی دیگر کاهش یافته است که می‌توان دلیل آن را تجمع و یا کم شدن کانی پلاژیوکلاز در سنگ مورد بررسی دانست. پهنای محدوده فراوانی عناصر نادر خاکی نیز می‌تواند به دلیل تفریق دگرگونی باشد. با در نظر گرفتن پدیده‌های تفریق آذرین و دگرگونی، می‌توان گفت که آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار شباهت زیادی به NMORB دارند (شکل ۱۲).

موقعیت آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار در دیاگرام‌های Ta/Yb-Th/Yb و Ta/Yb-Ce/Yb نشان می‌دهد که این سنگ‌ها تولییتی می‌باشند (شکل ۱۳). همچنین موقعیت آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار در دیاگرام مثلثی Th-Hf/3-Ta، در محدوده A یعنی NMORB، و محدوده B یعنی EMORB و تولییت‌های داخل صفحات اقیانوسی قرار می‌گیرد (شکل ۱۴). دیاگرام Th/Yb-Ta/Yb نیز در مورد آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار نشان می‌دهد که سنگ اولیه این سنگ‌ها مرتبط با یک گوشته تهی شده بوده است (شکل ۱۴).

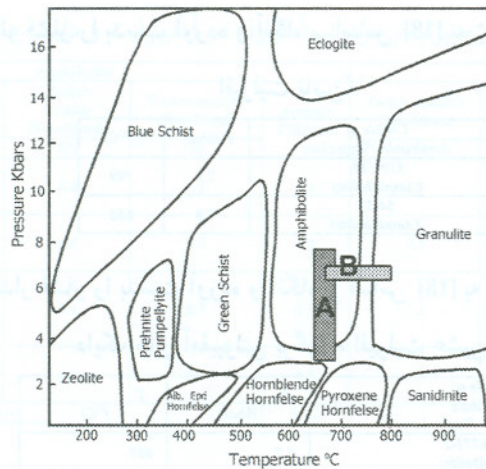
موقعیت این سنگ‌ها در نمودار رخساره‌های دگرگونی، مشاهده می‌شود که رخساره دگرگونی آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی افیولیت عشین-زوار، آمفیبولیت، و در مورد افیولیت ناین، بخش‌های انتهایی رخساره آمفیبولیت تا اوایل رخساره گرانولیت می‌باشد (شکل ۹).

### ژئوشیمی سنگ کل

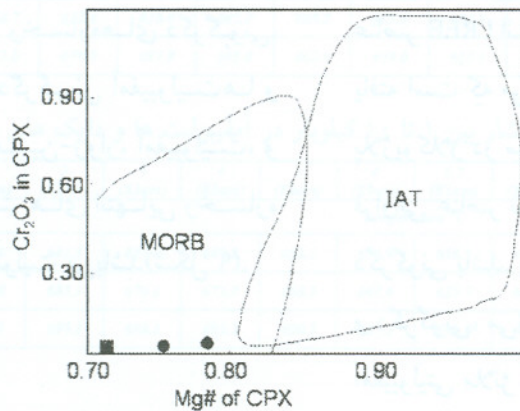
با توجه به دیاگرام  $\text{SiO}_2$  در برابر آلکالی، موقعیت آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار در پیرامون خط جداکننده دو محدوده ساب آلکالن و آلکالن می‌باشند. دلیل این مسئله اسپیلیتی شدن سنگ اولیه قبل از دگرگونی و یا تفریق دگرگونی می‌باشد (شکل ۱۱).

در دیاگرام‌های نرمالیز شدن REE آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار در برابر کندریت و نیز در برابر NMORB، روند تغییرات این عناصر تقریباً افقی بوده و نسبت به کندریت‌ها حدوداً ده برابر غنی. (شکل ۱۲). در برخی نمونه‌های آنالیز شده، مشاهده می‌شود که مقدار

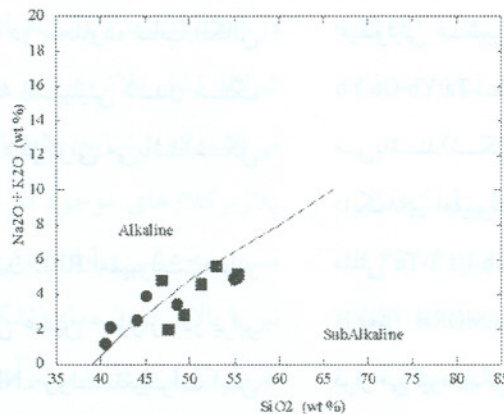
## Archive of SID



شکل ۹- رخساره های دگرگونی و موقعیت دما و فشار موقعیت دایک های آمفیبولیتی و آمفیبولیت های افیولیت عشین (A) و سنگ های آمفیبولیتی افیولیت ملانژ ناین (B) بر اساس نتایج ژئوترموبارومتری، شکل بر گرفته از [38].

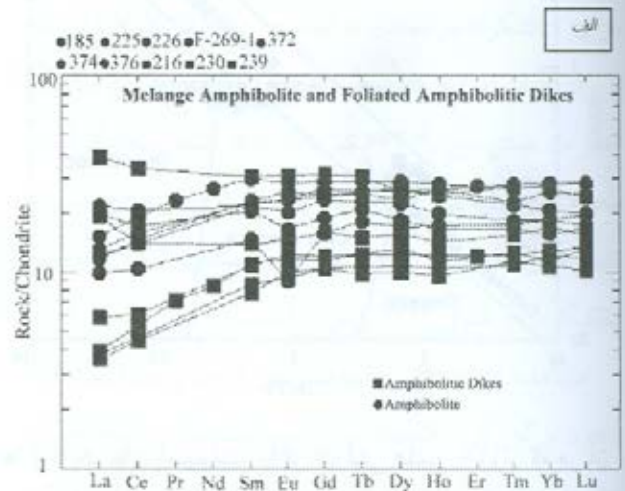
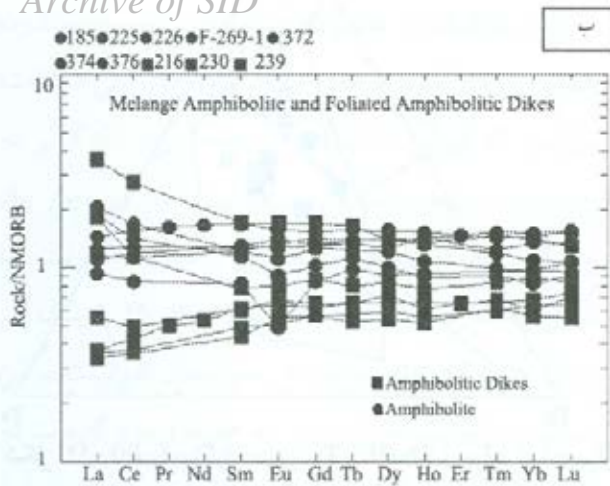


شکل ۱۰- موقعیت آمفیبولیت ها (دایره) و دایک های آمفیبولیتی (مربع) افیولیت ملانژ ناین با توجه به ترکیب کلینوپیروکسن های آنها [26].

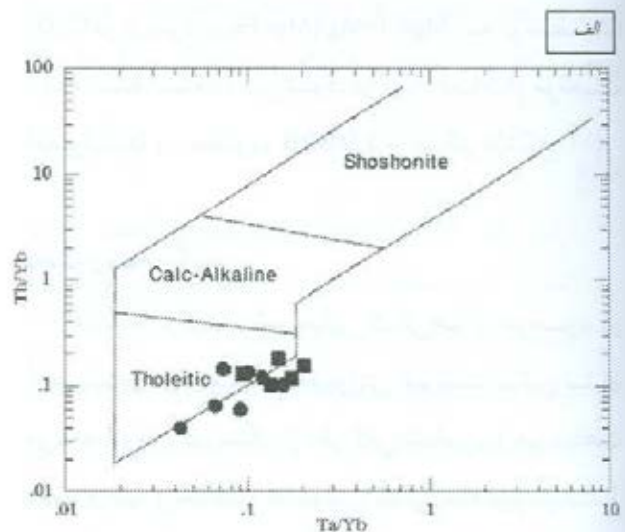
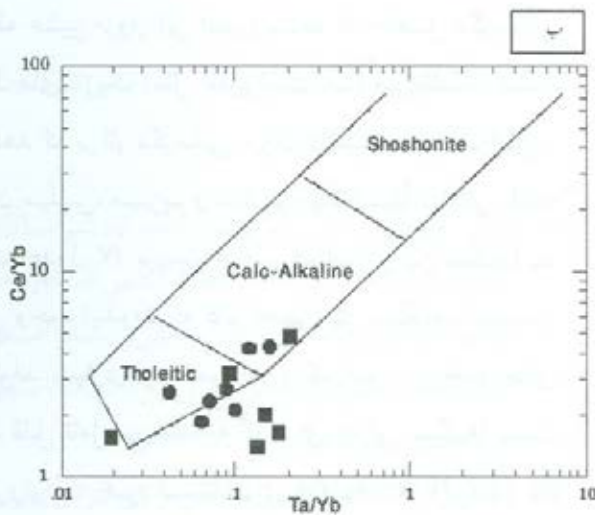


شکل ۱۱- دیاگرام SiO<sub>2</sub> در برابر آکالی، و موقعیت آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی ملانژ افیولیتی عشین - زوار [19].  
 آمفیبولیت ها با علامت دایره و دایک های آمفیبولیتی با علامت مربع نشان داده شده است. قرار گرفتن تعدادی از نمونه ها در محدوده آکالن بدلیل اسپیلیتی شدن سنگ اولیه قبل از دگرگونی، و یا تفریق دگرگونی می باشد.

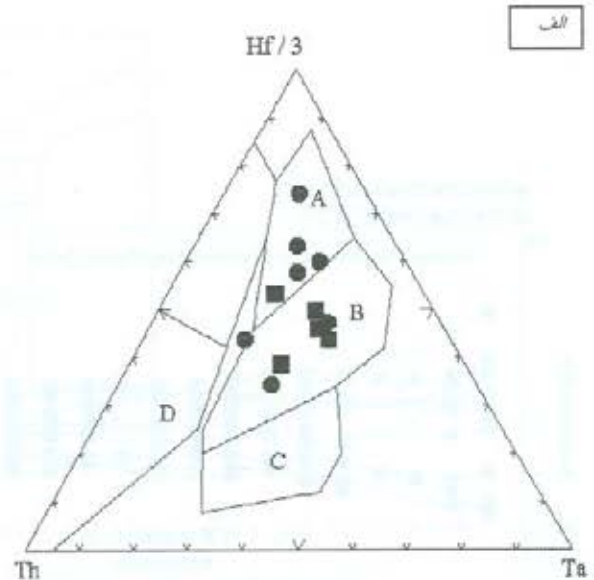
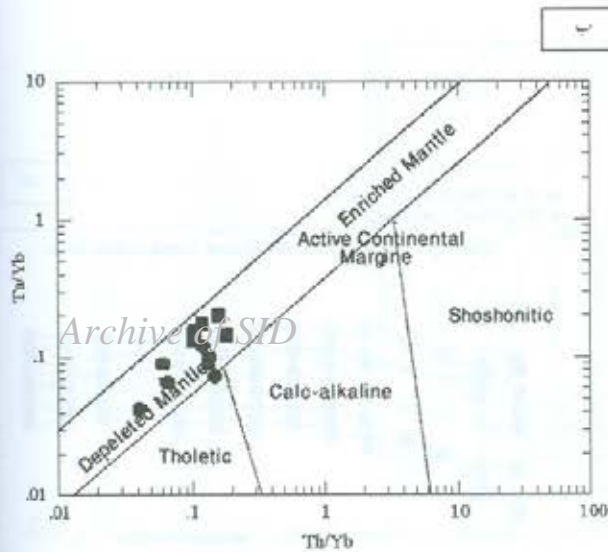
Archive of SID



شکل ۱۲- الف) دیاگرام نرمالیز شدن REE آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملائز افیولیتی عشین - زوار در برابر کندریت. ب) دیاگرام نرمالیز شدن REE آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملائز افیولیتی عشین - زوار در برابر NMORB. با در نظر گرفتن پدیده تفریق دگرگونی، می‌توان گفت که این نمونه‌ها شباهت زیادی به NMORB دارند.



شکل ۱۲ الف) دیاگرام Ta/Yb-Th/Yb و موقعیت آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملائز افیولیتی عشین - زوار [25]. ب) دیاگرام Ta/Yb-Ce/Yb و موقعیت آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی ملائز افیولیتی عشین - زوار [25].



شکل ۱۴- الف) دیاگرام مثلثی Th-Hf/3-Ta و موقعیت آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی ملائز افیولیتی عشین - زوار که در آن نمونه ها در محدوده A یعنی NMORB، و محدوده B یعنی EMORB و تولیت های داخل صفحات اقیانوسی قرار گرفته اند [37].  
 ب) دیاگرام Th/Yb-Ta/Yb در مورد آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی ملائز افیولیتی عشین - زوار [25]. این دیاگرام نشان می دهد که سنگ اولیه این سنگ ها یک تولیت مرتبط با گوشته تپی شده بوده است.

بررسی منشاء این سنگها پی برد. به این منظور از دیاگرام  $Cr_2O_3$  در برابر  $Mg\# (=Mg/(Mg+Fe_{total}))$  که توسط [26] ارائه شده استفاده می شود. در این دیاگرام موقعیت آمفیبولیت ها در محدوده MORB قرار می گیرد (شکل ۱۰).

### بحث و نتیجه گیری

مقایسه ترکیب شیمیایی کانی های موجود در آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی افیولیت نائین نشان می دهد که این دو سنگ از نظر کانی شناسی با هم شباهت دارند و تنها دایک های آمفیبولیتی اندکی دانه ریز تر اند و برگوارگی در آنها به شدت آمفیبولیت ها نیست. به طور میانگین فشار بدست آمده، برای آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی نائین به ترتیب  $6/82$  و  $7/01$  کیلوبار و در مورد آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی افیولیت عشین به ترتیب  $5/88$  و  $2/78$  کیلوبار است. همچنین استفاده از

نتایج آنالیز ژئوشیمیایی سنگ کل درباره ایدوزیت های منطقه عشین-زوار این ایدوزیت ها که حاصل دگرسانی سنگ های بازیک (مثل آمفیبولیت ها) می باشند، نشان می دهد که بر اثر دگرسانی، میزان کلسیم و LOI افزایش و میزان سیلیس، منیزیم و سدیم آنها نسبتاً کاهش یافته است (جدول ۷). بررسی عناصر کمیاب در این سنگها به دلیل وجود ایدوت که کانی اصلی این سنگها است و می تواند بسیاری از عناصر نادر و کمیاب را در خود جای دهد قابل تامل می باشد. به گونه ای که این سنگها نسبت به پروتولیت خود نسبتاً دارای Ga, As, Sr, Th, La و Ce بالاتری بوده و میزان LREE های آنها تغییر کرده در حالی که HREE ها نسبتاً بدون تغییر باقی مانده اند.

با توجه به حضور کلینوپیروکسن های اولیه و آذرین در سنگ های آمفیبولیتی افیولیت ملائز نائین می توان با استفاده از آنالیز میکروپروب این کلینوپیروکسن ها به

ژئوبارومتري آلومینیوم موجود در آمفیبول‌ها در هر دو سری سنگ به هم بسیار نزدیک می‌باشند، می‌توان این دما را برای دایک‌ها نیز تعمیم داد. بر اساس ترسیم محدوده فشار و دمای آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی مشاهده می‌شود که افیولیت عشین-زوار، متحمل یک دگرگونی در حد رخساره آمفیبولیت شده و افیولیت نائین نیز دچار یک دگرگونی در حد بخش‌های انتهایی رخساره آمفیبولیت تا اوایل رخساره گرانولیت شده است (شکل ۹). بازیگ تر بودن پلاژیوکلازهای موجود در نمونه‌های افیولیت نائین نسبت به افیولیت عشین-زوار، به همراه وجود گارنت در نمونه‌های افیولیت نائین موید این مطلب هستند که شرایط دگرگونی در افیولیت نائین بالاتر بوده است. نتایج آنالیز شیمیایی سنگ کل آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی نیز نشان می‌دهد که این سنگ‌ها ماهیت تولییتی داشته و شبیه MORB می‌باشند.

روش [31] برای ژئوترمومتری آمفیبولیت‌های مجموعه افیولیتی نائین بیانگر تغییرات دمای بین ۶۵۶/۱ تا ۷۹۹/۳ درجه سانتیگراد در محدوده فشاری ۷/۰۰ تا ۷/۵۷ کیلوبار و برای آمفیبولیت‌های مجموعه افیولیتی عشین بیانگر تغییرات دمای بین ۶۶۳/۹ تا ۶۸۷/۸ درجه سانتیگراد در محدوده فشاری ۵/۸۳ تا ۷/۸۰ کیلوبار و در مورد دایک‌های آمفیبولیتی به ترتیب در حدود ۶۷۸/۴ درجه سانتیگراد در فشار ۳/۲۲ کیلوبار است.

مشاهده دایک‌های آمفیبولیتی در درون پریدوتیت‌ها، وجود برگوارگی یکسان در آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی و علاوه بر این‌ها تعقیب دایک‌های آمفیبولیتی که سرانجام به آمفیبولیت‌ها رسیده و در آنها محو می‌شوند، همگی بیانگر این است که آمفیبولیت‌ها نیز همانند دایک‌های آمفیبولیتی جزء خود این افیولیت‌ها می‌باشند و قطعات بیگانه نیستند. با توجه به روابط صحرایی بین آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی و نیز با توجه به اینکه مقادیر فشار بدست آمده از طریق

## منابع

- ۱- ترابی، ق.، ۱۳۸۳، پترولوژی افیولیت‌های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان)، رساله دکتری پترولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۴۰ صفحه.
- ۲- ترابی، ق.، ا.، نوربهبشت، ن.، شیردشت زاده، ۱۳۸۴، مطالعه آمفیبولیت‌ها و اسکارن‌های افیولیت ملانژ شمال نائین، چکیده مقالات بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، صفحه ۲۱۵-۲۱۶.
- ۳- ترابی، ق.، ایرج نوربهبشت، ا.، شیردشت زاده، ن.، پیرنیا، ت.، ۱۳۸۵، بررسی آنکلاوهای موجود در اسکارن‌های افیولیت ملانژ نائین (استان اصفهان)، مجموعه مقالات چهاردهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران-دانشگاه بیرجند، صفحه ۸۰-۸۶.
- ۴- ترابی، ق.، آرای، ش.، شیردشت زاده، ن.، شیراساکا، م.، جباری، ع.، ترابی، ح.، ۱۳۸۵، کانی‌شناسی اسکارن‌های موجود در افیولیت ملانژ شمال نائین (استان اصفهان، ایران)، مجله علمی پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، جلد بیست و سوم، شماره یک، ۲۲۳-۲۳۰.
- ۵- جباری، ع.، ۱۳۷۶، زمین‌شناسی و پترولوژی افیولیت نائین، رساله کارشناسی ارشد پترولوژی گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، ۱۶۳ صفحه.
- ۶- رهگشایی، م.، ه.، شفایی مقدم، ۱۳۸۲، مجموعه افیولیتی نائین: شواهد پالئو و نئوتیس در ایران مرکزی، نشریه دانشکده علوم زمین، شماره ۸ و ۹، صفحه ۴۵ تا ۵۲.

- 15- W.G., Ernst, Jun Liu, Experimental phase-equilibrium study of Al- and Ti- contents of calcic Amphibole in MORB - A semi quantitative thermobarometer, American mineralogist, v. 83, p.952-969; (1998).
- 16- M.C., ilbert, R.T., Helz, R.K., Popp, and F.S., Spear, Experimental studies of amphibole stability. In D.R. Veblen and P.H. Ribbe, Eds., Amphiboles: petrology and experimental phase relations, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., v. 9B, 9B, 229-353; (1982).
- 17- F.C., awthorne, Crystal chemistry of the amphiboles. In D.R. Veblen, Ed., Amphiboles and other hydrous pyriboles—mineralogy, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., v. 9A, p. 1-102; (1981).
- 18- T.J.B., lland, and J., lundy, on ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. Contributions to Mineralogy and Petrology, no 116, p. 433-447; (1994).
- 19- T.N., Irvine, and W.R.I., Baragar, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, no 8, p. 523-548; (1971).
- 20- J., Liu, High pressure phase equilibria involving the amphibolite eclogite transformation. Unpublished doctoral dissertation, Stanford University; (1997).
- 21- J., Liu, and S.R., Bohlen, Mixing properties and stability of jadeite acmite pyroxene in the presence of albite and quartz, Contributions to Mineralogy and Petrology, no 119, p.433-440; (1995).
- 22- J., Liu, S.R., Bohlen, and W.G., Ernst, Stability of hydrous phases in subducting oceanic crust, Earth and Planetary Science Letters, no 143, p.161-171; (1996).
- 23- J.B., Moody, D., Meyer, and J.E., Jenkins, Experimental characterization of the greenschist/amphibolite boundary in mafic systems, American Journal of Science, no 283, p. 48-92; (1983).
- ۷- رهگشایی، م.، ه.، شفایی مقدم، منصف، ا.، ۱۳۸۵، پترولوژی و پتروفابریک و انواع دگرگونی‌های مجموعه افیولیتی ناین (ایران مرکزی)، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۲، شماره ۲، صفحه ۳۷ تا ۵۶.
- ۸- رهگشایی، م.، ه.، شفایی مقدم، م.، تشکر، و.، فروزش، ۱۳۸۴، پترولوژی سنگ‌های دگرگونی همراه افیولیت‌های ناین و دهشیر، ایران مرکزی، مجموعه مقالات سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی شهید باهنر کرمان، صفحه ۸۶-۸۹.
- ۹- منوچهری، ش.، ۱۳۷۶، بررسی پتروگرافی و پترولوژی افیولیت‌های شمال ناین، رساله کارشناسی ارشد پترولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، ۱۹۰ صفحه.
- 10- JL, Anderson Status of thermobarometry in granitic batholiths. Trans Roy Soc Edinb, Earth Sciences, no 87, p. 125-138; (1997).
- 11- JL, Anderson, DR, Smith The effect of temperature and  $fO_2$  on the Al-in-hornblende barometer, American Mineralogist, no 80, p. 549-559; (1995).
- 12- J.D., Blundy and T.J.B., Holland Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer, Contributions to Mineralogy and Petrology, no 104, p. 208-24; (1990).
- 13- M., Davoudzadeh, Geology and petrography of the area north of Nain, Central Iran, Geological survey of Iran Report, no 14, p. 89; (1972).
- 14- G.T.R., Droop A general equation for estimating  $Fe^{3+}$  concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria, Mineralogical Magazine, v. 51, p. 431-435; (1987).