

مقایسه‌ی کانی‌شناسی دایک‌های گابروئی و آمفیبولیتی رودنژیته‌ی شده موجود در سرپانتینیت‌های افیولیت ملانژ شمال نائین

سمیه فلاحتی*، معصومه سعیدی، رضوان محوری، موسی نقره‌ئیان، محمود خلیلی، قدرت ترابی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۹/۴/۱۴، نسخه نهایی: ۸۹/۸/۹)

چکیده: سنگ مادر دایک‌های رودنژیته‌ی شده در منطقه‌ی نائین، به‌صورت آذرین (گابروهای پگماتوئیدی، میکروگابروها، دلریت‌ها) و به میزان بسیار کمتر، دگرگون (آمفیبولیت) شکل گرفته‌اند. بافت و ضخامت از پارامترهای تأثیر گذار بر رودنژیته‌ی شدن این دایک‌ها به شمار می‌آیند. به‌طوری که دایک‌های گابروئی پگماتیتوئیدی و میکرو گابروهای کم ضخامت بیشتر تحت تأثیر رودنژیته‌ی شدن قرار گرفته‌اند و مراحل ابتدائی تا پیشرفته رودنژیته‌ی شدن ایستا (به‌علت حضور کانی‌های جاننشینی اپیدوت، پرهنیت، هیدروگراسولار، زنونولیت، کلریت منیزیم‌دار، ترمولیت و دیوپسید ثانویه) و نیز رودنژیته‌ی شدن دینامیکی (به‌علت حضور کانی‌های رگه‌ای زنونولیت، پرهنیت و پکتولیت) را طی کرده‌اند. در صورتی که دایک‌های دلریتی و آمفیبولیتی شده به‌دلیل دارا بودن بافت متراکم، تنها مراحل ابتدائی رودنژیته‌ی شدن استایی (به‌دلیل وجود کانی‌های جاننشینی اپیدوت، پرهنیت و هیدروگراسولار) را تحمل کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: /افیولیت ملانژ نائین؛ رودنژیت؛ دایک گابروئی؛ دایک آمفیبولیتی؛ سرپانتینیت.

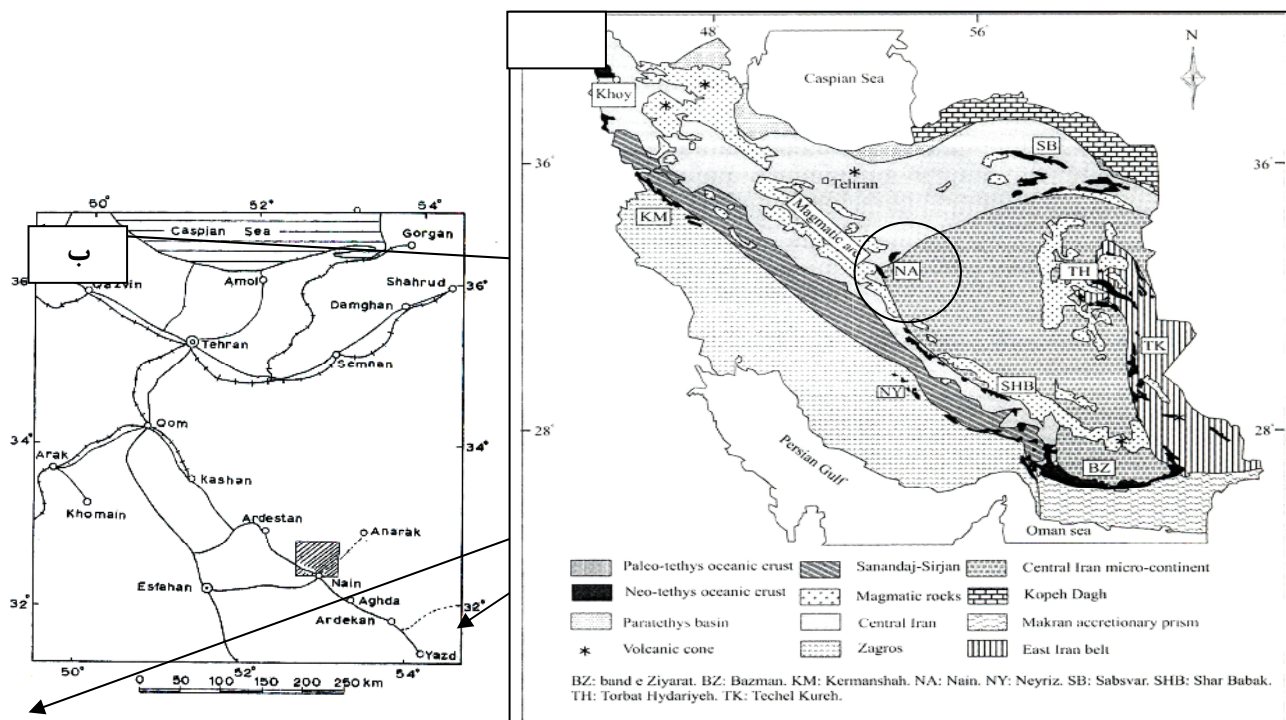
مقدمه و زمین‌شناسی منطقه

در گستره‌ی شمال نائین، مجموعه سنگ‌های افیولیت ملانژ به سن پالئوسن تا ائوسن رخنمون دارند. پریدوتیت‌های سرپانتینیتی شده، گابرو، دایک‌های صفحه‌ای، پلاژیوگرانیت، بازالت و آهک پلاژیک یا رادیولاریت‌های همراه، از واحد‌های تشکیل دهنده‌ی این افیولیت هستند (شکل ۱) [۱].

بنابر آخرین بررسی‌ها، سنگ‌های رودنژیته‌ی، سنگ‌های غنی از کلسیمی هستند که از دگرنهادی سنگ‌های گابروئی، دلریتی، گری وکی، گرانیتی، داسیتی و شیلی وابسته به مجموعه‌های بزرگ سرپانتینیتی حاصل می‌شوند. در جریان سرپانتینیتی شدن، پیروکسن و الیوین موجود در سنگ‌های

اولترامافیک، کلسیم آزاد می‌شود که این کلسیم قادر به جایگیری در ساختار سرپانتینیت‌ها نیست، لذا در شاره‌ی حاصل از سرپانتینیتی شدن تمرکز می‌یابد و اگر توده‌های اولترامافیک قبلاً به وسیله‌ی دایک‌های دیابازی مورد هجوم قرار گرفته باشند، شاره‌های حاصل از سرپانتینیتی شدن آن‌ها روی دایک‌های دیابازی اثر کرده و حاصل واکنش تشکیل رودنژیت است [۲]. در منطقه‌ی مورد بررسی، دو نوع دایک رودنژیته‌ی شده با دو نوع سنگ خاستگاه متفاوت دیده می‌شوند. اول دایک‌های رودنژیته‌ی شده با سنگ خاستگاه آذرین (گابروهای پگماتیتوئیدی، میکروگابروها، دلریت) و دیگری دایک‌های رودنژیته‌ی شده با سنگ خاستگاه دگرگونی (آمفیبولیت).

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۱۲۶۱۷۷۵، شماره: ۰۳۱۱۲۲۶۱۶۲۳، پست الکترونیکی: somayehfalahaty@yahoo.com



شکل ۱ الف: موقعیت افیولیت های ایران Khoy : خوی، FM: فنوج KM: کرمانشاه، BZ: باند زیارت NY: نیریز، SB: سبزواری NA: نائین، BF: بافت ES: اسفندقه، RS: رشت IR: ایرانشهر، SHB: شهر بابک [۴]. ب: نقشه راه‌های دستیابی به منطقه [۱].

دایک‌های آمفیبولیتی و رودنژیته شده، اغلب به رنگ سبز کم رنگ براق با ساختار بودیناژ و ضخامت کم و به صورت پراکنده درون سرپانتینیت‌های منطقه در راستای جاده‌ی سهیل - سپرو، از دایک‌های دیگر رودنژیته شده منطقه قابل تفکیک‌اند (شکل ۳) [۳].

دایک‌های گابروئی رودنژیته شده، اغلب به رنگ سفید تا کرم و به صورت ساختارهای سوسیسی شکل (بودیناژ) با ضخامت کم در سرپانتینیت‌های منطقه قابل رؤیت‌اند و در دو منطقه‌ی شمال احمد آباد و گلی گنگو رخنمون گسترده‌ای دارند (شکل ۲).



شکل ۲ نمایی از دایک آمفیبولیتی شده رودنژیته شده در افیولیت ملانژ شمال نائین.



شکل ۳ نمایی از دایک‌های گابروئی رودنژیته شده در افیولیت ملانژ شمال نائین.

روش بررسی

به‌منظور بررسی ترکیب کانی‌های موجود در رودنژیت‌های افیولیت نائین، ۴۰ نمونه از این سنگ‌ها برای تهیه مقطع نازک انتخاب شدند. پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری، از ۱۰ نمونه‌ی این سنگ‌ها مقطع نازک صیقلی تهیه شد و برای آنالیز EDS به دانشگاه تربیت مدرس تهران و آنالیز ریز پردازشی به دانشگاه لیبنیز آلمان انتقال یافتند. در دانشگاه لیبنیز آلمان، کانی‌های

موجود در مقاطع با استفاده از ریز پردازنده‌ی الکترونی Cameca SX-100 با ولتاژ شتاب دهنده‌ی 20Kv و جریان 15nA آنالیز شدند. داده‌های حاصل از آنالیز کانی‌ها و فرمول ساختاری محاسبه شده با نرم افزار Minpet 2.02 در جدول-های ۱-۴ آورده شده‌اند. در محاسبه‌ی مقدار Fe^{+3} برای دستیابی به فرمول ساختاری کانی‌ها نیز از عنصرسنجی کانی‌ها استفاده شد.

جدول ۱ نتایج آنالیز میکروپروب از کانی‌های کلینوپیروکسن ثانویه.

Major element	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%
SiO ₂	۷۰٫۵۶	۶۵٫۵۷	۷۵٫۵۵	۵۱٫۵۶
TiO ₂	۰٫۳۰	۰٫۱۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al ₂ O ₃	۰٫۷۴	۰٫۲۹	۰٫۲۲	۰٫۲۳
FeO*	۶٫۷۰	۶٫۹۲	۵٫۵۵	۷٫۰۷
MnO	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۵۰	۰٫۰۵
MgO	۱۵٫۱۷	۱۷٫۹۶	۱۳٫۷۱	۱۷٫۴۷
CaO	۱۹٫۰۱	۱۶٫۷۷	۲۱٫۷۷	۱۷٫۶۷
Na ₂ O	۰٫۶۹	۰٫۱۷	۱٫۱۹	۰٫۱۱
K ₂ O	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۵
Total	۹۸٫۶۶	۹۹٫۸۶	۹۸٫۳۱	۹۹٫۱۷
Formula	Cations	Cations	Cations	Cations
Si	۲٫۰۸۴	۲٫۰۷۶	۲٫۰۷۱	۲٫۰۱۶
Al	۰٫۰۸۴	۰٫۰۷۶	۰٫۰۷۱	۰٫۰۶۱
Al	۰٫۰۹۵	۰٫۰۸۹	۰٫۰۸۰	۰٫۰۷۱
Fe(iii)	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Ti	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe(ii)	۰٫۲۰۹	۰٫۲۱۲	۰٫۱۷۴	۰٫۲۱۹
Mn	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲
Mg	۰٫۸۳۱	۰٫۹۴۶	۰٫۷۵۹	۰٫۹۵
Ca	۰٫۷۴۹	۰٫۶۴۷	۰٫۸۶۶	۰٫۴۹
Na	۰٫۰۴۹	۰٫۰۱۲	۰٫۰۸۶	۰٫۰۰۸
K	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲
Total	۳٫۹۳۸	۳٫۹۲۷	۳٫۹۷	۳٫۹۴۲

جدول ۲ محاسبه درصد اعضای انتهائی محلول‌های جامد در کانی‌های کلینوپیروکسن ثانویه.

Wo	۴۰٫۶۷	۳۵٫۲۱	۴۵٫۹۲	۳۶٫۹۴
En	۴۵٫۱۷	۵۲٫۴۸	۴۰٫۲۴	۵۰٫۸۳
Fs	۱۱٫۴۹	۱۱٫۶۶	۹٫۲۹	۱۱٫۸۱
Ac	۲٫۶۷	۰٫۶۵	۴٫۵۴	۰٫۴۲

جدول ۳ نتایج آنالیز EDS از کانی‌های پره‌نیت x جانشینی، xx رگه ای.

Major element	Wt %*	Wt %*	Wt %**	Wt %**
SiO ₂	۴۷,۴۲	۶۷,۴۵	۴۶,۱۱	۴۷,۷۸
TiO ₂	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Al ₂ O ₃	۱۷,۶۰	۲۲,۹۶	۲۰,۰۷	۱۶,۳۹
Fe ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
MnO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۷	۰,۰۰
MgO	۰,۸۲	۰,۸۴	۱,۳۷	۰,۴۸
CaO	۳۲,۸۷	۳۰,۱۳	۳۰,۰۹	۳۴,۶۳
Na ₂ O	۰,۶۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
K ₂ O	۰,۶۴	۰,۴۰	۰,۰۰	۰,۷۱
H ₂ O	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Totals	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹,۹۹
Formula	Cations	Cations	Cations	Cations
Si	۳,۱۹۱	۳,۰۳۱	۳,۰۷۶	۳,۲۲۰
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Al	۱,۳۹۶	۱,۷۹۷	۱,۶۲۸	۱,۳۱۵
Fe ³⁺	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲۸	۰,۰۰
Mn	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲۱	۰,۰۰
Mg	۰,۰۸۲	۰,۰۸۳	۰,۱۳۶	۰,۰۴۰
Ca	۲۰,۳۷۰	۲,۱۴۳	۲,۲۰۸	۲,۵۱۶
Na	۰,۰۸۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
K	۰,۰۵۵	۰,۰۳۴	۰,۰۰	۰,۰۶۱
OH	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Totals	۷,۱۸۰	۷,۰۸۷	۷,۰۹۷	۷,۱۵۶

جدول ۴ نتایج آنالیز میکروپروب از کانی‌های گارنت.

Major element	Wt%	Wt%	Wt%
SiO ₂	۲۸,۱۷۰	۲۸,۴۸۰	۳۴,۰۹۰
TiO ₂	۰,۲۸۰	۰,۱۰۰	۲۲,۸۷۰
Al ₂ O ₃	۲۲,۳۸۰	۲۲,۷۷۰	۲۲,۸۷۰
FeO*	۰,۰۷۰	۰,۱۰۰	۰,۱۰۰
MnO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲۰
MgO	۰,۱۴۰	۰,۱۲۰	۰,۰۵۰
CaO	۳۸,۰۶۰	۳۷,۶۲۰	۳۷,۰۰
Total	۸۹,۱۰۰	۸۹,۱۹۰	۹۴,۱۷۰
Formula	Cations	Cations	Cations
Si	۴,۹۲۲	۴,۹۵۶	۵,۵۱۰
Ti	۰,۰۲۷	۰,۰۱۳	۰,۰۰۵
Al	۴,۶۰۸	۴,۶۶۹	۴,۳۵۳
Fe ²⁺	۰,۰۱۰	۰,۰۱۵	۰,۰۱۴
Mn	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰۳
Mg	۰,۰۲۶	۰,۰۳۱	۰,۰۱۲
Ca	۷,۱۲۴	۷,۰۱۳	۶,۴۲۱
Total	۱۶,۷۳۷	۱۶,۶۹۷	۱۶,۳۱۳

بررسی‌های سنگ‌نگاری دایک

الف: دایک‌های گابروئی رودنژیته شده

از نظر بافت، سنگ خاستگاه دایک‌های گابروئی رودنژیته شده در منطقه‌ی نائین به سه نوع گابروی پگماتیتوئیدی، میکروگابروها و دلریت‌ها تقسیم می‌شوند (شکل‌های ۴ الف و ۴ ب و ۴ پ).

به‌طور کلی بافت و ضخامت، از پارامترهای تأثیر گذار بر رودنژیته شدن سنگ‌ها به‌شمار می‌آیند. این دو عامل در رودنژیته شدن دایک‌های گابروئی افیولیت نائین نیز مؤثر بوده‌اند، به‌طوری که دایک‌های گابروئی پگماتیتوئیدی و میکرو گابروهای کم ضخامت بیشتر تحت تأثیر رودنژیته شدن قرار گرفته‌اند. در صورتی که دلریت‌ها به دلیل دارا بودن بافت متراکم، کمتر دستخوش این فرایند شده‌اند [۳]

برای بررسی‌های سنگ‌نگاری این دایک‌ها (گابروهای پگماتیتوئیدی و میکرو گابروها)، ۳ دسته مقطع مورد ارزیابی قرار گرفته شد.

مقاطع گروه ۱، ۲ و ۳ که به ترتیب به دایک‌های نسبتاً

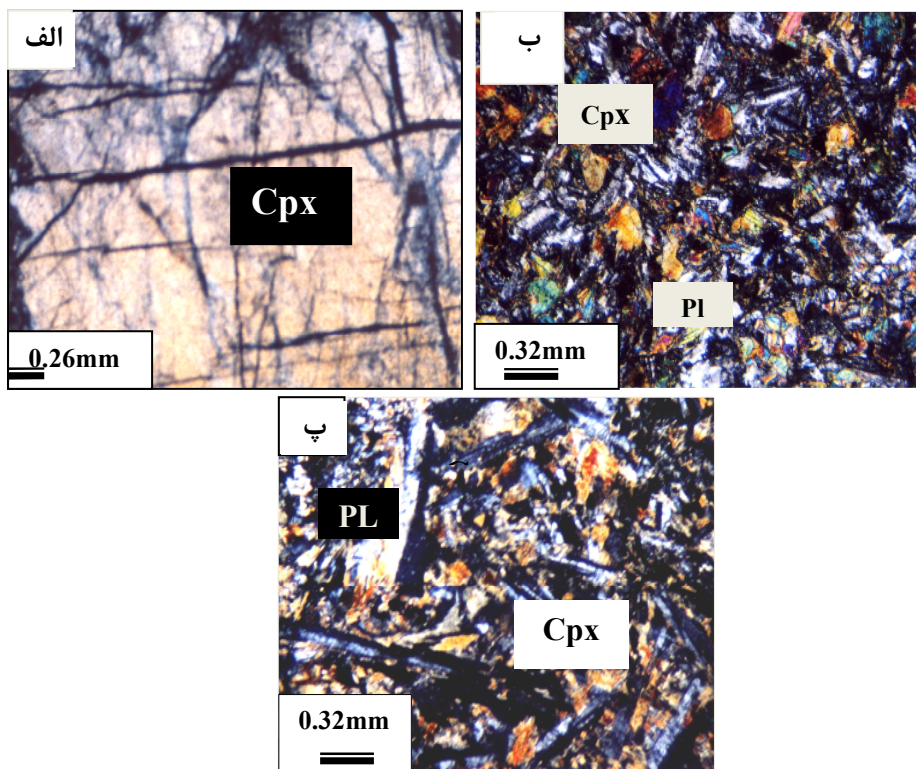
سالم، دایک‌هایی که کم رودنژیته شده‌اند و دایک‌های به‌شدت رودنژیته شده، وابسته‌اند. در تصاویر میکروسکوپی به منظور نشان دادن نام کانی‌ها از [۵] استفاده شد.

دایک‌های گابروئی تقریباً سالم

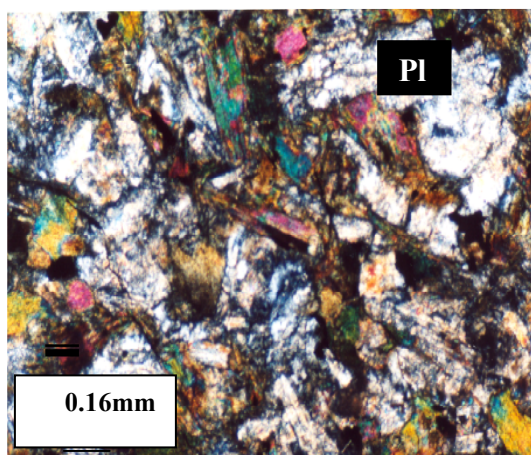
بافت دانه‌دار این سنگ‌ها کاملاً قابل دیدن است. پلاژیوکلازها به رنگ سفید بوده و گاهی ظاهر خاکی دارند که نتیجه‌ی تبدیل این کانی‌ها به است می‌باشد. کلینوپیروکسن‌ها اغلب به آمفیبول یا کلریت تبدیل شده‌اند.

دایک‌های گابروئی کم رودنژیته شده

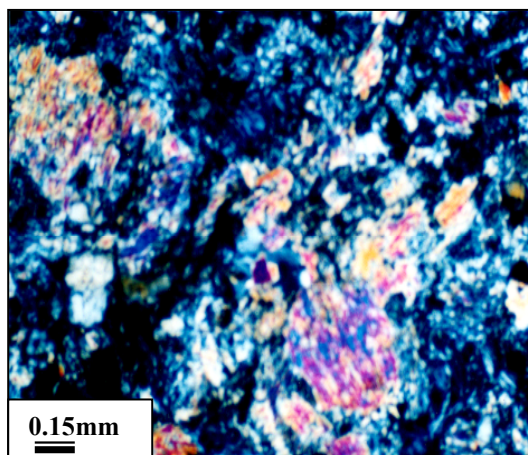
پرهنیت حاصل از تجزیه در این سنگ‌ها به فراوانی دیده می‌شود که در بعضی از بخش‌ها، این کانی‌ها به هیدروگراسولار تبدیل شده‌اند. در حالی که کلینوپیروکسن‌ها تقریباً سالم‌اند و حدود ۵۰ درصد سنگ را تشکیل می‌دهند. حاشیه‌های کانی‌های کلینوپیروکسن در حال تبدیل به ترمولیت‌اند. بافت این سنگ‌ها ضمن محفوظ ماندن بافت اولیه، گرانوبلاستیک است (شکل ۵ الف).



شکل ۴ الف: گابرو پگماتیتوئیدی، XPL، ب: میکروگابرو، XPL، پ: دلریت، XPL. (کلینوپیروکسن = Cpx، پلاژیوکلاز = Pl).



شکل ۵ الف نمائی از یک گابرو کم رودنژیته شده، XPL



شکل ۵ ب نمائی از یک گابروی شدیداً رودنژیته شده، XPL

دایک‌های گابرویی شدیداً رودنژیته شده

هیدروگراسولار حاصل از تجزیه پلاژیوکلازها، در این سنگ‌ها به مقدار فراوان دیده می‌شود به طوری که حتی سطح کانی‌های کلینوپیروکسن را نیز می‌پوشانند. پرهنیت حاصل از تبدیل پلاژیوکلازها به مقدار کم دیده می‌شوند که نشان دهنده‌ی تبدیل تقریباً کامل این کانی‌ها به هیدروگراسولار است. کلینوپیروکسن‌ها نیز تقریباً تماماً به ترمولیت یا دیوپسید ثانویه تبدیل شده‌اند. هیدروگراسولارهای حاصل از تبدیل پلاژیوکلازها، فضای خالی بین منشورهای کلینوپیروکسن‌های اولیه تبدیل شده به ترمولیت را، پر کرده‌اند.

بافت‌های مشاهده شده در این سنگ‌ها گرانوبلاستیک و کاتاکلاستیک‌اند که وجود این بافت‌ها به ترتیب نشانه‌ی رودنژیته‌سازی استاتیک (به دلیل حضور کانی‌های جانیشینی) و دینامیک (به دلیل حضور کانی‌های رگچه‌ای) است (شکل ۵ ب). خلاصه اینکه کانی‌های زیر، به ترتیب با افزایش درجه‌ی رودنژیته شدن در دایک‌های گابروئی رودنژیته شده منطقه مورد بررسی، به ترتیب زیر قابل مشاهده‌اند.

۱- اپیدوت (شکل ۶ الف)، پرهنیت (شکل ۶ ب) و هیدروگراسولار جانشین به خرج پلاژیوکلاز که مرحله‌ی آغازین رودنژیته شدن استاتیک را نشان می‌دهد.

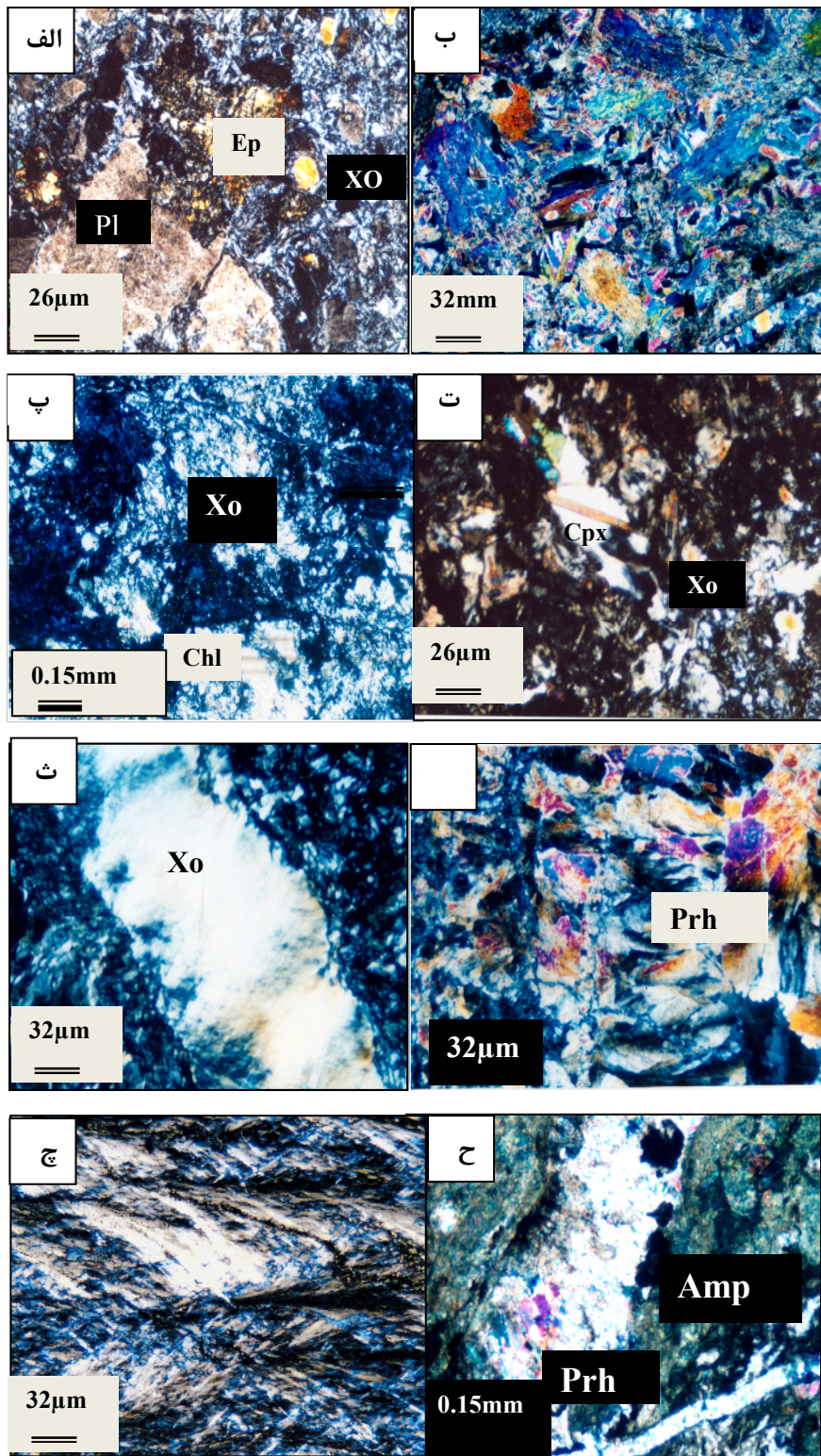
کانی پرهنیت (نام این کانی از نام یابنده آن، کلنل پرن^۱ گرفته شده است) جزء سیلیکات‌های ورقه‌ای محسوب می‌شود. در زیر میکروسکوپ خاطر تداخل رنگ سری ۱ و ۲، خاموشی موجی و جهت کلیواژ تشخیص داده می‌شود. این کانی در نور طبیعی،

بی‌رنگ دیده می‌شود و معمولاً در مجموعه‌هایی شبیه دسته گندم شکل گرفته‌اند که به آن ساختار پایونی گفته می‌شود. - کانی هیدروگراسولار در نور XPL کاملاً همسانگرد بوده و ویژگی‌های گارنت را دارد و در نور PPL نیز قهوه‌ای تیره بوده و از برآمدگی‌های زیادی تشکیل شده است. ویژگی متمایزی که این کانی نسبت به گارنت دارد این است که، به صورت بی‌شکل در متن سنگ پراکنده است و در نور PPL رنگ آن ثابت نبوده و از قهوه‌ای روشن تا تیره در نوسان است [۶].

۲- زنوتلیت جانیشینی به خرج پلاژیوکلاز و ترمولیت، کلریت منیزیم‌دار (شکل ۶ پ) و کلینوپیروکسن ثانویه (شکل ۶ ت) به خرج کلینوپیروکسن اولیه که مرحله‌ی پیشرفته رودنژیته شدن ایستا را نشان می‌دهد.

- کانی زنوتلیت جانیشینی معمولاً همراه با آلبیت، پکتولیت و هیدروگراسولار و نیز همراه با پرهنیت و گراسولار دیده می‌شود [۶] و در زیر میکروسکوپ به صورت نیمه شفاف به رنگ سفید گچی تا خاکستری مایل به آبی و صورتی کم رنگ با رنگ‌های پریده دیده می‌شود

- در مقاطع مورد بررسی، کلینوپیروکسن‌های ثانویه به صورت تیغه‌های نازک و در زنوتلیت‌های رگه‌ای قابل مشاهده‌اند. تفکیک کلینوپیروکسن‌های اولیه و ثانویه در بررسی‌های سنگ-شناسی این گونه است که، کلینوپیروکسن‌های ثانویه ریزتر و سالم‌ترند، در حالی که کلینوپیروکسن‌های اولیه، درشت و مات بوده و به صورت جدا از هم و تیغه‌های انحلال در جهت (۰۰۱) هستند [۷].



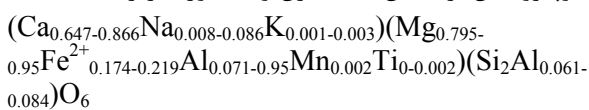
شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی رودنژیت‌های افیولیت ملانژ نائین. الف: تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت در یک گابروی رودنژیتی شده ب: تبدیل پلاژیوکلاز به پرهنیت در یک گابروی رودنژیتی شده پ: تبدیل پیروکسن به کلریت منیزیم‌دار در یک گابروی رودنژیتی شده ت: تبدیل پیروکسن-های اولیه به پیروکسن‌های ثانویه در یک گابروی رودنژیتی شده ث: زئولیت رگه‌ای در یک گابروی رودنژیتی شده ج: پرهنیت رگه‌ای در یک گابروی رودنژیتی شده چ: پکتولیت رگه‌ای در یک گابروی رودنژیتی شده ح: تبدیل پلاژیوکلاز به پرهنیت در یک آمفیبولیت رودنژیتی شده. (Ep = اپیدوت ، Prh = پرهنیت ، Xo = زئولیت ، Pl = پلاژیوکلاز ، Cpx = کلینوپیکسن)

فرایند رودنژیته شدن ایستا) و نماتوبلاستیک (به دلیل حضور آمفیبول فراوانند).

کانی شیمی

ترکیب کلینوپیروکسن ثانویه

به منظور روشن شدن فرمول ساختاری و ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های ثانویه موجود در رودنژیته‌های منطقه‌ی مورد بررسی، ۴ نمونه از این کانی، مورد بررسی ریز گمانه‌ای قرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز در جدول‌های (۱ و ۲) آورده شده‌اند. با توجه به داده‌های آنالیز، فرمول ساختاری کانی‌های کلینوپیروکسن بر اساس ۶ اکسیژن و به صورت زیر است.

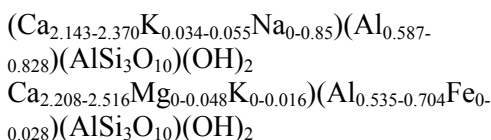


استفاده از نمودار Wo – En – Fs، نشان دهنده‌ی ترکیب دیوپسید و اوژیت برای کلینوپیروکسن‌های ثانویه موجود در رودنژیته‌های افیولیت نائین است (شکل ۷) [۳].

ترکیب پرهنیت

فرمول ایده آل یک پرهنیت $(OH)_2 Ca_2Al[AlSi_3O_{10}]$ است. در این فرمول، جانشینی Fe^{3+} به جای Al دیده می‌شود [۱۰]. کانی‌های پرهنیت در دمای ۶۰۰ تا ۷۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، آب ساختاری خود را از دست می‌دهند بنابراین جزء گروه زئولیت‌ها رده‌بندی نمی‌شوند ولی به دلیل آن که ظاهری شبیه به زئولیت دارند، به آن‌ها اصطلاح زئولیت‌های دروغین^۱ اطلاق می‌شود. البته به پکتولیت نیز که یک شبه پیروکسن با است همین نام مورد شناسایی قرار می‌گیرد.

به منظور پی‌بردن به ترکیب شیمیایی پرهنیت‌های موجود در منطقه، تعداد ۴ نمونه از این کانی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۳). با توجه به داده‌های آنالیز، فرمول ساختاری کانی این بر اساس ۱۱ اکسیژن و به صورت زیر به دست آمد.



با توجه به فرمول‌های ساختاری به دست آمده، پرهنیت‌های رگه‌ای و جانشینی از لحاظ ترکیب تفاوت زیادی نشان نمی‌دهند.

۳- زئولیت (شکل ۶ ث)، پرهنیت (شکل ۶ ج)، و پکتولیت (شکل ۶ چ) رگچه‌ای که خاص رودنژیته‌های دینامیک می‌باشند [۳].

کانی پکتولیت (نام این کانی از واژه‌ای یونانی به معنی فشرده در اشاره به شکل بلوری کانی، گرفته شده است)، در نور طبیعی، بی‌رنگ و در نور قطبیده، دوشکستی نسبتاً شدید (رنگ‌های سری سوم) دارد. ویژگی پکتولیت دو جهت رخ کامل است که این رخ‌ها قطعه‌های سوزنی شکل بسیار تیزی را در این کانی به وجود می‌آورند [۸]. ظاهراً این کانی با یک کانی همسانگرد با برجستگی بیشتر که در حقیقت شکل دروغین پکتولیت است در تعادل دیده می‌شود. وقتی پلاژیوکلاز به کانی‌های کلسیم‌دار تبدیل می‌شود، حضور کانی‌های سدیم‌دار منطقی به نظر می‌رسد. مشاهده‌ی پلاژیوکلاز با ماکل آلبیتی، دلیلی بر آزاد شدن آلبیت از ساختار بلورین پلاژیوکلاز طی فرایند رودنژیته شدن است و می‌توان نتیجه گرفت که، سدیم آزاد شده از پلاژیوکلاز می‌تواند در ساختار پکتولیت وارد شود و رگچه‌های پکتولیتی را تشکیل دهد [۹]. پکتولیت در نمونه‌های ماکروسکوپی، به صورت انباشت‌های شعاعی ظریف رشته‌ای یا موازی و فشرده با جلای شیشه‌ای تا ابریشمی دیده می‌شود.

بنا بر بررسی‌های انجام شده، پاراژن‌های زیر در دایک‌های گابروئی شدیداً رودنژیته شده افیولیت ملانژ شمال نائین به ترتیب زیر دیده می‌شود:

- پرهنیت - کلینوپیروکسن - اکتینولیت

- کلینوپیروکسن - هیدروگرسولار - کلریت

- هیدروگرسولار - دیوپسید

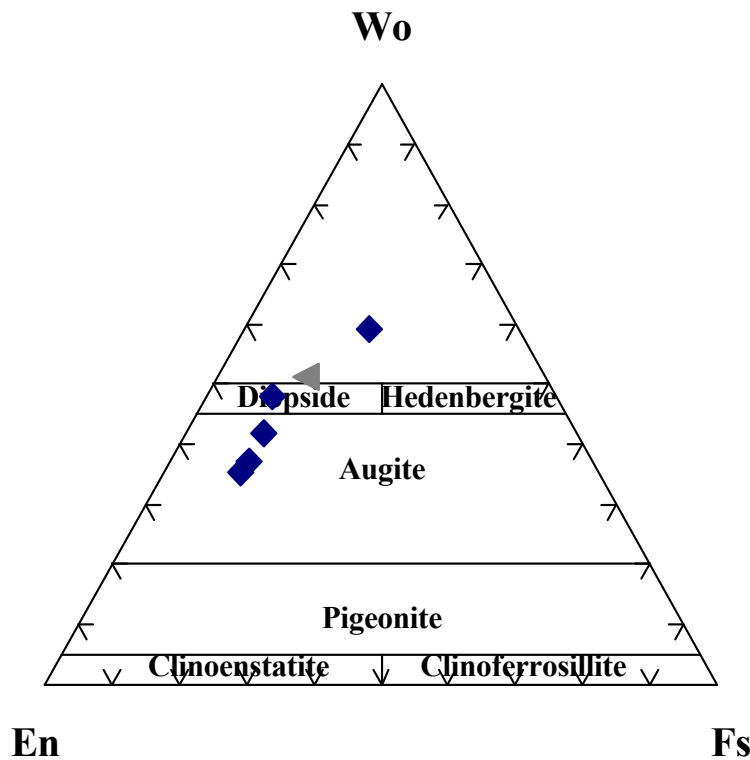
سنگ‌نگاری دایک‌های آمفیبولیتی شده رودنژیته شده

در منطقه‌ی مورد بررسی، علاوه بر دایک‌های گابروئی رودنژیته شده، دایک‌های آمفیبولیتی، و شده رودنژیته شده نیز دیده می‌شوند. دایک‌های آمفیبولیتی شده به علت دارا بودن بافت متراکم کمتر از دایک‌های گابروئی تحت تأثیر رودنژیته شدن قرار گرفته‌اند [۳]. در این سنگ‌ها، کانی‌های آمفیبول که تقریباً ۵۰ درصد سنگ را تشکیل داده‌اند، تا حدودی سالم باقی مانده‌اند و به مقدار ناچیزی به کلریت تبدیل شده‌اند. در عوض در صد زیادتری از کانی‌های پلاژیوکلاز به پرهنیت تبدیل شده‌اند (شکل ۶ ج). بافت اصلی مشاهده شده در این سنگ‌ها، بافت گرانوبلاستیک (به علت حضور کانی‌های جانشینی حاصل از

ترکیب گارنت

گارنت‌ها بر اساس ترکیب شیمیائی به دو گروه گارنت Al دار (پیرالسیپیت) و گارنت Ca دار (اوگراندیت) تقسیم می‌شوند. هیدروگراسولار نیز جزء گارنت‌ها رده‌بندی می‌شود. فرمول ساختاری هیدروگراسولار به صورت $Ca_3Al_2Si_2O_8(SiO_4)_{1-m}$ می‌باشد. در این فرمول، m بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند. $Ca_3Al_2(SiO_4)$ (گراسولار) و $Ca_3Al_2(OH)_{12}$ (هیپشیت) عضوهای پایانی سری محلول جامد هیدروگراسولار هستند [۱۰]. به منظور پی‌بردن به ترکیب شیمیائی گارنت‌های موجود در سنگ‌های منطقه، تعداد ۳ نمونه از این کانی مورد ریز

پردازش قرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز این کانی‌ها در جدول‌های (۴ و ۵) آورده شده‌اند. با توجه به داده‌های ریز پردازش، فرمول ساختاری این کانی‌ها بر اساس ۲۴ اکسیژن و به صورت زیر محاسبه شده است.
 $Ca_{6.421-7.12} Mg_{0.12-0.036} Ti_{0.005-0.037} Fe_{0.010-0.015} Mn_{0-0.003}(Al_4)(Si_{4.922-5.510} Al_{0.35-0.669})O_{24}$
 لازم به یادآوری است که، به دلیل عدم محاسبه مقدار آب در بررسی EDS و ریزگمانه، تشخیص گراسولار و هیدروگراسولار از یکدیگر در نمونه‌های مورد بررسی مقدور نبود، به همین دلیل ترکیب گارنت‌های منطقه با توجه به دارا بودن کلسیم زیاد می‌تواند هر یک از این دو کانی باشد [۳].



شکل ۷ دیاگرام Wo-En- Fs [۱۰].

جدول ۵ محاسبه درصد اعضای انتهائی محلول‌های جامد در کانی‌های گارنت.

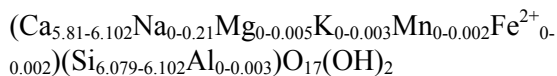
Py	۰.۵۰۹	۰.۴۴۱	۰.۱۸۷
Alm	۰.۱۴۳	۰.۲۰۶	۰.۲۱۰
Gro	۹۹.۳۴۹	۹۹.۳۵۳	۹۹.۵۶۲
Sp	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۴۲

ترکیب زئولیت

کانی زئولیت با فرمول $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$ جزء کانی‌های هیدروسلیکات کلسیم به شمار می‌آید. از کانی‌های این خانواده می‌توان به زئولیت، توبرموریت، زئیت و ژیرولیت اشاره کرد. مقایسه‌ی شرایط تشکیل زئولیت و توبرموریت نشان می‌دهد که، زئولیت در دمای بالاتر و میزان آلومینیوم پائین‌تری نسبت به توبرموریت شکل می‌گیرد [۱۱] از نظر ساختاری، زئولیت شباهت زیادی با توبرموریت نشان می‌دهد. ساختار زئولیت شامل لایه‌های سیلیکات متشکل از زنجیره‌های دوگانه سیلیکات چاروجهی به طور موازی با محور b است [۱۲].

به‌منظور پی‌بردن به ترکیب شیمیایی زئولیت‌های موجود در منطقه، تعداد ۳ نمونه از این کانی، مورد بررسی ریز قرار گرفت (جدول ۶). با توجه به نتایج بررسی ریز گمانه‌ای، فرمول

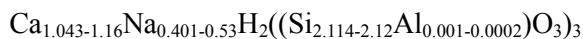
ساختاری زئولیت بر اساس ۱۸ اکسیژن محاسبه شد.



ترکیب پکتولیت

کانی پکتولیت با فرمول $\text{Ca}_2\text{NaH}(\text{SiO}_3)_3$ در گروه شبه پیروکسن‌ها قرار می‌گیرد. پکتولیت یک کانی با پیدایشی شبیه به ژئولیت‌هاست. وجه تمایز پکتولیت از ژئولیت‌ها، که ظاهری کاملاً شبیه به پکتولیت دارند، در نداشتن آلومینیم است.

به‌منظور پی بردن به ترکیب شیمیایی پکتولیت موجود در منطقه، تعداد ۲ نمونه از این کانی، مورد بررسی ریز گمانه‌ای قرار گرفتند (جدول ۷). با توجه به نتایج بررسی ریز گمانه‌ای، فرمول ساختاری پکتولیت بر اساس ۶ اکسیژن محاسبه شد.



جدول ۶ نتایج آنالیز میکروپروب از کانی زئولیت.

Major element	W%	W%	W%
SiO ₂	۸۰٫۸۸	۵۱٫۵۱	۹۰٫۵۰
Al ₂ O ₃	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۰	۰٫۱۰	۰٫۰۰
FeO	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱
MnO	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰
MgO	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۲
CaO	۴۵٫۵۸	۴۴٫۷۲	۴۵٫۳۲
Na ₂ O	۰٫۰۰	۰٫۹۳	۰٫۰۱
K ₂ O	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰
Total	۹۶٫۴۹	۹۷٫۳۵	۹۶٫۲۶
Formula	Cations	Cations	Cations
Si	۶٫۰۸۰	۶٫۱۰۲	۶٫۰۹۱
Al	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰
Fe ²⁺	۰٫۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱
Mn	۰٫۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰
Mg	۰٫۰۰	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۴
Ca	۵٫۸۳۶	۵٫۶۷۷	۵٫۸۱۱
Na	۰٫۰۰	۰٫۲۱۴	۰٫۰۰۲
K	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰
Total	۱۱٫۹۲۱	۱۲٫۰۰۶	۱۱٫۹۱۰

جدول ۷ نتایج آنالیز میکروپروب از کانی پکتولیت.

SiO ₂	۵۶٫۱۳	۵۵٫۷۹
TiO ₂	۰٫۰۴	۰٫۰۱
Al ₂ O ₃	۰٫۰۶	۰٫۱۱
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۰	۰٫۰۳
FeO*	۲٫۱۳	۳٫۱۴
MnO	۰٫۰۴	۰٫۰۶
MgO	۳٫۷۷	۴٫۷۲
CaO	۲۸٫۶۷	۲۵٫۷۱
Na ₂ O	۷٫۲۴	۵٫۴۷
K ₂ O	۰٫۰۵	۰٫۰۵
P ₂ O ₅	۰٫۴۶	۰٫۴۲
Total	۹۸٫۶	۹۷٫۵۲
Formula	Cations	Cations
Si	۰٫۱۲	۲٫۱۱۴
Ti	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۲
Al	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰۴
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰۰۹
Fe	۰٫۰۶۷	۰٫۰۹۹
Mn	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۹
Mg	۰٫۲۱۴	۰٫۳۸
Ca	۱٫۱۶	۰٫۴۳
Na	۰٫۵۳	۰٫۴۰۱
K	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲
P	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۳
Total	۴٫۱۱۲	۴٫۰۸

بحث و برداشت

۱- بر اساس شواهد صحرایی و نیز بررسی‌هایی که روی مقاطع نازک این قبیل دایک‌ها به عمل آمد مشخص شد که، رودنژیتی شدن پس از آمفیبولیتی شدن در این گونه سنگ‌ها رخ می‌دهد. توضیح احتمالی در مورد تشکیل این دایک‌ها این است که، دایک‌های گابروئی به داخل سنگ‌های اولترامافیک نفوذ کرده‌اند و طی یک رشته فرایند های دگرگونی به آمفیبولیت تبدیل شده‌اند، پس از مدتی که شرایط (دما گرماب) برای رودنژیتی شدن فراهم شدند، دایک‌های آمفیبولیتی شده به رودنژیت تبدیل شده‌اند [۳].

۲- حضور مقدار کم کانی‌های کلسیم دار در دایک‌های آمفیبولیتی شده نسبت به دایک‌های گابروئی رودنژیتی شده (مخصوصاً گابروهای پگماتیتوئیدی و میکروگابروها) نشان می‌دهد که شاره‌های غنی از کلسیم نتوانسته‌اند به راحتی به دایک‌های آمفیبولیتی نفوذ کنند. بافت متراکم آمفیبولیت‌ها نسبت به گابروها را می‌توان دلیل مهمی برای این عدم نفوذ شاره‌ها بیان کرد.

۳- در دایک‌های آمفیبولیتی و رودنژیتی شده، کانی‌های پلاژیوکلاز نسبت به آمفیبول‌ها تجزیه شدگی بیشتری نشان می‌دهند و اغلب این پلاژیوکلازها به پرهنیت تبدیل شده‌اند،

[2] Schandle E.S., D.S., hanley O., Wicks F. J., "Fluid inclusion in rodingite", a geothermometer for serpentinization: *Economic Geology* 85 (1990) 1273 – 1276.

[۳] فلاحتی س.، "بررسی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی رودنژیت‌های مرتبط با افیولیت نائین"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۶)، ۱۲۹ صفحه.

[۴] علایی مهابادی س.، فؤدازی م.، داوری م.، بهره مند م.، محمدیان ه.، حدادان م.، "تقشسه زمین‌شناسی ۱:۰۰۰: انابین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۸۳).

[5] Kretz R., Symbols for rock – forming minerals: *American Mineralogists* 68 (1983) 277 – 279.

[۶] مصلحی ز.، "کانی‌شناسی و پترولوژی رودنژیت‌های بخشی از افیولیت سبزوار (مناطق باعجر و سلیمانیه)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۸۳)، ۹۳ صفحه.

[7] Dubinska E., Clinozoisitic rodingites from Naslawice near Sobarca: *Archiwum Mineralogiczne* 49 (1995) 41 – 54.

[۸] اتردی س.، "کانی‌شناسی سیلیکات‌ها"، انتشارات دانشگاه پیام نور، (۱۳۷۷)، ۲۹۱ صفحه.

[9] Sabzehei M., Rodingitization of Iranian basic rocks, a new interpretation: *Journal of Sciences* 13 (2002) 155 – 160.

[10] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An Introduction to the Rock – Forming Minerals", Longman Scientific & Technical, (1978). 528p.

[11] Esteban J.J., Cuevas J., Tubia J. M., "Xonolite in rodingite assemblages from the Ronda peridotites, betic cordilleras", *Southern Spain: The Canadian Mineralogist* 41 (2003) 161 – 170.

[12] Mamedov K.S., Belov N.V., "Crystal structure of xonolite", *Dokli. Akad. Nauk SSSR* 104 (1955) 615 – 618 (in Russ).

بنابراین وجود مقدار فراوان کانی‌های پره‌نیت به خرج پلاژیوکلاز در آمفیبولیت‌ها نشان می‌دهد که این سنگ‌ها نسبت به گابروها کمتر تحت تأثیر رودنژیتی شدن قرار گرفته‌اند و تنها مرحله‌ی ابتدائی رودنژیتی شدن را تحمل کرده‌اند.

۴- با توجه به بررسی‌های صحرائی، رنگ سبز براق دایک‌های آمفیبولیتی رودنژیتی شده این رنگ سبز به دلیل حضور کانی‌های اولیه آمفیبول و کانی‌های ثانویه کلریت است، دلیل دیگری بر تأثیر کمتر شاره‌های رودنژیت ساز بر روی این دایک‌ها نسبت به دایک‌های گابروئی است.

۵- تفکیک کلینوپیروکسن‌های اولیه و ثانویه در بررسی‌های سنگ‌شناسی این گونه است که، کلینوپیروکسن‌های ثانویه ریزتر و سالم‌ترند، در حالی که کلینوپیروکسن‌های اولیه، درشت و مات بوده و به‌صورت جدا شده و تیغه‌های انحلال در جهت (۰۰۱) هستند. همچنین کلینوپیروکسن‌های ثانویه به‌صورت تیغه‌های نازک و در داخل زون‌تلیت‌های رگه‌ای قابل مشاهده‌اند.

۶- به دلیل عدم محاسبه‌ی مقدار آب در آنالیز EDS و ریز گمانه، تشخیص گراسولار و هیدروگراسولار از یکدیگر در نمونه‌های مورد بررسی مقدور نیست، به همین دلیل ترکیب گارنت‌های منطقه، با توجه به دارا بودن کلسیم زیاد، می‌تواند هر کدام از این دو کانی باشد.

۷- بررسی‌های مینرال شیمی کانی‌هایی همچون کلینوپیروکسن ثانویه (دیوپسید) و گارنت‌های (هیدروگراسولار) موجود در رودنژیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی، نشان از غنی بودن این کانی‌ها از کلسیم است.

مراجع

[1] Davoudzadeh M., "Geology and petrology of the area North of Nain, Central Iran: Geological Survey of Iran", Report 14 (1972) 79 p.