

بررسی های کانی شناسی و ژئوشیمیایی رودنژیت های افیولیت ناین

سمیه فلاحتی، موسی نقره‌ئیان، محمود خلیلی، قدرت ترابی و محمد علی مکی‌زاده
گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

چکیده

در رودنژیت‌های افیولیت شمال ناین، دو نوع رودنژیت‌زاسیون استاتیک و دینامیک مشاهده می‌شود. همچنین در رودنژیت‌های استاتیک این منطقه، دو مرحله ابتدایی و پیشرفته قابل مشاهده می‌باشد. در مرحله ابتدایی، به ترتیب کانی‌های اپیدوت، پرهنیت و هیدروگراسولار به خرج پلاژیوکلاز هم زمان با افزایش میزان کلسیم سیال رودنژیت ساز تبلور یافته‌اند و در مرحله پیشرفته، کانی زئولیت به خرج پلاژیوکلاز و کلریت منیزیم‌دار، ترمولیت، دیوپسید ثانویه به خرج پیروکسن هم‌زمان با افزایش میزان سیلیسیم سیال رودنژیت ساز تبلور یافته‌اند. در فرآیند رودنژیتی شدن دایک‌های گابروئی منطقه مورد مطالعه، میزان Ca و OH سنگ افزایش، میزان Na, Al, K کاهش چشمگیر، میزان Mg, Fe, Mn کاهش جزئی و میزان Si تقریباً ثابت باقی می‌ماند.
واژه‌های کلیدی: افیولیت ناین، رودنژیت، رودنژیتی شدن استاتیک، رودنژیتی شدن دینامیک.

Mineralogical and Geochemical Studies on Rodingites of Nain Ophiolite

S. Falahaty, M. Noghreyan, M. Khalili, G. Torabi and M. A. Mackizadeh
Geology Department, the University of Isfahan

Abstract

Two types of rodingitization (static and dynamic) are observed in the rodingites of the ophiolite in the North of Nain. Two stages have occurred in the formation of static rodingites. In the initial stage, epidote, prehnite and hydrogrossular have crystallized respectively, at the expense of plagioclase, with the increase of calcium

content rodingite forming fluid. In the advanced stage, xonotlite in the expense of plagioclase, and Mg-chlorite, tremolite and secondary diopside, at the expense of pyroxene, have been formed simultaneously with an increase of Si content of rodingite forming fluid. During rodingitization, the Ca and OH content, have increased, whereas the amounts of K, Al and Na are reduced. Mn, Fe and Mg values are slightly reduced but Si remains constant.

Keywords: Nain ophiolite, rodingite, static rodingitization, dynamic rodingitization.

مقدمه

توالی افیولیت شمال ناین در امتداد زون گسلی ناین - بافت واقع شده است (شکل ۱). این زون در غرب ایران مرکزی واقع است و شامل چندین قطعه مجزا از توالی های افیولیتی اقیانوس نئوتتیس می باشد. این افیولیت ها بقایای پوسته اقیانوسی می باشند و در زمان کرتاسه بالایی تا پالئوسن زیرین بر روی حاشیه ایران مرکزی رانده شده اند. پریدوتیت های سرپانتینی شده، گابرو، دایک های صفحه ای، پلاژیوگرانیت، بازالت و آهک پلاژیک از واحد های تشکیل دهنده این افیولیت است (داود زاده، ۱۹۷۲). دایک های رودنژیته شده اغلب به رنگ سفید تا کرم و به صورت ساختارهای سوسپسی شکل (بودیناژ) (شکل ۲A) با ضخامت نسبتاً کم (شکل ۲B) در داخل سرپانتینیت های افیولیت ناین قابل رؤیت می باشند. سنگ منشأ اغلب این سرپانتینیت ها، هارزبورژیت های تکتونیت می باشد. در دایک های رودنژیته شده با ضخامت زیاد، فرآیند رودنژیتیزاسیون در محل کنتاکت دایک با سرپانتینیت به وفور دیده می شود، در حالی که مرکز دایک تقریباً بدون تغییر باقی مانده است. همچنین مرز بین قسمت رودنژیته شده دایک و قسمت تقریباً سالم دایک یک مرز تدریجی می باشد (شکل ۲C)، در صورتی که کنتاکت دایک سرپانتینیت یک مرز شارپ می باشد (شکل ۲D). لازم به ذکر است که دایک های رودنژیته شده با ضخامت زیاد در منطقه به میزان کم یافت می شوند. برطبق آخرین

مطالعات، سنگ های رودنژیته از محصولات متاسوماتیسم سنگ های گابروئی، دلریتی، گری واک، گرانیته، داسیتی و شیلی مرتبط با مجموعه های سرپانتینیتی عظیم محسوب می شوند و در برگیرنده کانی های کلسیم دار نظیر اپیدوت (زونیزیت و کلینوزونیزیت)، پرهنیت، گارنت (بیشتر از نوع هیدروگراسولار)، کلریت Mg دار، دیوپسید ثانویه، ولاستونیت، زنونیت^۱ و ویگانیت^۲ می باشند (تیلور، ۱۹۶۶ و کلمن، ۱۹۷۷). به عقیده شاندل و همکاران (۱۹۹۰)، در جریان سرپانتینیت شدن پیروکسن و الیون موجود در سنگ های اولترامافیک، کلسیم آزاد می شود که این کلسیم قادر به جایگیری در ساختار سرپانتینیت ها نیست، لذا در سیال حاصل از سرپانتینیت شدن تمرکز می یابد و اگر توده های اولترامافیک قبلاً توسط دایک های دیابازی مورد هجوم قرار گرفته باشند، سیالات حاصل از سرپانتینیت شدن آن ها بر روی دایک های دیابازی اثر نموده و حاصل واکنش تشکیل رودنژیت می باشد.

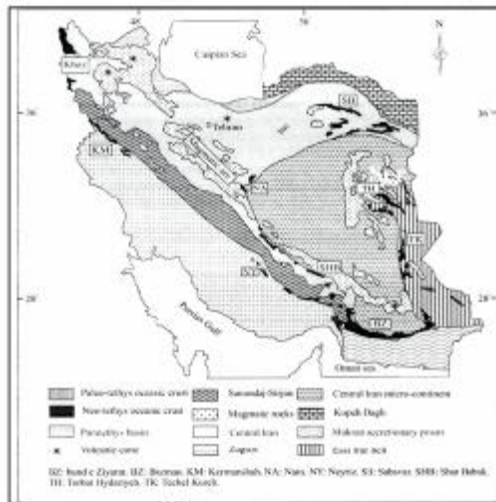
روش مطالعه:

به منظور بررسی ترکیب کانی های موجود در رودنژیت های افیولیت ناین، تعداد ۴۰ نمونه از این سنگ ها برای تهیه مقطع نازک انتخاب شدند. از این مقاطع نازک، تعداد ۱۰ مقطع به منظور تعیین فرمول ساختمانی کانی های مورد نظر موجود در آن - ها

1- Xonotlite
2 - Vuagnatite

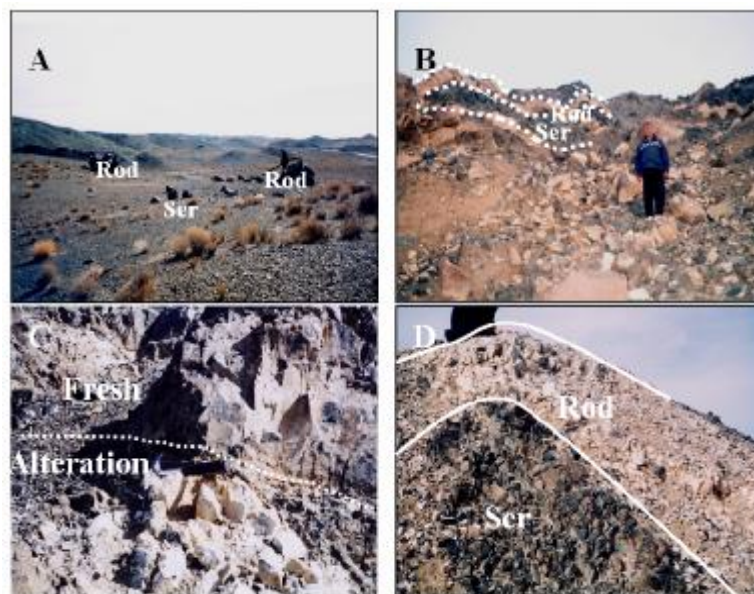
آنالیز کل سنگ به Acme Labs (Acme)
 Analytical Laboratories Ltd)) کانادا جهت
 آنالیز ICP-MAS فرستاده شد.

انتخاب و پس از تهیه مقاطع نازک صیقلی به دانشگاه
 Leibniz آلمان جهت آنالیز میکروپروب فرستاده شدند.
 همچنین تعداد ۶ نمونه از رودنژیت‌های منطقه به منظور



- | | |
|------------------------|----------------------|
| FM: افیولیت قنوج | Khov: افیولیت خوی |
| BZ: افیولیت باند زیارت | KM: افیولیت کرمانشاه |
| SB: افیولیت سبزوار | NY: افیولیت نیریز |
| TK: افیولیت تکهل کوره | NA: افیولیت ناین |
| BF: افیولیت بافت | M: افیولیت مشهد |
| RS: افیولیت رشت | ES: افیولیت اسفندک |
| SHB: افیولیت شهر باب | IR: افیولیت ایرانشهر |

شکل ۱ - موقعیت افیولیت‌های ایران (علایی مهابادی و همکاران، ۱۳۸۳)



شکل ۲- تصاویر ماکروسکوپی رودنژیت‌های شمال ناین. A ۲- نمائی از ساختار بودپناژ رودنژیت‌های شمال ناین

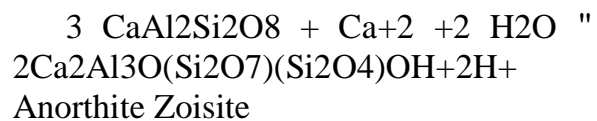
B ۲- نمائی از دایک‌های رودنژیتی شده کم ضخامت موجود در سرپانتینیت‌های افیولیت شمال ناین. C ۲- نمائی از

کنتاکت تدریجی بین قسمت رودنژیتی و سالم دایک. D ۲- کنتاکت شارپ بین سرپانتینیت - رودنژیت افیولیت شمال ناین

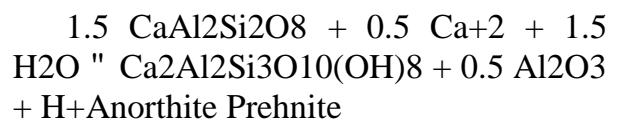
مطالعات پتروگرافی

در رودنژیت های افیولیت شمال ناین، دو نوع رودنژیتیزاسیون استاتیک (با توجه به حضور کانی های جانشین) و دینامیک (با توجه به حضور کانی های رگه ای) مشاهده می شود (سبزه ئی، ۲۰۰۲). همچنین در رودنژیت های استاتیک این منطقه، دو مرحله ابتدایی و پیشرفته قابل مشاهده می باشد. در مرحله ابتدایی به ترتیب کانی های اپیدوت (شکل ۳A)، پرهنیت و هیدروگراسولار (شکل ۳B) (جدول ۱ و ۲) (واکنش های ۱، ۲ و ۳) به خرج پلاژیوکلاز و در مرحله پیشرفته، به ترتیب کانی های زنونتلیت (جدول ۳) به خرج پلاژیوکلاز (واکنش ۴) و کلریت منیزیم دار (شکل ۳C)، ترمولیت و دیوپسید ثانویه (شکل ۳D) به خرج پیروکسن (واکنش های ۵، ۶ و ۷) تشکیل شده اند.

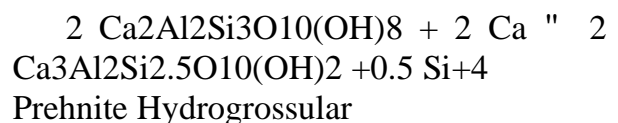
(واکنش ۱)



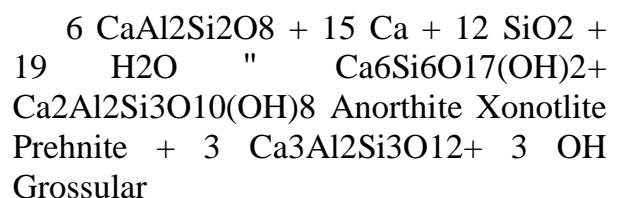
(واکنش ۲)



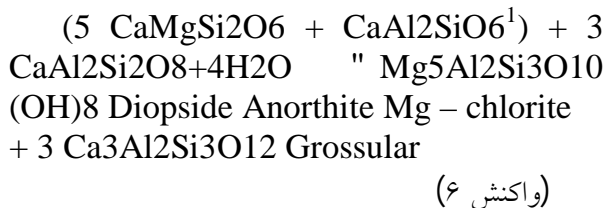
(واکنش ۳)



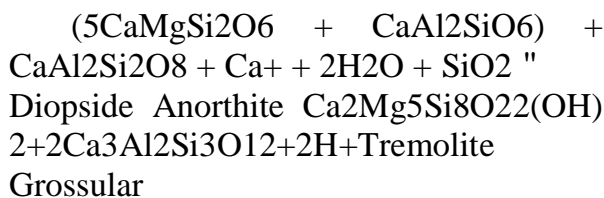
(واکنش ۴)



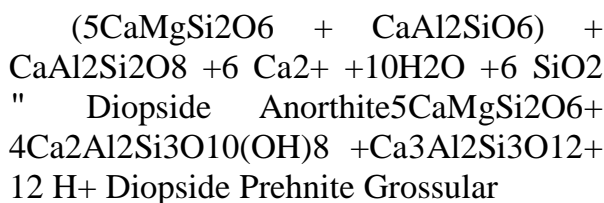
(واکنش ۵)



(واکنش ۶)

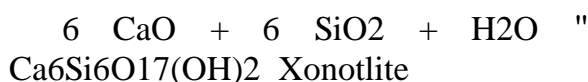


(واکنش ۷)

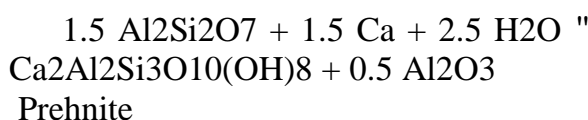


رودنژیتیزاسیون دینامیک در مقاطع مورد مطالعه نیز، با وجود کانی های رگه ای زنونتلیت به میزان فراوان (شکل ۳E)، پرهنیت به میزان کم (شکل ۳F) و پکتولیت به میزان بسیار کم (شکل ۳G) مشخص می شود (واکنش های ۸، ۹ و ۱۰).

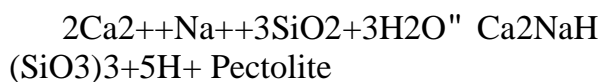
(واکنش ۸)



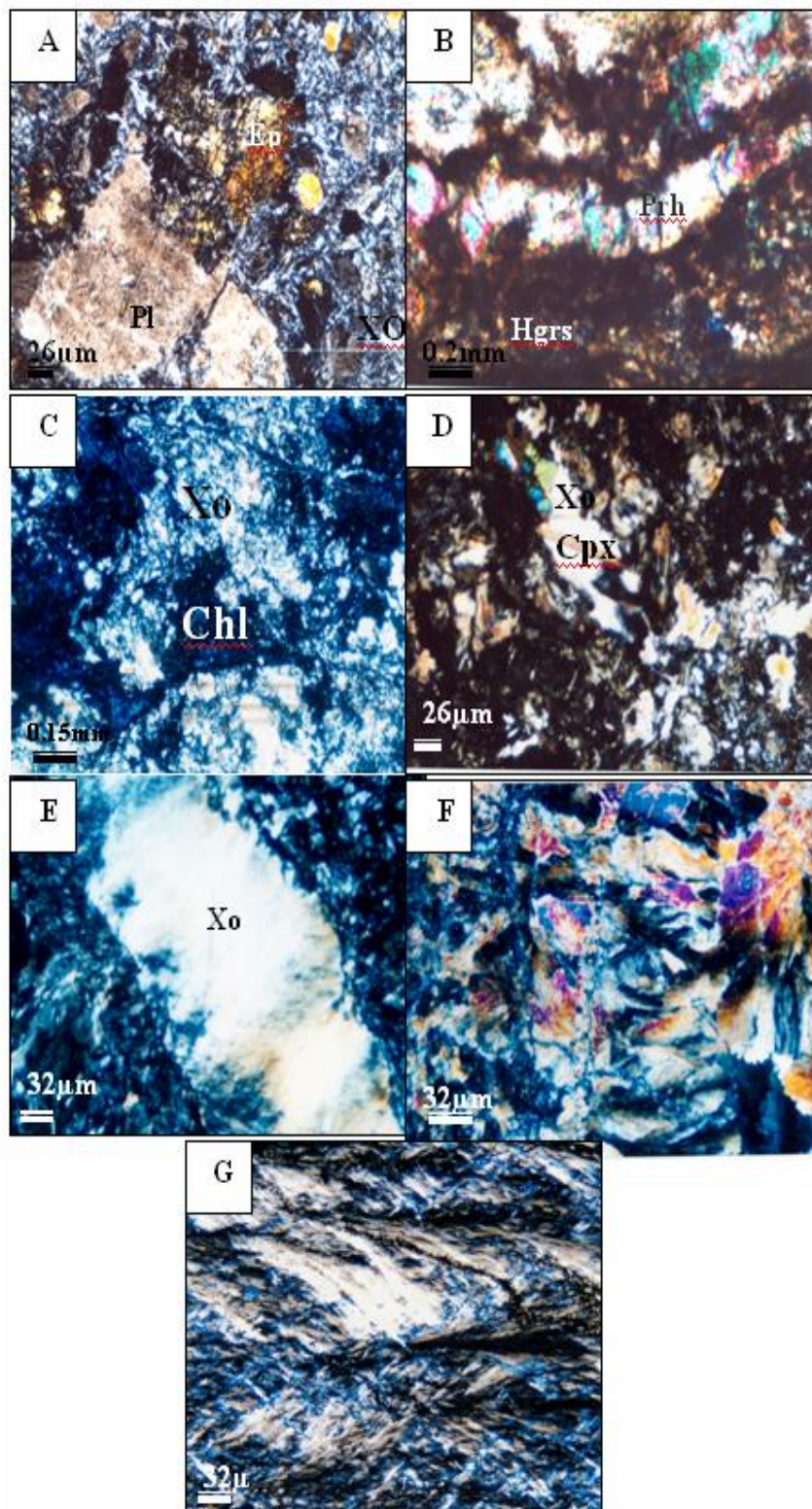
(واکنش ۹)



(واکنش ۱۰)



واکنش های ۱، ۲، ۳ و ۴ توسط کلمن (۱۹۶۷)، (۱۹۷۷)، واکنش های ۵، ۶، ۷ توسط سبزه ئی (۲۰۰۲) و واکنش های ۸، ۹، ۱۰ توسط نقره ثیان و همکاران (۱۳۸۰) ارائه شده است.



شکل ۳ - تصاویر میکروسکوپی رودنژیت‌های افیولیت نائین. A: تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت B: تبدیل پرهنیت به هیدروگراسولار C: تبدیل پیروکسن به کلریت منیزومدار D: تبدیل پیروکسن‌های اولیه به پیروکسن‌های ثانویه E: زئوتلیت رگه-ای F: پرهنیت رگه‌ای G: زئوتلیت رگه‌ای

جدول ۱- نتایج آنالیز میکروپروب از کانی های گارنت

Major element	Wt%	Wt%	Wt%
SiO ₂	28.170	28.480	34.090
TiO ₂	0.280	0.100	0.040
Al ₂ O ₃	22.380	22.770	22.870
FeO*	0.070	0.100	0.100
MnO	0.000	0.000	0.020
MgO	0.140	0.120	0.050
CaO	38.060	37.620	37.000
Total	89.100	89.190	94.170
Formula	Cations	Cations	Cations
Si	4.922	4.956	5.510
Ti	0.037	0.013	0.005
Al	4.608	4.669	4.353
Fe ²⁺	0.010	0.015	0.014
Mn	0.000	0.000	0.003
Mg	0.036	0.031	0.012
Ca	7.124	7.013	6.421
Total	16.737	16.697	16.313

جدول ۲- محاسبه اعضای انتهائی محلول های جامد در مورد کانی های گارنت

Py	0.509	0.441	0.187
Alm	0.143	0.206	0.210
Gro	99.349	99.353	99.562
Sp	0.000	0.000	0.042

جدول ۳- نتایج آنالیز میکروپروپ از کانی زنونیت

Major element	W%	W%	W%
SiO ₂	50.88	51.51	50.90
TiO ₂	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.10	0.00
FeO	0.00	0.02	0.01
MnO	0.00	0.02	0.00
MgO	0.00	0.03	0.02
CaO	45.58	44.72	45.32
Na ₂ O	0.00	0.93	0.01
K ₂ O	0.01	0.02	0.00
Total	96.49	97.35	96.26
Formula	Cations	Cations	Cations
Si	6.080	6.102	6.091
Ti	0.000	0.000	0.000
Al	0.003	0.000	0.000
Cr	0.000	0.001	0.000
Fe ²⁺	0.000	0.002	0.001
Mn	0.000	0.002	0.000
Mg	0.000	0.005	0.004
Ca	5.836	5.677	5.811
Na	0.000	0.214	0.002
K	0.003	0.003	0.000
Total	11.921	12.006	11.910

تغییرات شیمیایی این سنگ‌ها نسبت به سنگ منشأ آن

ها ضروری به نظر می‌رسد.

ژئوشیمی

با توجه به این که رودنژیت‌ها حاصل آلتراسیون

دایک‌های گابروئی در منطقه به شمار می‌آیند، لذا درک

با توجه به شکل (۴) مشخص می‌شود که، در

فرآیند رودنژیتی شدن دایک‌های گابروئی منطقه مورد

مطالعه، میزان Ca و OH سنگ افزایش، میزان Na, Al,

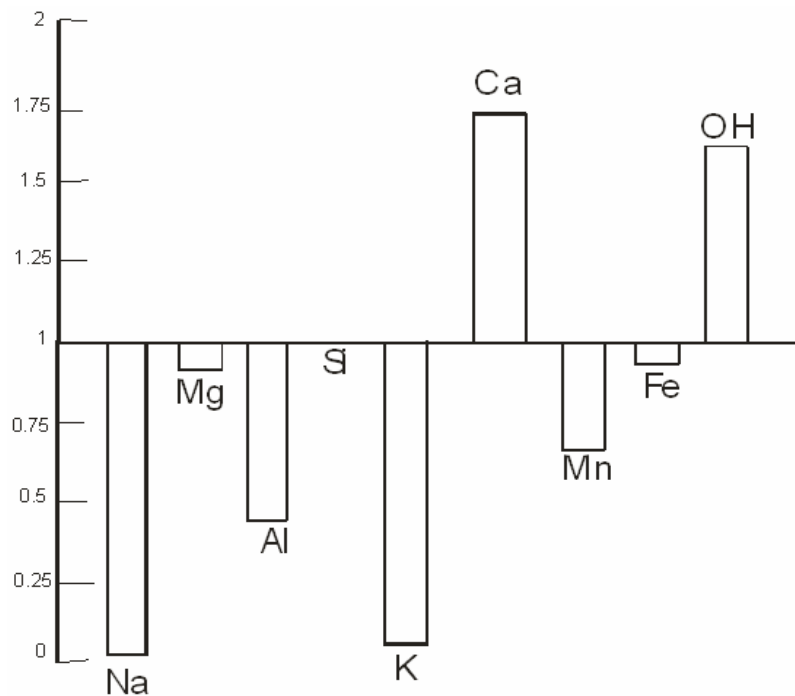
از دیاگرام ACF (شکل ۶) نیز به منظور مقایسه ترکیب شیمیایی رودنژیت های منطقه با میدان پایداری این سنگ ها (کلمن، ۱۹۷۷) استفاده شده است.

همان طور که ملاحظه می شود، ترکیب رودنژیت های منطقه با میدان رسم شده برای رودنژیت ها توسط کلمن (۱۹۷۷)، هم خوانی دارند و همگی به قطب C این دیاگرام نزدیک می باشند.

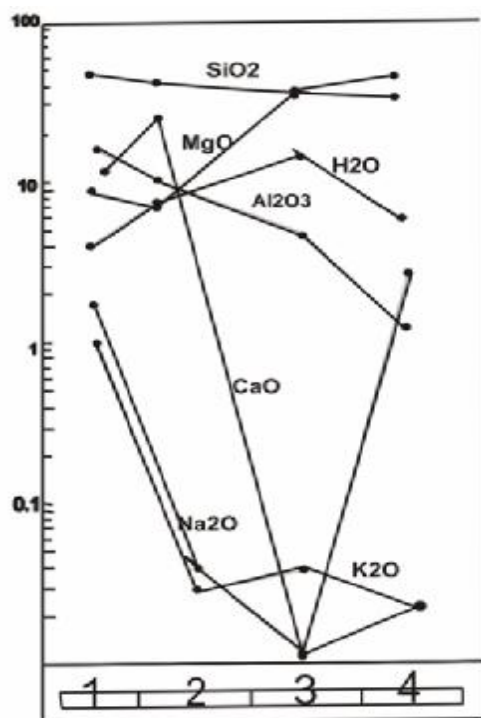
در این شکل علاوه بر همخوانی ترکیبی رودنژیت های منطقه با میدان پایداری ارایه شده توسط کلمن، تغییرات شیمیایی لازم برای رودنژیستی شدن بازالیت و گری وک نمایش داده شده است. به عقیده شاندل و همکاران (۱۹۸۹)، شیمی پروتولیت رودنژیت - ها باعث تفاوت در تغییرات شیمیایی لازم برای رودنژیستی شدن این سنگ ها می شود. همچنین کانی های خاص رودنژیت نیز در این دیاگرام نشان داده شده اند. لازم به ذکر است که، هر نوع رودنژیت با هر درجه از آلتراسیون، در داخل میدان پایداری رودنژیت ها قرار می گیرد بنابراین در این دیاگرام درجه پیشرفتگی رودنژیتیزاسیون مشخص نمی شود (کلمن، ۱۹۷۷).

K کاهش چشمگیر، میزان Mg, Fe, Mn کاهش جزئی و میزان Si تقریباً ثابت باقی می ماند. این نمودار با توجه به داده های جدول (۴) رسم شده است.

همچنین از آن جا که فرآیند رودنژیتیزاسیون مستلزم فرآیند سرپانتینیزاسیون می باشد لذا، تشخیص روند تغییرات عناصر اصلی در اولترامافیک های اطراف این سنگ ها (سنگ میزبان رودنژیت ها) ضمن فرآیند سرپانتینی شدن، کمک بسیار زیادی به تشخیص روند تغییرات عناصر اصلی گابرو ها ضمن فرآیند رودنژیستی شدن می نماید. با توجه به شکل (۵) مشخص می شود که، سنگ های اولترامافیک در طی فرآیند سرپانتینیزاسیون از لحاظ کلسیم، تهی شدگی و در مقابل دایک های گابروئی در طی فرآیند رودنژیتیزاسیون، غنی شدگی پیدا کرده اند و همچنین عنصر آلومینیوم در سرپانتینیت ها، نسبتاً افزایش و در عوض در رودنژیت ها، از کاهش نسبی برخوردار شده است. چنین روندی به خوبی نشانگر تبادلات یونی بین کانی های موجود در رودنژیت - سرپانتینیت می باشد. این نمودار با توجه به داده های جدول (۴) رسم شده است.



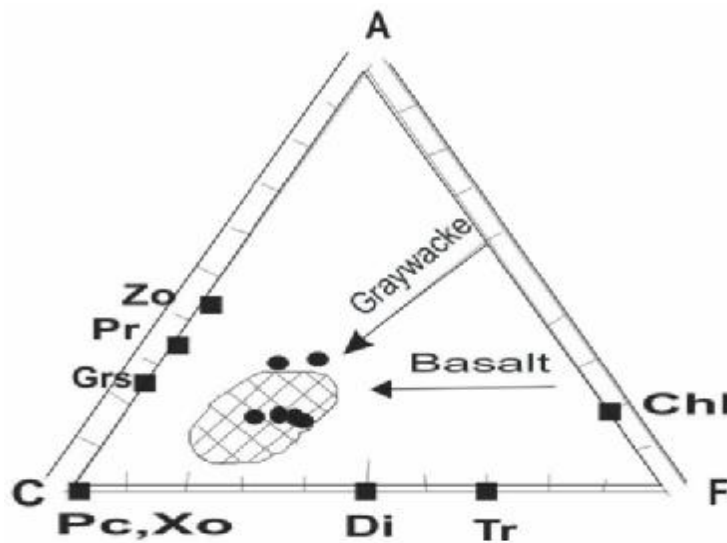
شکل ۴- دیاگرام غنی شدگی - فقیر شدگی عناصر در رودنژیت‌های افیولیت نائین داده‌ها از جدول (۴) گرفته شده است.



شکل ۵- دیاگرام مقایسه تغییرات ترکیب شیمیایی، در همیافتی سرپانتینیت - رودنژیت‌های افیولیت نائین ۱- گابرو ۲- رودنژیت ۳- سرپانتینیت ۴- هارزبورژیت. داده‌ها از جدول (۴) گرفته شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه شیمیائی رودنژیت‌ها و سنگ‌های مرتبط با آن در افیولیت نائین. **Ga-m**: میانگینی از دایک‌های گابروئی سالم (داود زاده، ۱۹۷۲) و (علائی مهابادی، ۱۳۸۳). **Ro- m**: میانگینی از رودنژیت‌ها. **No.404**: سرپانتینیت (داود زاده، ۱۹۷۲). **Ha16**: هارزبورژیت

Sample	Ga-m	Ro- m	No.404	Ha 16
SiO ₂	48.22	42.74	38.6	44.7
Al ₂ O ₃	16.36	9.7	4.1	1
Fe ₂ O ₃	8.16	5.51	6.35	8.59
CaO	11.73	26.57	0.00	2.54
NaO	1.84	0.03	0.00	0.01
K ₂ O	1.02	0.02	0.03	0.01
MgO	8.34	7.29	37	36.67
TiO ₂	0.88	0.33	0.15	0.025
MnO	0.1	0.096	0.1	0.137
P ₂ O ₅	0.01	0.04	0.02	0.039
LOI	3.95	7.69	13.4	5.36
Total	98.98	100.016	99.4	99.081



شکل ۶ - دیاگرام ACF به منظور مقایسه ترکیب شیمیایی رودنژیت‌های منطقه مورد مطالعه بامیدان رودنژیت‌های کلمن (منطقه هاشور زده)، (کلمن، ۱۹۷۷). **Chl**: کلریت **Di**: دیوپسید **Grs**: گراسولار **Pc**: پکتولیت **Pr**: پرهنیت **Tr**: ترمولیت **Zo**: زونولیت **Xo**: زونولیت

A: [Al₂O₃+Fe₂O₃]-[Na₂O+K₂O]

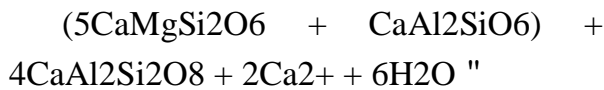
C: CaO-3.3P₂O₅

F: MnO+FeO+MgO

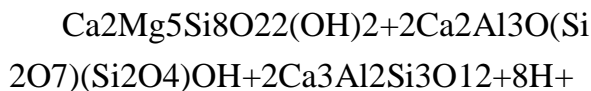
ها تحت تأثیر آلتراسیون قرار گرفته اند، لذا روند رودنژیتی شدن در رودنژیت های افیولیت نائین را می توان این گونه بیان کرد:

بحث

با توجه به این که در رودنژیت های استاتیک منطقه مورد مطالعه، ابتدا پلاژیوکلاز ها و سپس کلینوپیروکسن



Diopside Anorthite



Tremolite Zoisite Grossular

شاندل و همکاران (۱۹۸۹) تکامل کانی های موجود در رودنژیت های استاتیک را با پیشرفت رودنژیتی شدن این گونه بیان می کنند:

۱- ابتدا زوئیزیت - کلینوزوئیزیت و هیدروگراسولار جانشین پلاژیوکلاز می شوند (مراحل اولیه رودنژیتی شدن).

۲- کلریت های غنی از Mg، ترمولیت و تالک جای کلینوپیروکسن را می گیرند (مراحل پیشرفته رودنژیتی شدن).

۳- دیوپسید های ثانویه شکل می گیرند (مراحل پیشرفته رودنژیتی شدن).

تکامل کانی زایی ذکر شده در بالا، کاملاً با تکامل کانی زایی در رودنژیت های استاتیک افیولیت نایین همخوانی دارد. حضور فراوان زئولیت رگه ای در رودنژیت های دینامیک نسبت به کانی های رگه ای دیگر نیز نشان می دهد که، سیال سازنده رودنژیت های دینامیک در ابتدا از نسبت $\text{CaO/SiO}_2 \sim 1$ برخوردار بوده است (در کانی زئولیت، نسبت اکسید کلسیم به اکسید سیلیسیم یک می باشد) ولی با گذشت زمان، این نسبت افت کرده است و به ترتیب کانی های پرهینیت و پکتولیت با میزان کم شکل گرفته اند.

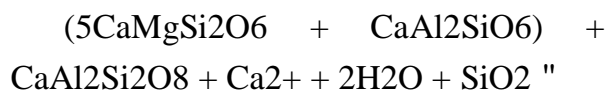
آنالیز های ژئوشیمیایی کل سنگ، مهاجرت یون کلسیم از سرپانتینیت به رودنژیت را به خوبی نشان می دهند، به این معنا که، رودنژیت های منطقه شمال نایین محصول تأثیر سیالات غنی از Ca به وجود آمده از سرپانتینیزاسیون اولترامافیک ها می - باشند. بنابراین زمان نفوذ دایک به سرپانتینیت ها فاکتور مهمی برای

در مراحل ابتدایی رودنژیتی شدن، به علت بالا بودن میران کلسیم و PH سیال:

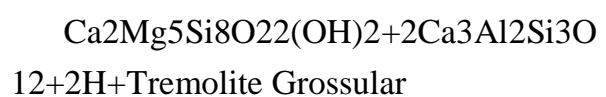
بیشتر پلاژیوکلاز ها تحت تأثیر تجزیه شدن قرار گرفته اند و به کانی هایی تبدیل شده اند که برای تشکیل به Ca^{2+} بیشتر و SiO_2 کمتر احتیاج دارند مانند اپیدوت، پرهینیت و هیدروگراسولار در حالی که با پیشرفت رودنژیتی شدن به دلیل آن که میزان $\text{SiO}_2:\text{CaO}$ سیال کاهش یافته است:

بیشتر کانی های پیروکسن تحت تأثیر تجزیه شدن قرار گرفته اند و به کانی هایی تبدیل شده اند که، برای تشکیل به نسبت $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ کمتری در مقایسه با کانی های شکل گرفته در مرحله نخست رودنژیتی شدن احتیاج دارند مانند زئولیت، کلریت منیزوم دار، ترمولیت و دیوپسید ثانویه. سپس یک سیستم بازخور در محیط ایجاد شده است (سبزه ئی، ۲۰۰۲)، به این معنا که کانی های تشکیل شده در مراحل اولیه، تحت تأثیر سیالات غنی از سیلیس و فقیر از کلسیم مراحل پیشرفته قرار گرفته و به کانی های کم کلسیم تر تبدیل شده اند، مانند پرهینیتی شدن مجدد هیدروگراسولار (فقیهیان و همکاران، ۱۳۷۹).

لازم به ذکر است که تشکیل کانی های ترمولیت با ترکیب مشابه از کانی های کلینوپیروکسن در رودنژیت های استاتیک، طی دو واکنش صورت می گیرد. یکی از این واکنش ها Ca^{2+} کمتر و SiO_2 بیشتری نسبت به دیگری مصرف می کند که نشان می دهد این واکنش در مراحل پیشرفته تری که میزان $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ سیال به نسبت زیادی کاهش یافته است، تشکیل شده است. هر دو واکنش توسط سبزه ئی (۲۰۰۲) ارایه شده است.



Diopside Anorthite



پومپلئیت تا شیبست سبز در نظر گرفت. یکی دیگر از دلایل معادل بودن دمای تشکیل کانی‌های موجود در مرحله ابتدایی رودنژیته شدن با دمای رخساره پرهنیت - پومپلئیت، وجود کانی‌های پرهنیت با بافت پاپیونی در این مرحله می‌باشد.

به گفته شلی (۱۹۹۳)، وجود بلورهای خمیده و بسیار طویل و بافت‌های پاپیونی (مشابه بافت اسفرولیتی) یکی از مشخصه‌های سنگ‌های دگرگونی بسار خفیف (رخساره پرهنیت - پومپلئیت) می‌باشد. شلی (۱۹۹۳) دلیل وجود این گونه بافت‌ها در سنگ‌های دگرگونی بسیار خفیف را این گونه بیان می‌کند، "تشکیل یک بلور جدید با سه فرآیند نطفه‌بندی، انتشار و رشد در ارتباط است.

هر سه فرآیند دارای سرعت‌های متفاوتی هستند که بسته به شرایط موجود تغییر می‌کنند. کند بودن سرعت هر یک از این فرآیندها در چگونگی پیشرفت عمل تبلور تأثیر می‌گذارد.

برای مثال اگر سرعت انتشار کندتر از سرعت رشد باشد یک حالت اسکلتی، دندریتی و یا پاپیونی پدید می‌آید، زیرا برای رشد یک بلور منظم و پایدار، همیشه مواد مورد نیاز در دسترس نیست و از این رو بلور برای دستیابی به ماده مورد نظر یک حالت غیر تعادلی پیدا می‌کند.

همچنین با توجه به ترمومتری کلریت‌های موجود در رودنژیته‌های منطقه مورد مطالعه (جدول ۵) که به روش کاتلینا و نیوا (۱۹۸۵) انجام شده است (جدول ۶)، دمای تشکیل $151.5 \pm 32^\circ\text{C}$ برای این کانی به دست آمد. لازم به ذکر است که، کلریت منیزیم دار جزو کانی‌های شکل گرفته در مرحله پیشرفته رودنژیته شدن محسوب می‌شود و دمای تشکیل این کانی می‌بایست بیشتر از دمائی باشد که به روش کاتلینا و نیوا دمای به دست آمده است، بنابراین دمای کم به دست آمده برای این کانی را می‌توان نشان از تغییرات این کانی بعد از تشکیل آن دانست.

رودنژیته‌زاسیون به شمار می‌آید، به نحوی که دایک باید همزمان و یا قبل از سرپانتینیزاسیون به این سنگ‌ها نفوذ کرده باشد.

بررسی‌های کانی‌شناسی (حضور کانی‌های غنی از کلسیم) و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد، شاره‌هایی که باعث تبدیل دایک‌های گابروئی به رودنژیته شده است، از لحاظ Ca و OH اشباع بوده‌اند.

با توجه به مطالعات میکروسکوپی و ژئوشیمیایی، هر اندازه رودنژیته‌ها از درجه رودنژیته‌زاسیون بالاتری بر خوردار باشند، علاوه بر این که هر دو پارامتر مربوط به مراحل اولیه و پیشرفته رودنژیته‌زاسیون استاتیک و همچنین کانی‌های رگه‌ای مربوط به رودنژیته‌زاسیون دینامیک در آنها مشاهده می‌شود، میزان عناصر Ca و OH نیز در آنها نسبت به رودنژیته‌هایی که کمتر تحت تأثیر رودنژیته‌زاسیون قرار گرفته‌اند، بالاتر می‌باشد.

از آن جا که در سنگ‌های رودنژیته‌ی شده، ابتدا کانی‌های پلاژیوکلاز (مراحل ابتدایی) و سپس کانی‌های کلینوپیروکسن (مراحل پیشرفته) تحت تأثیر آلتراسیون قرار گرفته‌اند.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دما ابتدا شاید پایین بوده و سپس افزایش پیدا کرده است زیرا پرهنیت و اپیدوت آهن دار (پیستاشیت) حاصل از تجزیه کانی‌های پلاژیوکلاز در دمای معادل با رخساره پرهنیت - پومپلئیت (دگرگونی بسیار ضعیف) و اورالیت‌های ناشی از تجزیه کانی‌های کلینوپیروکسن در دمای معادل با رخساره شیبست سبز (دگرگونی ضعیف) حاصل می‌شوند (شلی ۱، ۱۹۹۳). لازم به ذکر است که، وینکلر ۲ (۱۹۷۶) رخساره‌های دگرگونی را بر اساس دما طبقه‌بندی می‌کند و رخساره پرهنیت - پومپلئیت را دگرگونی درجه بسیار ضعیف، رخساره شیبست سبز را دگرگونی درجه ضعیف و رخساره آمفیبولیت را دگرگونی درجه متوسط در نظر می‌گیرد.

با این تفاسیر شاید بتوان محدوده دمایی رودنژیته‌های استاتیک افیولیت‌نایین را رخساره پرهنیت -

جدول ۵ - نتایج آنالیز EDS از کانی کلریت

Major element	Fal-01	Fal-02
SiO ₂	38.01	35.40
Al ₂ O ₃	17.36	19.63
FeO	24.01	24.45
MnO	0.48	0.50
MgO	16.88	16.97
CaO	0.58	0.33
Total	97.32	97.28
Formula	Cations	Cations
Si	3.48	3.26
Al	1.87	2.13
Fe ₂	1.84	1.88
Mn	0.04	0.04
Mg	2.30	2.33
Ca	0.06	0.03
Al(IV)	0.52	0.74
Al(VI)	1.35	1.39

منیزیم دار، ترمولیت، دیوپسید ثانویه) نشان از تغییرات وسیع ترکیب سیالات سازنده این سنگ‌ها دارد، بدین معنا که سیال در مراحل ابتدایی از لحاظ میزان کلسیم و در مراحل پیشرفته از لحاظ سیلیسیم غنی بوده است. در حالی که نبود تنوع کانی‌شناسی در رودنژیت‌های دینامیک (حضور فراوان زئوتلیت و حضور نسبتاً پایین پرهنیت و پکتولیت) منطقه نشان از حضور سیالات با ترکیب نسبتاً ثابت در این سنگ‌ها و تغییرات نسبتاً کم آن‌ها دارد.

۲ - در فرآیند رودنژیته شدن دایک‌های گابروئی منطقه مورد مطالعه، میزان Ca و OH سنگ افزایش،

جدول ۶ - نتایج ترمومتری کانی‌های کلریت

موجود در رودنژیت‌های افیولیت نائین

Label	T °C
Fal-01	128.27
Fal-02	174.66
Mean	151.47

$$T = 151.5 \pm 32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

نتیجه

۱ - تنوع کانی‌شناسی در رودنژیت‌های استاتیک منطقه از مراحل ابتدایی (اپیدوت، پرهنیت، هیدروگراسولار) تا مراحل پیشرفته (زئوتلیت، کلریت

از رودنژیت‌های افیولیت ناین، فشرده مقالات هشتمین همایش بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران، ۴ صفحه، ۱۳۷۹.

۲ - علایی مهابادی، س.، فؤدازی، م.، داوری، م.، بهره مند، م.، محمدیان، ه.، و حدادان، م. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ ناین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳.

3 - M., Cathelineau, and D. A., Nieva, chlorite solid solution geothermometer—The Los Azufres (Mexico) geothermal system: Contribution to Mineralogy and Petrology, v. 91, p. 235–244, (1985).

4- R. G., Coleman, Low – temperature reaction zones and alpine ultramafic rock of California, Oregon and Washington: U. S. Geological Survey Bulletin, v. 47, p. 1247, (1967).

5 – R. G., Coleman, Ophiolites, ancient oceanic lithosphere?: Springer- Verlag, Berlin, 229p, (1977).

6 - R. G., Coleman, Ophiolites, minerals and rocks: Springer – Verlag, Berlin, v. 12, 229p; (1977).

7 – M., Davoudzadeh, Geology and petrology of the area North of Naein, Central Iran: Geological Survey of Iran, Report no. 14, 79 p; (1972).

8 – M., Sabzehei, Rodingitization of Iranian basic rocks, a new interpretation: Journal of Sciences, v. 13, p. 155 – 160; (2002).

9 – E. S., D. S., Schandle, O hanley, and F. J., Wicks, Rodingites in serpentinized ultramafic rocks of the Abitibi greenstone belt, Ontario: Canadian Mineralogist, v. 27, p. 579 – 591; (1989).

10 – E. S., D. S., Schandle, O hanley and F. J., Wicks, Fluid inclusion in rodingite, a geothermometer for serpentinization: Economic Geology, v. 85, p. 1273 – 1276; (1990).

11 - D., Shelly, Igneous and metamorphic rocks under the microscope: Chapman and Hall, 630 p; (1993).

12 – T., Thayer, Serpentinization considered as a constant volum metasomatic process: American Mineralogist, v. 51, p. 685 – 710; (1966).

میزان Na, Al, K کاهش چشمگیر، میزان Fe, Mn , Mg کاهش جزئی و میزان Si تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

۳ - از آن جا که، رودنژیت‌های منطقه محصول تأثیر سیالات غنی از Ca به وجود آمده از سرپانتینیزاسیون اولترامافیک ها می‌باشند، بنابراین زمان نفوذ دایک به سرپانتینیت‌ها فاکتور مهمی برای رودنژیتیزاسیون به شمار می‌آید، به نحوی که دایک می‌بایست همزمان و یا قبل از سرپانتینیزاسیون به این سنگ ها نفوذ کرده باشد.

۴ - وجود هر دو پاراژنز مربوط به مراحل اولیه و پیشرفته رودنژیتیزاسیون استاتیک و همچنین کانی‌های رگه ای مربوط به رودنژیتیزاسیون دینامیک در رودنژیت‌های منطقه، نشان از بالا بودن درجه رودنژیتیزاسیون در این سنگ ها دارد.

۵ - پره‌نیت و اپیدوت آهن دار (بیستاشیت) حاصل از تجزیه کانی‌های پلاژیوکلاز (مرحله ابتدایی رودنژیتی شدن) در دمای معادل با رخساره پره‌نیت - پومپلئیت (دگرگونی بسیار ضعیف) و اورالیت‌های ناشی از تجزیه کانی‌های کلینوپیروکسن (مرحله پیشرفته رودنژیتی شدن) در دمای معادل با رخساره شیست سبز (دگرگونی ضعیف) حاصل می‌شوند. با این تفاسیر شاید بتوان محدوده دمایی رودنژیت‌های استاتیک افیولیت ناین را رخساره پره‌نیت - پومپلئیت تا شیست سبز در نظر گرفت.

منابع

۱ - فقیهیان، ح.، نقره‌ئیان، م.، مکی زاده، م.ع.، و شرافت، ش. پیدایش زئولیت‌های دروغین (پکتولیت و پره‌نیت) در بخشی