

## بررسی رودینگیت های ملانژ افیولیتی نائین (استان اصفهان)

علیرضا اسلامی\*، ثمینه رجبی

گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

alirezaesl@live.com\*

### چکیده

در منطقه شمال نائین در افیولیت ملانژ نائین سنگ های رودینگیتی شده و رودینگیت وجود دارند. این سنگ ها در میان پریدوتیت های سریانتهینی شده تشکیل شده اند. کانی های اصلی موجود در این سنگ ها شامل زونوتلیت، پکتولیت، گارنت (گروسولار)، کلینوپیروکسن (اوژیت و دیوپسید) و کلریت و کانی های فرعی تیتان دار نظیر اسفن، ایلمنیت و لوکوکسن با بافت های گرانوبلاستیک، کاتاکلاستیک و لیپوبلاستیک می باشند. بر اساس بررسی های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، در این منطقه رودینگیت های استاتیک (توده ای) و دینامیک (رگه ای) هر دو وجود دارند. زونوتلیت و پکتولیت شاخص رودینگیت های رگه ای هستند و گارنت، کلینوپیروکسن و کلریت شاخص رودینگیت های استاتیک می باشند. تصاویر الکترونی، ترکیب شیمیایی و داماسنجی کلینوپیروکسن موجود در این رودینگیت ها حاکی از وجود دو نسل کلینوپیروکسن می باشد؛ ۱- انواع Fe دار (اوژیت) که کلینوپیروکسن های آذرین باقی مانده از سنگ اولیه هستند و ۲- کلینوپیروکسن های Ca-Mg (دیوپسید) که در اثر رودینگیتی شدن تشکیل شده اند. این کلینوپیروکسن ها به ترتیب همراه دو نوع کلریت غنی از Fe و فقیر از Fe (غنی Mg) وجود دارند. شیمی کانی های موجود در این رودینگیت ها نشان می دهد که فعالیت یون های Ca, Mg, Ti و Na در زمان تشکیل شان در سیال در حدی بالا بوده که قادر به تشکیل این کانی ها بوده است.

**نکات کلیدی:** کانی شناسی، شیمی کانی ها، افیولیت ملانژ، پریدوتیت های سریانتهینی شده، دایک دیابازی، رودینگیت، نائین.

## Investigation of rodingites in Naein ophiolitic mélange (Isfahan Province)

### Abstract

Rodingitized rocks and rodingite occur in the Naein ophiolitic mélange located north of Naein. These rocks are formed in serpentinized peridotites. Principal minerals in these rocks include xonotlite, pectolite, garnet (grossular), clinopyroxene (augite and diopside) and chlorite and Ti-bearing accessory minerals such as sphene and ilmenite, and leucoxene with granoblastic, cataclastic and lepioblastic textures. In field observations and petrographic studies we could demonstrate the presence of both static rodingite and dynamic rodingite in this area. Xonotlite and pectolite occurred in veined rodingites; garnet, clinopyroxene and chlorite occurred in static rodingites. Back-scattered electron imaging (BSE), chemical composition and thermometry of clinopyroxenes in these rodingites suggests the presence of two generation of clinopyroxenes: 1. Fe-clinopyroxenes (augite) that are relicts of magmatic clinopyroxenes in the protolith (primary rock); 2. Ca-Mg clinopyroxenes (diopside) which are formed by rodingitization. These clinopyroxenes are associated with Fe-rich chlorite and Mg-rich chlorite, respectively. The chemical composition of the minerals in these rodingites indicates that the high activity of Ca, Mg, Ti and Na ions in fluids led to the formation of these minerals.

**Keywords:** Mineralogy, Mineral Chemistry, Ophiolitic mélange, Serpentinized peridotites, Diabasic dykes, Rodingite, Naein.

## مقدمه

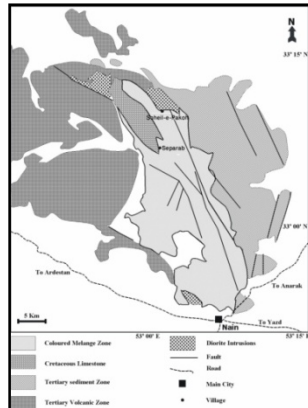
به طور کلی رودینگیته شدن یک فرآیند دگرگونی است که طی آن سیلیسیوم از سنگ خارج و کلسیم به آن اضافه می شود (Coleman, 1967) و رودینگیته ها سنگ های غنی از کلسیم و فقیر از سیلیسیوم هستند که دارای سیلیکات های Ca-Mg و یا Ca-Al (مانند گروسولار، اپیدوت، پرهنیت، ایدوکراز و دیوپسید) و کلریت های منیزوم دار می باشند. این سنگ ها به طور عمده دارای کانی های گارنت، دیوپسید، پکتولیت، زونولیت و ... می باشند. رودینگیته ها تاکنون در محیط های مختلف تکتونیکی گزارش شده اند. یکی از مراحل تشکیل رودینگیته ها در مجموعه های افیولیتی، دگرسانی هیدروترمال پریدوتیت ها و تشکیل سرپانتینیت می باشد. در اثر سرپانتینیت شدن الیون و ارتوپروکسن پریدوتیت ها، مقداری کلسیم آزاد می شود که نمی تواند در ساختمان کریستالی سرپانتینیت ها وارد شود. با تاثیر این سیالات غنی از کلسیم بر سنگ میزبان، رودینگیته تشکیل می شود (Palandri and Reed, 2004). ارتباط نزدیک رودینگیته شدن با تشکیل سرپانتینیت ها باعث گردیده که بسیاری از محققین بر این باور باشند که این سنگ ها از لحاظ ژنتیکی و همچنین زمان تشکیل شان مرتبط با سرپانتینیت ها باشند (Tsikouras et al., 2009). دمای تشکیل رودینگیته ها هیچگاه از ۵۰۰ درجه سانتی گراد بالا تر نمی رود (Plyusnina et al., 1993).

در بسیاری از رودینگیته های ایران دو مرحله رودینگیته شدن استاتیک و دینامیک تشخیص داده شده است که مرتبط با سرپانتینیت شدن استاتیک و دینامیک می باشد که به ترتیب رودینگیته های توده ای و رگه ای را تشکیل می دهند. رودینگیته های توده ای یا استاتیک که دارای بافت گرانوبلاستیک هستند، مربوط به زمان گسترش پوسته اقیانوسی و تشکیل افیولیت می باشند در حالی که رودینگیته های رگه ای یا دینامیک مربوط به زمان جایگیری افیولیت و یا فعالیت های زمین ساختی هستند. بر واضح است که رودینگیته های استاتیک زود تر از دینامیک تشکیل شده اند (ترابی و همکاران، ۱۳۸۳).

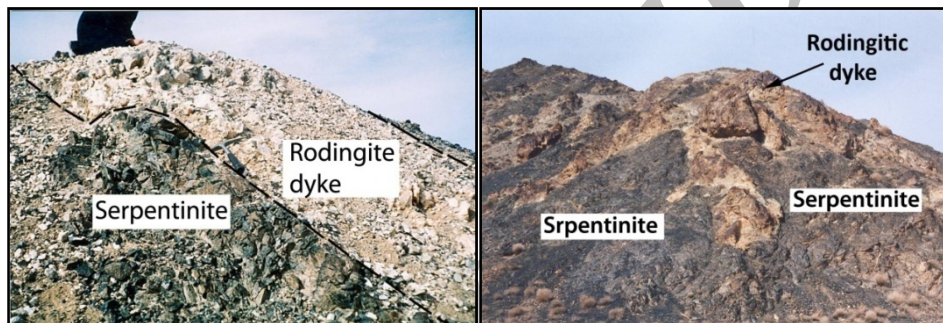
افیولیت نائین در شمال جاده نائین - اردستان و غرب جاده نائین - انارک واقع شده اند. این افیولیت ملائز از شمال شهر نائین شروع و ۴۰ کیلومتر به سمت شمال تا روستای سهیل پاکوه ادامه می یابد و از لحاظ جغرافیایی بین طول ۵۶° و ۵۲° تا ۱۰' و ۵۳° شرقی و عرض ۵۲° و ۳۲° تا ۱۰' و ۳۳° شمالی قرار دارد. در شکل (۱) نقشه زمین شناسی شمال نائین نشان داده شده است. واحد های سنگی موجود در این افیولیت ملائز شامل پریدوتیت ها، سرپانتینیت، لیستونیت، گابرو، دایک های دیابازی و سنگ های رسوبی هستند (پیرنیا، ۱۳۸۶). رودینگیته های این منطقه همراه و در کنار پریدوتیت های سرپانتینیت شده مشاهده می شوند (شکل ۲). این رودینگیته ها دارای کانی های زونولیت، پرهنیت، کلینوپروکسن، گارنت، کلریت، پکتولیت و اکتینولیت می باشند و به دو دسته رودینگیته های استاتیک و دینامیک تقسیم بندی شده اند (فلاحی، ۱۳۸۵). در این تحقیق به بررسی پتروگرافی، شیمی کانی ها، ترتیب تبلور آن ها و ترکیب سیال سازنده رودینگیته افیولیت نائین پرداخته می شود.

## روش مطالعه

به منظور بررسی رودینگیته های افیولیت ملائز نائین، مطالعات صحرایی و نمونه برداری صورت گرفته و پس از پتروگرافی مقاطع نازک، از نمونه های مناسب مقاطع نازک صیقلی تهیه و کانی های موجود در آن ها با استفاده از دستگاه آنالیز الکترون میکروپروپروب Cameca SX-100 دانشگاه هانور آلمان با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ kV مورد بررسی قرار گرفتند. در محاسبه فرمول ساختاری و تعیین عضو های پایانی کانی ها و همچنین تفکیک  $Fe^{+2}$  و  $Fe^{+3}$  آن ها، از نسبت های استوکیومتری و نرم افزار Minpet استفاده گردیده است.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه شمال ناین (داوودزاده ۱۹۷۲).



شکل ۲- رخنمون دایک های رودینگیتی شده در کنار سرپانتینیت های افیولیت ملائز ناین.

### پتروگرافی

نمونه های مورد بررسی دارای کانی های غنی از کلسیم با بافت گرانوبلاستیک، لپیدوبلاستیک و در برخی بخش ها کاتاکلاستیک می باشند. کانی های مشاهده شده در این سنگ ها شامل زونولیت، پکتولیت، گارنت، پیروکسن، کلریت، کانی های اپاک، پرهنیت و کلسیت هستند.

زونولیت سیلیکات کلسیم آبدار است که به صورت شعاعی در رودینگیت های رگه ای مشاهده می شود. این کانی در نور پلاریزه خاکستری و در نور طبیعی از برجستگی کمی برخوردار است (شکل ۳ - A و B).

پکتولیت بزرگترین کانی موجود در این سنگ هاست. این کانی در نور پلاریزه با رنگ های اینترفرانس درجه بالا و در نور طبیعی بدون برجستگی می باشد (شکل ۳ - A و B). در تصاویر الکترونی این کانی به رنگ خاکستری دیده می شود و نسبت به کلینوپیروکسن و گارنت تیره تر می باشد (شکل ۳ - C و F).

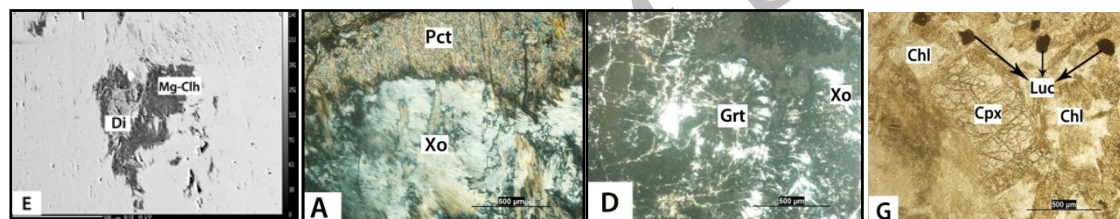
در مقاطع مورد بررسی هر دو نوع رودینگیت رگه ای (دینامیک) و توده ای (استاتیک) قابل تشخیص است. تشخیص این دو نوع رودینگیت در مقاطع نازک آن ها با توجه به مجموعه کانی های موجود در آن ها امکان پذیر است؛ زونولیت و پکتولیت کانی های شاخص رودینگیت های رگه ای هستند. زونولیت در مجاورت بلافضل محل ورود دایک دیابازی به سنگ میزبان می باشد و پس از آن پکتولیت مشاهده می شود.

گارنت کانی ایزوتروپی است که در تصاویر الکترونی از پکتولیت روشن تر و از کلینوپیروکسن تیره تر می باشد و در برخی از بخش به صورت مجموعه های ریز کانیایی دیده می شود (شکل ۳ - D). این نواحی احتمالاً مرتبط با کانال های جریان فاز سیال در امتداد زون های تکتونیک است (Tsikouras et al., 2009). کلینوپیروکسن موجود در مقاطع مورد بررسی بافت های گرانوبلاستیک و در برخی بخش ها کاتاکلاستیک نشان می دهد و در در بسیاری از بخش ها همراه با کلریت مشاهده می شود

(شکل ۳ - E). بررسی نتایج آنالیز میکروپروپ و تصاویر الکترونی این کانی نشان می دهد که انواع تیره تر آهن بیشتری نسبت به کلینوپیروکسن های روشن تر دارند. این ویژگی با ترکیب کلریت اطراف آن ها نیز هماهنگ می باشد.

کلریت کانی ورقه ای موجود در رودینگیت های افیولیت نائین است. این کانی در زمینه سنگ و در کنار کلینوپیروکسن ها (شکل ۳ - E) و با بافت لپیدوبلاستیک مشاهده می شود. در بسیاری از بخش ها تحت تاثیر فشار های وارده پیچ و تاب نشان می دهد. در نور طبیعی سبز و در نور پلاریزه خاکستری دیده می شود. در بخش شیمی کانی ها توضیح داده می شود که برخی از کلریت های این سنگ ها غنی از آهن و برخی دیگر غنی از منیزیم هستند. وجود دو نوع کلریت با دو ترکیب مختلف مرتبط با تنوع ترکیبی کلینوپیروکسن در این سنگ ها می باشد (Tsikouras et al., 2009).

لوکوکسن مجموعه ای از کانی هاست که در اثر دگرسانی کانی های تیتان دار نظیر ایلمنیت، روتیل و اسفن ایجاد می شود. این کانی در نور طبیعی به صورت لکه های قهوه ای تا قرمز رنگ وجود دارد (شکل ۳ - G). پرهنیت سیلیکات آبدار کلسیم - آلومینیوم است که در نور پلاریزه با رنگ های اینترفرانس درجه بالا مشاهده می شود و در نور طبیعی از برجستگی کمی برخوردار است. پکتولیت و کلسیت از جمله کانی هایی هستند که به همراه پرهنیت یافت می شوند. کلسیت موجود در رودینگیت های مورد بررسی در زمینه سنگ پراکنده بوده و به رنگ قهوه ای دیده می شود.



شکل ۳- تصاویر مقاطع نازک رودینگیت های افیولیت ملانژ نائین. علائم اختصاری به کار رفته در تصاویر بر گرفته از (Kretz, 1983) می باشد. (A) زونولیت و پکتولیت موجود در کنار دایک دیابازی نفوذ کننده (XPL) و (B) (PPL)، (D) گارنت موجود در رودینگیت های افیولیت نائین (XPL)، (E) تصویر الکترونی از یک دیوپسید و کلریت های غنی از منیزیم در اطراف آن. (G) تصویری از کلینوپیروکسن و کلریت های اطراف آن. لوکوکسن به صورت لکه های قهوه ای رنگ قابل تشخیص هستند (PPL) و (H) (XPL).

## شیمی کانی ها

زونولیت: نتایج آنالیز میکروپروپ زونولیت موجود در رودینگیت های نائین در جدول (۱) آورده شده است. میانگین فرمول ساختاری این کانی، که بر اساس ۱۸ اکسیژن محاسبه می گردد، به صورت  $(OH)_2 O_{17} Si_{5.963} Ca_{6.033}$  می باشد. پکتولیت: سیلیکات آبدار کلسیم - سدیم و یک شبه پیروکسن می باشد. نتایج آنالیز میکروپروپ و محاسبه فرمول ساختاری این کانی، که بر اساس ۱۶ اکسیژن می باشد، در جدول (۱) آورده شده است. میانگین فرمول ساختاری پکتولیت موجود در رودینگیت افیولیت نائین به صورت  $(OH) O_8 Si_{2.823} Ca_{1.856} Na_{0.886}$  می باشد.



گارنت: نتایج آنالیز میکروپروب، محاسبه فرمول ساختاری و درصد اعضای پایانی گارنت های موجود در رودینگیت های نائین در جدول (۱) آورده شده است. محاسبه درصد اعضای پایانی این گارنت ها نشان می دهد که از نوع گروسولار هستند (شکل ۴ - A).

میانگین نتایج آنالیز میکروپروب و محاسبه فرمول ساختاری کانیهای موجود در رودینگیت های نائین. (جدول شماره ۱)

Sample Analysis	Pectolite	Xonotlite	Garnet	Augite	Diopside	Crundophilite	Pseudothorengite	Sphene	Ilmenite
SiO <sub>2</sub>	54.27	49.95	30.33	50.68	53.38	33.40	25.28	30.80	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.00	0.52	0.00	0.09	0.28	33.85	49.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	0.33	22.20	2.86	1.15	15.49	17.86	2.94	0.05
FeO*	0.62	0.00	1.19	11.53	3.15	6.94	36.90	2.29	46.69
MnO	0.09	0.05	0.01	0.33	0.41	0.08	0.38	0.05	2.49
MgO	0.00	0.00	0.57	13.76	17.32	30.30	7.39	0.16	0.11
CaO	33.07	46.59	38.35	19.77	24.32	0.31	0.30	28.61	0.40
Na <sub>2</sub> O	8.71	0.04	0.00	0.29	0.04	0.00	0.00	0.06	0.00
K <sub>2</sub> O	0.03	0.00	92.65	4.000	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00
Total	96.92	96.96	30.33	99.75	99.77	86.63	88.40	98.77	99.10
Structural formula based on	24	6	6	28		28	5	3	16 45 oxygene
Si	5.666	5.975	4.881	1.901	1.947	4.584	4.042	1.022	0.000
Ti	0.002	0.000	0.000	0.015	0.000	0.009	0.034	0.845	0.959
Al	0.014	0.047	4.208	0.126	0.049	2.505	3.363	0.115	0.002
Fe <sup>+3</sup>	0.000	0.000	0.000	0.063	0.060	0.798	4.935	0.000	0.000
Fe <sup>+2</sup>	0.054	0.000	0.160	0.298	0.037	0.000	0.000	0.064	1.009
Mn	0.008	0.005	0.001	0.010	0.015	0.010	0.051	0.001	0.055
Mg	0.000	0.000	0.137	0.769	0.892	6.199	1.760	0.008	0.004
Ca	3.699	5.971	6.613	0.795	0.979	0.045	0.052	1.018	0.011
Na	1.763	0.009	0.000	0.021	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000
K	0.004	0.000	16.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.000	0.000
Total	11.210	12.007	4.930	4.000	4.000	14.154	14.239	3.077	2.040

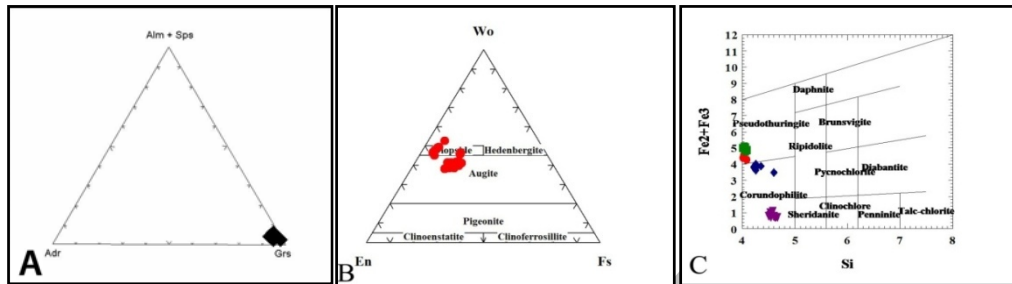
کلینوپروکسن: موقعیت ترکیبی کلینوپروکسن موجود در رودینگیت های افیولیت نائین در نمودار شکل (۴ - B) نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است این کلینوپروکسن ها از دو نوع اوژیت و دیوپسید هستند. نتایج آنالیز میکروپروب این کلینوپروکسن ها در جدول (۱) نشان داده شده است. به این ترتیب دیوپسید ها از CaO و MgO بیشتری نسبت به اوژیت ها برخوردار هستند. مقدار  $(Mg / Mg + Fe) Mg\#$  و  $(Fe / Fe + Mg) Fe\#$  دیوپسید ها به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۰۷ و در اوژیت ها به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۲۵ اندازه گیری شده است. میانگین ترکیب دیوپسید ها به صورت  $En 45.416$   $Fs 6.118$   $Wo 48.466$  و اوژیت ها به صورت  $En 41.482$   $Fs 17.754$   $Wo 40.764$  محاسبه شده است. همانگونه که مشخص است اختلاف اصلی این کلینوپروکسن ها در مولفه فروسیلیت می باشد که ناشی از اختلاف در مقدار آهن آن ها است.

کلریت: میانگین نتایج آنالیز میکروپروب کلریت های موجود در رودینگیت های نائین در جدول (۱) آورده شده است. موقعیت ترکیبی این کلریت ها در نمودار طبقه بندی کلریت ها در شکل (۴ - C) نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است این کلریت ها از نوع *Chrundophilite*، *Pseudothuringite* و انواع با ترکیب حدواسط این دو هستند. مطابق با نتایج آنالیز میکروپروب، کلریت های نوع *Chrundophilite* از MgO قابل توجهی برخوردار اند (~۳۰٪) و میانگین مقدار  $Mg\#$  و  $Fe\#$  آن ها به ترتیب ۰/۸۸۶ و ۰/۱۱۴ اندازه گیری شده است. در حالی که کلریت های نوع *Pseudothuringite* دارای مقدار قابل توجهی  $FeO$  (~۳۷٪) می باشند و مقدار  $Mg\#$  و  $Fe\#$  آن ها به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۷۴ اندازه گیری شده است.

اسفن: نتایج آنالیز میکروپروب این کانی در جدول (۱) آورده شده است. همانگونه که مشخص است این کانی غنی از  $TiO_2$  (~)

۳۳٪) و  $CaO$  (~ ۲۸٪) می باشد. میانگین فرمول ساختاری این کانی، که بر اساس ۵ اکسیژن محاسبه می شود، به صورت  $(Ca$

$O_5) 1.026 Si 0.119 Al 0.838 Ti 0.001 Mn 0.002 Na 0.016 Mg 1.006$  می باشد.



شکل ۴- (A) موقعیت ترکیبی گارنت ها (B) کلینوپیروکسن ها و (C) کلریت های موجود در رودینگیت های افیولیت نائین.

ایلمنیت: نتایج آنالیز میکروپروب و فرمول ساختاری ایلمنیت موجود در رودینگیت نائین در جدول (۱) نشان داده شده است. این کانی غنی از  $TiO_2$  (~ ۴۹٪) و  $FeO$  (~ ۴۶٪) می باشد و فرمول ساختاری آن بر اساس ۳ اکسیژن محاسبه می گردد. میانگین فرمول ساختاری این کانی به صورت  $(Fe^{2+} 0.992 Ca 0.012 Mg 0.005 Ti 0.962 Al 0.001 O_3)$  محاسبه شده است.

## بحث

### دماسنجی رودینگیت های نائین

به منظور تعیین شرایط دمایی حاکم بر این سنگ ها از دماسنجی های کلینوپیروکسن و کلریت آن ها استفاده گردید. نتایج ترمومتری این پیروکسن ها، به روش ارائه شده توسط (Nimis & Taylor, 2000)، همواره دمای کمتری را برای دیوپسید نسبت به اوژیت نشان می دهد؛ به این ترتیب که متوسط دمای محاسبه شده از ترمومتری دیوپسید ها  $714^{\circ}C$  و اوژیت ها  $1062^{\circ}C$  می باشد. نتایج ترمومتری این کلینوپیروکسن ها در جداول (۲ و ۳) آورده شده است. میانگین نتایج ترمومتری کلریت های موجود در رودینگیت های نائین در جدول (۴) آورده شده است. همانگونه که مشخص است دمای محاسبه شده به روش های مختلف، برای کلریت های غنی از آهن (Pseudothorengite) نسبت به مقادیر محاسبه شده برای کلریت های غنی از منیزیم (Crundophilite) بیشتر می باشد. به این ترتیب بررسی نتایج دماسنجی کلینوپیروکسن ها و کلریت های موجود در رودینگیت های افیولیت نائین نشان می دهد که کانی های غنی از آهن در دمای بالاتری نسبت به انواع غنی از منیزیم تشکیل شده اند.

جدول ۲- نتایج ترمومتری اوژیت های موجود در رودینگیت نائین.

Sample	A003 - 100/1	A003 - 101/1	A003 - 102/1	A003 - 103/1	A003 - 104/1	A003 - 105/1
T(°C)	1040.348	1063.341	1082.221	1027.947	1093.963	1063.721

جدول ۳- نتایج ترمومتری دیوپسید های موجود در رودینگیت نائین.

Sample	A003 -40/1	A003 -41/1	A003 -42/1	A003 -43/1	A003 -44/1
T(°C)	749.158	541.882	950.65	845.4228	484.1947

جدول ۴- نتایج دماسنجی کلریت های موجود در رودینگیت های افیولیت نائین

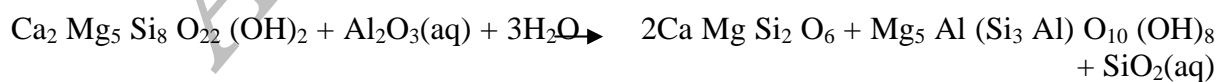
Mineral Taype	Cathelineau & Nieva, 1985	Cathelineau, 1988	Jowett, 1991
	T1	T2	T3
Crundophilite	176.627	177.888	207.451
Pseudothorengite	229.830	258.596	272.188

## بررسی ترکیب سیال

همانگونه که نتایج آنالیز میکروپروب کانی های موجود در این رودینگیت ها نشان می دهند زونولیت، پکتولیت، گارنت (گروسولار) و دیوپسید کانی های غنی از کلسیم موجود در این سنگ ها هستند که حاکی از تاثیر و نفوذ سیالات غنی از این عنصر می باشد. به طور کلی منشا عناصر Ca, Mg, Mn, Cr و Ni در این سنگ ها، شکسته شدن پیروکسن ها و الیون موجود در پریدوتیت ها، در اثر سرپانتینی شدن شان بوده است (Austrheim and Prestvik, 2008). اولین واکنش در تشکیل رودینگیت ها آگیری پلاژیوکلاز توسط سیالات غنی از  $Ca^{2+}$  می باشد که منجر به جانشینی این کانی توسط گارنت می گردد (Coleman, 1967):



سیالات غنی از  $Ca^{2+}$  در اثر سرپانتینی شدن الیون و شکسته شدن پیروکسن پریدوتیت ها تشکیل می شوند (Deer et al., 1982). اکتیویته سیلیس در این سیالات بسیار پایین بوده و تمایل زیادی به واکنش با کانی های ماگمایی موجود در دایک دیابازی نفوذ کننده در پریدوتیت های در حال سرپانتینی شدن دارد (Bach and Klein, 2009 و Li et al., 2008). همچنین حضور پکتولیت، در این سنگ ها نشان می دهد که علاوه بر کلسیم، فعالیت یون سدیم نیز در سیالات سازنده این رودینگیت ها چشمگیر بوده است؛ سدیم از ساختار پلاژیوکلاز ها خارج شده و در تشکیل پکتولیت شرکت می کند (سبزه ای، ۲۰۰۲). وجود کانی های تیتان دار نظیر اسفن، ایلمنیت و لوکوکسن در رودینگیت ها نشان می دهد که فعالیت یون  $Ti^{4+}$  در سیال سازنده آن ها زیاد بوده است. به این ترتیب می توان گفت سیالاتی که در تشکیل رودینگیت های افیولیت نائین نقش داشته اند علاوه بر این که غنی از Ca و Na بوده اند، فعالیت یون Mg و Ti نیز در آن ها زیاد بوده که توانسته دیوپسید و کلریت های غنی از Mg و همچنین کانی های تیتان دار را تشکیل دهد. بررسی ها نشان داده اند که بعد از شکسته شدن پلاژیوکلاز، طی واکنش زیر ترمولیت توسط دیوپسید و کلریت جانشین می گردد:



عناصری نظیر Al و Mg به ترتیب از شکسته شدن پلاژیوکلاز، طی واکنش قبل، و شکسته شدن الیون، طی سرپانتینی شدن ایجاد می شوند. به طور کلی تشکیل کلریت های غنی از Mg در رودینگیت ها ناشی از عبور سیالات غنی از این عنصر می باشد. منشا منیزیم موجود در این سیالات شکسته شدن الیون پریدوتیت ها در اثر سرپانتینی شدن می باشد (Tsikouras et al., 2009).

## نتیجه گیری

زونولیت و پکتولیت شاخص رودینگیت های دینامیک هستند و گارنت، کلینوپیروکسن و کلریت کانی های شاخص رودینگیت های استاتیک می باشند. موقعیت قرار گیری زونولیت و پکتولیت نسبت به دایک نفوذ کننده به سرزمین در حال سرپانتینی شدن

نشان می دهد که زونولیت زودتر از پکتولیت تشکیل شده است. سیال حاصل از سرپانتینی شدن پریدوتیت ها با کانی های آذرین موجود در دایک دیابازی نفوذ کننده واکنش می دهد. به این ترتیب پس از تشکیل گارنت، به خرج پلاژیوکلاز، کلینوپروکسن های Ca - Mg (دیوپسید) در دمای حدود ۷۰۰ درجه سانتی گراد به خرج ترمولیت و همچنین یون های Al و Mg حاصل از سرپانتینی شدن پریدوتیت ها تشکیل شده اند. تصاویر الکترونی، ترکیب شیمیایی و دماسنجی کلینوپروکسن های موجود در رودینگیت های افیولیت نائین نشان می دهد که علاوه بر دیوپسید، اوژیت های آذرین باقی مانده از سنگ اولیه هنوز در این رودینگیت ها وجود دارند. دماسنجی این اوژیت ها بیانگر تشکیل آن ها طی فرآیند های آذرین می باشد. همچنین کلریت های Fe در دمای بالا تر و زودتر از کلریت های Mg دار تشکیل شده اند و به ترتیب مرتبط با اوژیت و دیوپسید می باشند. وجود کانی های دیوپسید، گروسولار، زونولیت، پکتولیت، ایلمنیت، اسفن و لوکوکسن در رودینگیت های افیولیت نائین نشان می دهد که فعالیت یون های Ca، Mg، Na و Ti در زمان تشکیل این سنگ ها در سیال بسیار بالا بوده است.

### قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت های معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه اصفهان تشکر می نمایند.

### منابع

- پیرنیا نائینی، ت.، ۱۳۸۶، پترولوژی پریدوتیت های گوشته افیولیت نائین (استان اصفهان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان، ۱۹۱ صفحه.
- ترابی، ق.، سبزه ئی، م.، آرائی، ش.، حسن احمد، ا.، هاشم امامی، م.، و محجل، م.، ۱۳۸۳، کانی شناسی فاز - های مختلف تشکیل رودنژیت در دایک های مجموعه افیولیتی پروتوزوئیک بالائی شمال انارک، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، ۱۳ صفحه.
- فلاحتی، س.، ۱۳۸۵، بررسی های کانی شناسی و سنگ شناسی رودنژیت های مرتبط با افیولیت نائین، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان، ۱۱۸ صفحه.

- Austrheim, H., and Prestvik, T., 2008, Rodingitization and hydration of the oceanic lithosphere as developed in the Leka ophiolite, north-central Norway. *Lithos*, 104, 177-198.
- Bach, W., Klein, F., 2009, The petrology of seafloor rodingites: insights from geochemical reaction path modelling. *Lithos* 112, 103-117.
- Barnes, I., O'Neill, J. R., Rapp J. B., and White, D. E., 1973, Silicate - carbonate alteration of serpentinite, wall rock alteration in mercury deposits of the California coast ranges. *Economic Geology*, 68, 388-398.
- Beard, J.S., Fullagar, P.D., and Sinha, A.K., 2002, Gabbroic pegmatite intrusions, Iberia Abyssal Plain, ODP Leg 173, Site 1070: magmatism during a transition from non-volcanic rifting to sea-floor spreading. *Journal of Petrology* 43 (5), 885-905.
- Cathelineau, M., 1988, Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, 23, 471 - 485.
- Cathelineau, M. and Nieva, D., 1985, A chlorite solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 91, 235 - 244.
- Coleman, R. G., 1977, *Ophiolites, minerals and rocks*. Springer - Verlag, Berlin, 12, 229 p.



- Coleman, R. G., 1967, Low – temperature reaction zones and alpin ultramafic rock of California, Oregon and Washington: U. S. Geology Survey Bulletin, 47, 1247 p.
- Coulton, A.J., Harper, G.D., and O’Hanley, D.S., 1995, Oceanic versus emplacement age serpentinitization in the Josephine ophiolite: Implications for the nature of the Moho at intermediate and slow spreading ridges. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 100 (B11), 22245–22260.
- Davoudzadeh, M., 1972, *Geology and Petrography of the Area North of Nain, central Iran*. Geological survey of Iran, 14.
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J., 1982, *Orthosilicate and Single Chain Silicate* (Vol. 1 A, Vol. 2 A). Longman, London.
- Hekinian, R., Bideau, D., Francheteau, J., Cheminee, J.L., Armijo, R., Lonsdale, P., and Blum, N., 1993, Petrology of the East Pacific Rise crust and upper mantle exposed in Hess Deep (eastern equatorial Pacific). *Journal of Geophysical Research* 98, 8069–8094.
- Jowett, E.C., 1991, Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer: *Geol. Assoc. Canada/Mineral. Assoc. Canada/Soc. Econ. Geol. Joint Annual Meeting, Toronto 1991, Program with Abstracts* 16, A62.
- Kretz, 1983, Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68, 277-279.
- Li, X.P., Rahn, M., Bucher, K., 2008, Eclogite facies metarodingites — phase relations in the system  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-FeO-MgO-CaO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ : an example from the Zermatt–Saas ophiolite. *Journal of Metamorphic Geology*, 26, 347–364.
- Li, X.P., Zhang, L., Wei, C., Ai, Y., and Chen, J., 2007, Petrology of rodingite derived from eclogite in western Tianshan, China, *Journal of Metamorphic Petrology* 25, 363–382.
- Marshall, P., 1911, The geology of the Dun Mountain subdivision, Nelson: New Zealand. *Geology Survey Bulletin*, 12, 31 – 35.
- Nimis, P., and Taylor, W.R., 2000, Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 139, 541-554.
- Normand, C., Williams-Jones, A.E., 2007, Physicochemical conditions and timing of rodingite formation: evidence from rodingite-hosted fluid inclusions in the JM Asbestos mine, Asbestos, Quebec, *Geochemical Transactions* 25 (8) doi:10.1186/ 1467-4866-8-11.
- O’Hanley, D.S., 1996, *Serpentinites: Records of Tectonic and Petrological History*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics. Oxford University Press, Oxford.
- Palandri, J.L., Reed, M.H., 2004, Geochemical models of metasomatism in ultramafic systems: serpentinitization, rodingitization, and sea floor carbonate chimney precipitation, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68 (5), 1115–1133.
- Plyusnina, L.P., Likhoidov, G.G., and Zarskiy, G.P., 1993, Physico-chemical conditions of rodingite formation (experimental data). *Petrology (Moscow)*, 1, 491-501.
- Sabzehei, M., 2002, Rodingitization of Iranian basic rocks, a new interpretation. *Journal of Sciences*, 13, 155 – 160.
- Tsikouras, B., Karipi, S., Rigopoulos, I., Perraki, M., Pomonis, P., and Hatzipanagiotou, K., 2009, Geochemical processes and petrogenetic evolution of rodingite dykes in the ophiolite complex of Othrys (Central Greece). *Lithos*, 113,