

Mineralogy of different phases of Rodingite formation in dikes of Anarak upper Proterozoic Ophiolite (NE of Isfahan province, Iran)

Gh. Torabi¹, M. Sabzehei¹, S. Arai², H.A. Ahmed³, M.H. Emami⁴,
M. Mohajjel¹

1- Geology Dep. , Tarbiat Modarres uni., Tehran, Iran.

E-mail : Torabighodrat@yahoo.com

2- Earth Sci. Dep., Kanazawa University, Kanazawa, Japan.

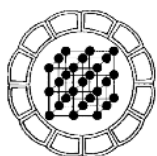
3- Central metallurgical res. and development inst , Cairo, Egypt.

4- Geological survey of Iran.

(received: 28/10/2003, received in revised form: 3/3/2004)

Abstract: In north of Anarak area, in the upper Proterozoic ophiolite, exist Massive and Vein type Rodingites. Vein type rodingites have formed in two phases. Massive or Static rodingites have formed during oceanic crust spreading and ophiolite formation, and Vein type or Dynamic rodingites have formed during Anarak ophiolite emplacement and tectonic activities. Abundance order of minerals in massive rodingites is Garnet (Chromian-Andradite), Idocrase, Chlorite, Diopside, Prehnite and Epidote (decreasing). In the first phase of vein type rodingites, the abundance order of minerals is Diopside, Chlorite, Idocrase, and Garnet (Ti-Andradite), and in the second phase is Diopside, Chlorite and Garnet (Andradite). Petrography and geochemical study of minerals show that, during the formation of massive type rodingites, the activity of Calcium, Iron, and Chromium ions in fluids, and during the formation of first phase of vein type rodingites, the activity of Calcium, Silicon, Magnesium, Aluminum, Titanium, and OH⁻ ions in fluids, have been increased. Geochemistry of second phase of vein type rodingites is similar to first phase, but because of absence of Idocrase, and low Titanium in Andradite structure, the activity of Iron, Titanium, and Aluminum ions, is lower than first phase. Generally the diversity of minerals in massive type rodingites is more than vein type rodingites.

Keywords: *Mineralogy, Geochemistry, Ophiolite, Serpentinized mantle peridotite, Dikes, Intrusives, Rodingites.*



کانی شناسی فازهای مختلف تشکیل رودینگیت در دایک های مجموعه افیولیتی پروتروزوئیک بالایی شمال انارک

قدرت ترابی^۱، مسیب سبزه‌یی^۱، شوجی آرایبی^۲، احمد حسن احمد^۳،

محمد هاشم امامی^۴، محمد محجل^۱

۱- بخش زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

پست الکترونیکی: Torabighodrat@yahoo.com

۲- دانشکده علوم زمین دانشگاه کانازاوا، ژاپن.

۳- مرکز تحقیقات و توسعه متالورژی، قاهره، مصر.

۴- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

(دریافت مقاله ۱۳۸۲/۸/۶ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۲/۱۲/۱۲)

چکیده: در شمال منطقه انارک در درون سنگ‌های افیولیتی پروتروزوئیک بالایی، رودینگیت‌ها و سنگ‌های رودینگیتی به دو صورت توده‌ای و رگه‌ای وجود دارند. در این مجموعه افیولیتی، دو نسل از رودینگیت‌های رگه‌ای را می‌توان مشاهده کرد. رودینگیت‌های توده‌ای یا استاتیک مربوط به زمان گسترش پوسته اقیانوسی و تشکیل افیولیت، رودینگیت‌های رگه‌ای یا دینامیک مربوط به زمان جایگیری افیولیت شمال انارک، یا فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌باشند. کانیهای موجود در رودینگیت‌های توده‌ای به ترتیب فراوانی عبارتند از: گارنت (آندرادیت کرم‌دار)، ایدوکراز، کلریت، دیوپسید، پرنیت، و اپیدوت. در حالی که ترتیب فراوانی کانیهای موجود در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول به صورت دیوپسید، کلریت، ایدوکراز، و گارنت (آندرادیت تیتان دار)، و در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل دوم به صورت دیوپسید، کلریت، و گارنت (آندرادیت) است. بررسی‌های سنگ‌شناسی، و ژئوشیمی کانی‌ها نشان می‌دهد که در زمان تشکیل رودینگیت‌های توده‌ای، فعالیت یون‌های کلسیم، آهن، و کرم، و در زمان تشکیل رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول فعالیت یون‌های کلسیم، سیلیسیم، منیزیم، آلومینیوم، تیتانیوم، و OH^- بالاتر بوده است. در مورد رودینگیت‌های رگه‌ای نسل دوم نیز می‌توان گفت که شبیه رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول بوده و تنها به دلیل عدم وجود ایدوکراز، و نبود Ti در ساختار آندرادیت، فعالیت یون‌های Fe, Ti و Al نسبت به رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول کمتر است. به طور کلی رودینگیت‌های توده‌ای نسبت به رودینگیت‌های رگه‌ای تنوع کانی‌شناسی بیشتری دارند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی، ژئوشیمی، افیولیت، پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، دایک‌ها، توده‌های نفوذی، رودینگیت‌ها.

مقدمه

رودینگیت سنگی است که از نظر کلسیم غنی، از نظر آلکالی فقیر، و از نظر SiO_2 اشباع شده است. این سنگ در اثر متازوماتیسم قطعات لیتیک در سنگ‌های اولترامافیک سرپانتینی شده تشکیل می‌شود. رودینگیت‌ها بیشتر شامل سیلیکات‌های کلسیم-آلومینیوم، کلسیم-منیزیم (مثل گروسولار، اپیدوت، پرهنیت، ایدوکرز، و دیوپسید)، و کلریت‌های منیزیم هستند. رودینگیتی شدن سنگ‌های مختلف در مجموعه‌های افیولیتی را مرتبط با پدیده سرپانتینی شدن در دماهای پایین می‌دانند [۱ و ۴]. دمای تشکیل رودینگیت‌ها هیچگاه از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد فراتر نمی‌رود [۵].

با استفاده از شاره‌های درگیر موجود در رودینگیت‌ها می‌توان به زمین‌گرماسنجی پدیده سرپانتینی شدن پرداخت [۶]. همچنین با استفاده از ترکیب این شاره‌ها می‌توان به ماهیت شاره‌های مهاجم و نیز شرایط فیزیکوشیمیایی سرپانتینی و رودینگیتی شدن پی برد [۷ تا ۹]. علاوه بر کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانیهای رودینگیتی که اطلاعات با ارزشی از رودینگیتی شدن به دست می‌دهد، کانی‌شناسی دیواره سیاه^۱ توده‌ها و دایک‌های رودینگیتی نیز داده‌های مهمی در مورد شرایط دگرگونی دایک و یا توده‌های نفوذی به دست می‌دهد. بدین صورت که اگر دیواره سیاه موجود در حاشیه رودینگیت‌ها از کانیهای همچون کلریت، دیوپسید، ترمولیت و مقادیر کمی آپاتیت و اسفن تشکیل شده باشد، بیانگر دگرگونی در رخساره شیست سبز [۱ و ۹]، و اگر از مجموعه کانیهای همچون الیوین فورستریتی، انستاتیت و اسپینل تشکیل شده باشد شاخص دگرگونی در رخساره‌های متوسط تا بالا است [۱۰]. دیواره سیاه رودینگیت‌ها در حاشیه بیرونی رودینگیت‌ها و به صورت لایه‌ای نازک، بخش رودینگیتی شده دایک اصلی را پوشانده و از شرکت پریدوتیت‌های سرپانتینی شده در پدیده رودینگیتی شدن بدست می‌آیند. از بررسی‌های صورت گرفته در منطقه انارک و افیولیت انارک که رودینگیت‌های مورد مطالعه در آن دیده می‌شوند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در مرجع [۱۱]، سن مطلق شیست‌های انارک با استفاده از روش Rb-Sr در حدود ۸۴۵ میلیون سال، و با روش K-Ar، 203 ± 13 و ۱۹۰-۱۸۳ میلیون سال گزارش شده است.

- در مرجع [۱۲] منطقه انارک برای تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ بررسی شده است.

- در مرجع [۱۳]، جایگاه اصلی افیولیت انارک نواحی هرات (افغانستان) در نظر گرفته شده است که پس از چرخش خرده قاره شرق-ایران مرکزی (CEIM)^۲ به این محل منتقل شده

1- Black wall

2- Central-East Iran Microplate

است. در این مرجع، افیولیت شمال انارک به عنوان بازمانده پالتوتیس فرض شده و سن دگرگونه‌های انارک را هرسی نین در نظر گرفته‌اند.

- براساس مرجع [۱۴]، افیولیت شمال انارک به صورت بین لایه‌ای درون دگرگونه‌های انارک دیده می‌شوند. این افیولیت مربوط به پالتوزوئیک بوده و با افیولیت‌های مزوزوئیک که در غرب عشین و زوار، و شمال نایین قرار دارند کاملاً متفاوت است.

- زمین‌شناسان روسی نیز در گزارش پایانی پروژه زمین‌شناسی منطقه انارک [۱۵]، سن دگرگونه‌های انارک را پروتروزوئیک بالایی تا پالتوزوئیک زیرین دانسته و افیولیت شمال انارک را به عنوان افیولیتی با سن نامعلوم معرفی کرده‌اند.

- در مرجع [۱۶]، افیولیت انارک جزء افیولیت‌های پالتوزوئیک ایران معرفی شده و ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئودینامیکی آن بررسی شده است.

- در مرجع [۱۷] که پترولوژی افیولیت انارک بررسی شده است، سن افیولیت انارک پروتروزوئیک بالایی گفته شده است.

- مرجع [۱۸] به بررسی فازهای مختلف در دگرگونه‌های انارک پرداخته است.

- در مرجع [۱۹] نیز افیولیت انارک به عنوان افیولیت نابرجا معرفی شده که از نظر سنی کهن‌تر از تمام واحدهای سنگی منطقه، و دارای سن پروتروزوئیک بالایی، و متعلق به پان-آفریکن دانسته شده است.

- رودینگیت‌های موجود در این مجموعه افیولیتی، تنها توسط ترابی مطالعه شده است [۲۰].

- پدیده رودینگیتی شدن در سنگ‌های بازیک افیولیت‌های ایران زمین در مرجع [۲۱] بررسی شده است.

روش مطالعه

به منظور بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی دایک‌ها و کانیهای رودینگیتی موجود در افیولیت شمال انارک، علاوه بر بررسیهای صحرایی تعداد ۲۰ نمونه از دایک‌ها و توده‌های نفوذی رودینگیتی موجود در پریدوتیت‌های سرپانتینی‌شده گوشته، و تعداد ۱۰ نمونه از رگه‌های کانیهای رودینگیتی موجود در پریدوتیت‌های سرپانتینی‌شده گوشته و دایک‌های رودینگیتی، برای تهیه مقطع نازک و بررسیهای سنگ‌شناسی انتخاب شدند. از این مقاطع نازک، تعداد ۶ مقطع برای بررسی‌های ژئوشیمی کانی‌ها با استفاده از ریزگمانه‌زن در دانشگاه کاناواوا ژاپن، انتخاب و از آنها مقاطع نازک صیقلی تهیه شد. ۶ نمونه از کانیهای موجود در رگه‌های رودینگیتی پس از جداسازی، به همراه یک نمونه از دایک‌های رودینگیتی نیز به روش فعال سازی نوترونی (NAA) در مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته‌ای اصفهان آنالیز شد. تعداد ۴ نمونه از رگه‌ها و یک نمونه از دایک‌های رودینگیتی نیز به روش XRD در سازمان انرژی اتمی و سازمان زمین‌شناسی ایران (تهران) بررسی شدند. از آنجا که بهترین رخنمون رودینگیت‌های توده‌ای و رگه‌ای در اطراف معدن هالو حیدر و بخش‌های جنوب‌غربی چاه درختک قرار دارد،

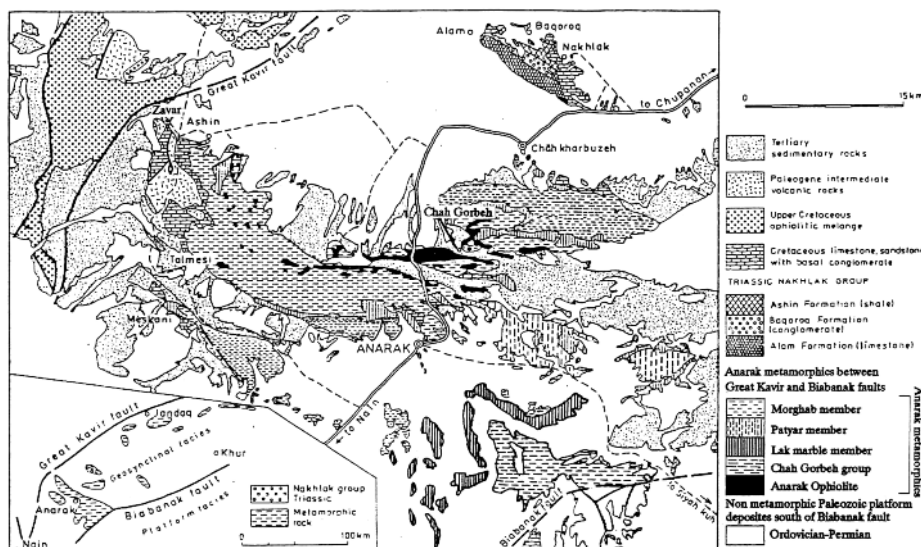
نمونه‌هایی که مورد بررسی‌های XRD، NAA و ریزگمانه‌زن قرار گرفتند از این مناطق انتخاب شدند. در آنالیز کانی‌ها با استفاده از دستگاه ریزگمانه‌زن الکترونی نیز ریزگمانه‌زن JEOL مدل JXA-8800 (WDS) استفاده شد.

کالبد زمین‌شناختی

منطقه مورد بررسی از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، جزئی از ایران مرکزی بوده و در کناره جنوبی دشت کویر، ۱۸ کیلومتری شمال شهر انارک، در دامنه‌های جنوبی کوه چاه‌گره و دامنه‌های شمالی کوه دره انجیر قرار دارد. در شمال منطقه انارک، گستره وسیعی از سنگ‌های اوالترامافیک- مافیک با سن پروتروزوئیک بالایی تحت نام افیولیت انارک وجود دارد که قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه بوده و در زیر سنگ‌های دگرگونی با سن پروتروزوئیک بالایی - کامبرین زیرین قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۲). سنگ‌های این مجموعه افیولیتی شامل سرپانتینیت و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته، سنگ‌های کومولایی، گابرو، گدازه‌های بالشی، دایک‌های مافیک و الترامافیک، رودینگیت و لیسونیت است. در مورد پلاژیوگرانیت‌های موجود در افیولیت انارک، بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که این واحد سنگی جوانترین واحد بوده و علاوه بر گدازه‌های بالشی، شیبست‌های چاه‌گره را نیز قطع و آنها را هورنفلسی کرده است. در افیولیت شمال انارک، رودینگیت‌ها را به صورت دایک‌ها و توده‌های نفوذی رودینگیتی شده (توده‌ای) و یا به صورت رگه‌هایی از کانیهای رودینگیتی درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته و دایک‌های رودینگیتی (رگه‌ای) می‌توان مشاهده کرد. بهترین رخنمون رودینگیت‌ها در این مجموعه افیولیتی در بخش‌های جنوب- جنوب غرب چاه درختک، کن مس، هالو حیدر، چاه شوره، و شمال شرق چاه مهدی قرار دارد. در بخش‌های شمال غربی منطقه انارک، در غرب عشین و زوار نیز سنگ‌های افیولیتی مزوزوئیک دیده می‌شوند که به صورت چشمگیری با افیولیت شمال انارک تفاوت دارند (شکل ۲).



شکل ۱ افیولیت های ایران و افیولیت های منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲ نقشه زمین شناسی منطقه انارک (شمال غرب استان اصفهان، ایران). (اقتباس از [۱۰] با تغییرات در مورد افیولیت انارک، دگرگونه های انارک، و افیولیت ملانژ کرتاسه عشین - زوار).

بررسی دستاوردها

هرگاه یک دایک یا توده نفوذی بازیک یا اولترابازیک، یک سرزمین اولترابازیک را قطع کند و پس از این حادثه سنگ‌های اولترامافیک میزبان سرپانتینی شوند، دایک‌ها و توده‌های نفوذی فوق که بنیان آنها از پیروکسن و پلاژیوکلاز است، در اثر تبادلات متازوماتیک با شاره، که در سنگ‌های میزبان شارش دارند تبدیل به سنگ‌هایی می‌شوند که به آنها رودینگیت می‌گویند. رودینگیت‌ها دارای پارائزهای بسیار گوناگونی هستند، ولی همه آنها دارای کانیهای متازوماتیک غنی از کلسیم هستند که از آن جمله می‌توان دیوپسید، گروسولار و هیدروگروسولار، آندرادیت، وزوویانیت (ایدوکراز)، پرنهیت، اپیدوت، کلریت، زنوتلیت. را نام برد. در مواردی ممکن است که شاره‌های مهاجم در مجموعه‌های افیولیتی، سنگ‌هایی مثل آهک‌ها و یا چرت‌ها را مورد هجوم قرار داده و آنها را تبدیل به سنگ‌های رودینگیتی کنند.

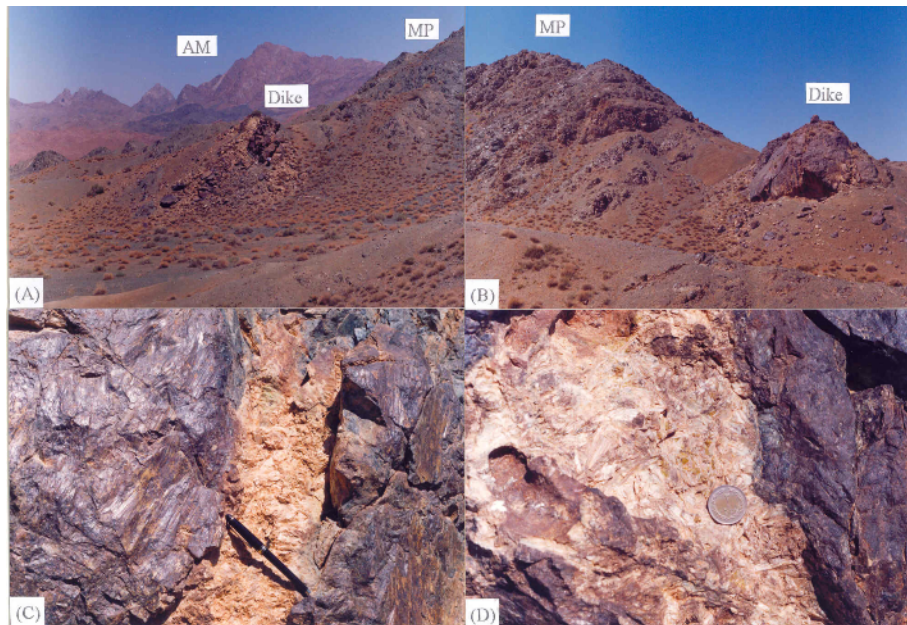
بی تردید منشأ یون کلسیم، سرپانتینی شدن الیوین‌ها و پیروکسن‌هاست، و چون این یون نمی‌تواند در شبکه سرپانتین وارد شود در شاره مانده و آماده است تا با یک کانی واکنش دهد.

این شاره دارای پتانسیل شیمیایی بالایی از نظر یون کلسیم بوده و آماده اثرگذاری و حرکت به سمتی است که پتانسیل کلسیم در آن ناچیز است. با آن که پلاژیوکلازهای موجود در دایک‌های بازیک دارای کلسیم هستند، ولی از آن جا که کلسیم موجود در شبکه پلاژیوکلازها فعال نیست، لذا پتانسیل شیمیایی کلسیم در آنها بسیار ناچیز است. در این حالت یک گرادیان پتانسیل شیمیایی ایجاد می‌شود که حرکت یونهای کلسیم از سوی سنگ سرپانتینی شده میزبان به سمت دایک یا توده نفوذی آغاز می‌شود. بنابراین کانیهای کلسیک درون دایک در معرض هجوم یک شاره غنی از کلسیم با پتانسیل شیمیایی بالا، پایداری خود را از دست داده و متلاشی می‌شوند. این تلاشی تا جایی پیش می‌رود که گرادیان پتانسیل شیمیایی از بین رفته و شرایط تعادل شیمیایی برقرار شود. از این رهگذر، کانیهای متازوماتیک به خرج کانیهای اولیه در دایک‌ها و توده‌های بازیک و الترابازیک به وجود می‌آیند. کلینوپیروکسن‌های اولیه که اغلب پیچونیت و اوژیت هستند، یا به دیوپسید (در شرایط X_{CO_2} پایین) و یا به ترمولیت و اکتینولیت (در شرایط X_{CO_2} بالا) تبدیل می‌شوند [۵ و ۷]. بنابراین رودینگیت‌ها محصول تراز شیمیایی کلسیم بین سر پانتینیت‌ها، دایک‌ها، و توده‌های نفوذی بازیک یا اولترابازیک موجود در آنها هستند [۲۱]. تمام مطالب فوق، در مورد دایک‌ها و توده‌های نفوذی موجود در افیولیت انارک نیز مشاهده شده‌اند.

چنانکه در مقدمه آورده شد، در افیولیت انارک سنگ‌های رودینگیتی به دو صورت توده‌ای یا رگه‌ای دیده می‌شوند. رودینگیت‌های توده‌ای اغلب دایک‌ها و توده‌های نفوذی رودینگیتی شده هستند که درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته قرار دارند. رودینگیت‌های رگه‌ای نیز به صورت رگه‌هایی از کانیهای رودینگیتی در درون شکستگی‌های موجود درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته و دایک‌های رودینگیتی دیده می‌شوند. ضخامت رودینگیت‌های رگه‌ای گاهی به ۴۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد. کانیهای موجود در این رگه‌ها بسیار درشت بوده و در برخی موارد رگه‌های تک‌کانی به خوبی قابل مشاهده هستند (شکل ۳). رودینگیت‌های رگه‌ای در افیولیت انارک در دو فاز تشکیل شده‌اند. فاز دوم رودینگیت‌های رگه‌ای که رودینگیت‌های توده‌ای و رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول را قطع کرده است، حجم زیادی را به خود اختصاص نمی‌دهند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تشکیل رودینگیت‌های توده‌ای مربوط به زمان تولید و گسترش پوسته اقیانوسی بوده و آنها را می‌توان رودینگیت‌های استاتیک نامید. در حالی که تشکیل رودینگیت‌های رگه‌ای مربوط به زمان جایگیری افیولیت انارک و یا فعالیت‌های تکتونیکی بوده و در مورد آنها می‌توان از اصطلاح رودینگیت‌های دینامیک استفاده کرد. با توجه به بررسی‌های صحرائی، سنگ‌شناسی و تعریف بالا، مشخص می‌شود که رودینگیت‌های رگه‌ای (دینامیک) جوانتر از رودینگیت‌های توده‌ای (استاتیک) هستند.

رودینگیتی شدن‌های استاتیک و دینامیک در تطابق کامل با سرپانتینی‌شدن‌های استاتیک و دینامیک است. هنگام سرپانتینی‌شدن دینامیک، دایک‌های بازیک که بسیار شکننده هستند شدیداً دچار دگرشکلی شده و یک گرادیان نفوذپذیر بین سرپانتینیت‌های پلاستیک و دایک‌های بازیک شکننده ایجاد می‌شود که باعث هجوم شارهای فعال به سمت دایک‌های بازیک می‌شود. رودینگیتی شدن استاتیک باعث تشکیل رودینگیت‌های با بافت گرانوبلاستیک می‌شود. در حالی که رودینگیتی شدن دینامیک باعث تشکیل رودینگیت‌های رگه‌ای می‌شود.



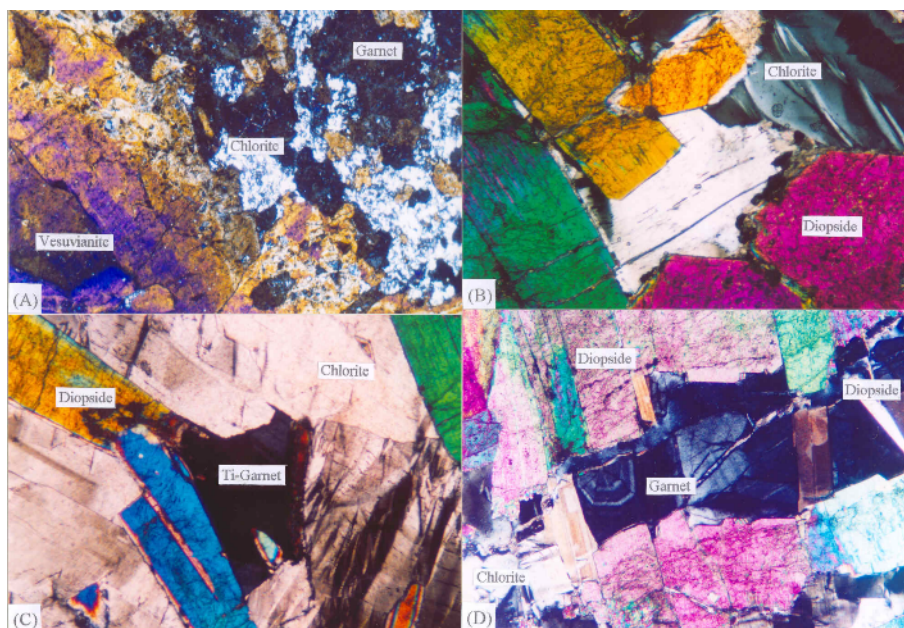
شکل ۳ تصاویر صحرایی رودینگیت‌های موجود در افیولیت شمال انارک (شمال شرق استان اصفهان). (A): دایک رودینگیتی شده درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته (MP)، و دگرگونه‌های انارک (AM) (نگاه به شمال). (B): دایک رودینگیتی درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته، در جنوب شرقی چاه درختک (نگاه به جنوب). (C) و (D): رودینگیت‌های رگه‌ای (بخش روشن) در درون رودینگیت‌های توده‌ای (بخش تیره).

بنابر بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری مقاطع نازک، و استفاده از پرتو ایکس (XRD)، کانیهای موجود در رودینگیت‌های توده‌ای به ترتیب فراوانی عبارتند از: گارنت (آندرادیت کرم‌دار)، ایدوکراز (وزوویانیت)، کلریت، دیوپسید، پره‌نیت، و اپیدوت. درحالی که ترتیب فراوانی کانیهای موجود در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول به صورت دیوپسید، کلریت، ایدوکراز و گارنت، و در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل دوم به صورت دیوپسید، کلریت، و گارنت (آندرادیت) است (شکل ۴). فراوانی دیوپسید و کلریت در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول به

یکدیگر نزدیک است. فراوانی کانیهای مختلف در رودینگیتهای افیولیت انارک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ میانگین فراوانی کانی های مختلف در رودینگیتهای افیولیت انارک.

Mineral Type Rodingite	Garnet	Idocrase	Diopside	Chlorite	Prehnite	Epidote
Massive Type Rodingite	%۴۰	%۳۸	%۳	%۱۳	%۴	%۲
Vein Type Rodingite (Phase 1)	%۵	%۱۵	%۴۲	%۳۸	----	----
Vein Type Rodingite (Phase 2)	%۱۰	----	%۵۵	%۳۵	----	----



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی رودینگیتهای افیولیت شمال انارک (شمال شرق استان اصفهان) (بزرگنمایی ۲۰ برابر). (A): تصویری از رودینگیتهای توده‌ای با کانی‌های گارنت، وزویانیت (ایدوکراز)، و کلریت. (B) و (C): تصویر رودینگیتهای رگه‌ای فاز اول با کانی‌های دیوپسید، کلریت، و گارنت تیتان‌دار. (D): رودینگیتهای رگه‌ای فاز دوم با کانی‌های گارنت، کلریت و دیوپسید، که رودینگیتهای رگه‌ای فاز اول را قطع کرده است.

برای بررسی ترکیب شیمیایی کانیهای رودینگیتهای از دستگاه ریزگمانه‌زن استفاده شد که میانگین نتایج آنالیز این کانی‌ها، محاسبه فرمول ساختاری آنها، و نیز درصد اعضای نهایی محلول‌های جامد، در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده‌اند. بررسی نتایج حاصل از آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها نشان می‌دهد که:

۱- کانی گارنت در هر دو نوع از رودینگیت‌های افیولیت انارک وجود داشته و ترکیب عمومی آن

Phase	Massive Type Rodingite			Vein Type Rodingite (Phase1)				Vein Type Rodingite (Phase 2)		
Mineral	Garnet	Chlorite	Idocrase	CPX	Chlorite	Idocrase	Garnet	CPX	Chlorite	Garnet
Avg.Points	7	1	2	7	2	0	2	3	1	2
SiO ₂	۳۶/۶۸۳	۲۹/۸۶۹	۳۷/۵۲۶	۵۴/۵۷۰	۳۲/۱۷۲	۳۶/۹۴۳	۳۲/۰۳۳	۵۶/۶۸۳	۳۲/۳۴۹	۳۶/۳۱۳
TiO ₂	۰/۲۸۷	۰/۰۲۱	۰/۰۸۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۱/۰۴۴	۱۰/۶۸۵	۰/۰۱۰	۰/۰۲۱	۰/۴۵۳
Al ₂ O ₃	۳/۲۳۳	۱۸/۱۱۸	۱۷/۴۷۷	۰/۰۶۳	۱۵/۶۷۷	۱۳/۲۸۸	۱/۱۴۶	۰/۰۰۳	۱۶/۲۶۱	۳/۰۲۵
Cr ₂ O ₃	۰/۹۹۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
FeO*	۲۲/۶۲۷	۱۰/۷۱۰	۲/۷۵۲	۲/۱۲۴	۵/۸۷۲	۳/۳۴۹	۱۷/۴۸۰	۱/۸۲۵	۶/۰۹۸	۲۳/۷۹۶
MnO	۰/۱۶۹	۰/۱۵۰	۰/۰۳۳	۰/۲۱۰	۰/۱۷۱	۰/۰۴۸	۰/۱۴۴	۰/۲۲۶	۰/۱۷۵	۰/۰۶۰
MgO	۰/۰۲۲	۲۴/۷۷۰	۲/۷۱۶	۱۵/۵۷۶	۲۹/۵۶۴	۲/۸۱۸	۰/۸۵۹	۱۵/۶۶۳	۲۹/۳۹۰	۰/۰۹۵
CaO	۳۶/۰۴۸	۰/۰۴۷	۳۳/۳۶۵	۲۷/۰۵۷	۰/۲۷۶	۳۸/۶۰۸	۳۶/۷۴۲	۲۷/۲۵۶	۰/۰۰۴	۳۶/۴۳۳
Na ₂ O	۰/۰۰۹	۰/۰۲۱	۰/۰۱۶	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
K ₂ O	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۲۳	۰/۰۲۲
NiO ₂	۰/۰۰۷	۰/۰۲۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۴۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰
Total	۱۰۰/۰۹۰	۸۳/۷۶۲	۹۳/۹۸۷	۹۹/۹۶۰	۸۳/۷۹۳	۹۹/۱۱۴	۱۰۰/۱۳۴	۹۹/۶۹۱	۸۴/۳۸۴	۱۰۰/۱۹۷
Oxyg.Atm.	۲۴	O ₁₀ (OH) ₈	۳۶	۶	O ₁₀ (OH) ₈	۳۶	۲۴	۶	O ₁₀ (OH) ₈	۲۴
Si	۶/۳۶۶	۳/۰۳۳	۹/۱۱۵	۲/۰۰۰	۳/۱۸۳	۸/۸۷۵	۵/۶۸۱	۲/۰۰۵	۳/۱۷۷	۶/۳۳۵
Ti	۰/۰۳۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۸۸	۱/۳۸۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۵۹
Al	۰/۶۵۴	۲/۱۶۸	۵/۰۰۲	۳/۰۰۳	۱/۸۲۸	۳/۷۶۲	۰/۲۳۲	۰/۰۰۰	۱/۸۸۲	۰/۶۱۳
Cr	۰/۱۳۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Fe ²⁺	۳/۲۷۶	۰/۹۰۹	۰/۵۵۹	۰/۰۶۵	۰/۴۸۶	۱/۲۷۵	۲/۵۱۳	۰/۰۵۶	۰/۵۰۱	۳/۴۵۲
Mn	۰/۰۲۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹
Mg	۰/۰۰۶	۳/۷۴۶	۰/۹۸۳	۰/۸۶۰	۴/۳۵۷	۱/۰۰۸	۰/۲۲۰	۰/۸۵۵	۴/۲۹۹	۰/۰۲۴
Ca	۶/۷۰۱	۰/۰۰۵	۶/۶۸۰	۱/۰۶۲	۰/۰۲۹	۹/۹۳۴	۶/۷۶۷	۱/۰۷۰	۰/۰۰۰	۶/۸۰۶
Na	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
K	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
Ni	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
Total	۱۷/۲۰۵	۹/۸۸۴	۲۴/۳۷۳	۴/۰۰۰	۹/۹۰۳	۲۵/۰۵۷	۱۶/۸۲۴	۳/۹۹۵	۹/۸۸۲	۱۷/۳۰۳

آندرادیت (High-Andradite Garnet) با فرمول $\text{Ca}_3(\text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ است. گارنت موجود در رودینگیت‌های توده‌ای دارای Cr_2O_3 قابل توجهی بوده و می‌توان آنرا نوعی آندرادیت کرم‌دار (Chromian Andradite) نامید. در حالیکه گارنت‌های موجود در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول از نوع آندرادیت تیتان‌دار (Titanium-Andradite)، و در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل دوم از نوع آندرادیت معمولی است. آندرادیت‌های تیتان‌دار نسبت به آندرادیت‌های معمولی دارای SiO_2 و FeO^* ، Al_2O_3 کمتری بوده در حالیکه MgO و TiO_2 بالاتری دارند. مقدار کلسیم در همه آندرادیت‌ها شبیه به یکدیگر است.

جدول ۲ میانگین نتایج آنالیز کانی‌های موجود در فازهای مختلف رودینگیت در افیولیت انارک با استفاده از ریزگمانه‌زن الکترونی. محاسبه فرمول ساختاری این کانی‌ها نیز آورده شده است.

جدول ۳ محاسبه درصد اعضای پایانی محلول‌های جامد در مورد گارنت‌ها

و پیروکسن‌های موجود در رودینگیت‌های افیولیت انارک.

Garnet

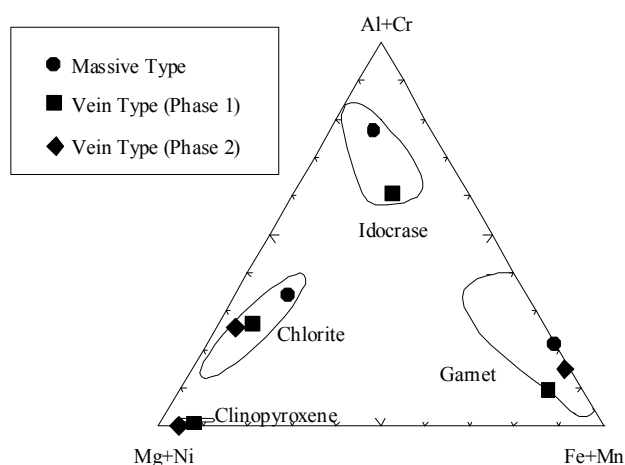
Phase	Massive Type	Vein Type Phase 1	Vein Type Phase 2
Pyrope	٪۰٫۰۵۷	٪۲٫۳۱۲	٪۰٫۲۴۰
Almandine	٪۳۲٫۷۸۲	٪۲۶٫۳۹۲	٪۳۳٫۳۶۵
Grossular	٪۶۶٫۹۱۳	٪۷۱٫۰۷۵	٪۶۶٫۰۱۹
Spessartine	٪۰٫۲۴۸	٪۰٫۲۲۰	٪۰٫۰۸۶
Clinopyroxene			
Phase	Vein Type Phase 1	Vein Type Phase 2	
Wollastonite	٪۵۳٫۰۳	٪۵۳٫۸۰	
Enstatite	٪۳۰٫۴۳	٪۴۳٫۰۲	
Ferrosilite	٪۳٫۵۷	٪۳٫۱۷	
Acmite	٪۰٫۰۹	٪۰٫۰۱	

۲- کانی ایدوکرز با فرمول عمومی $\text{Ca}_{10}(\text{Mg, Fe})_2\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_7]_2[\text{SiO}_4]_5(\text{OH, F})_4$ هم در رودینگیت‌های توده‌ای و هم در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول دیده می‌شود. ایدوکرزهای موجود در رودینگیت‌های توده‌ای نسبت به ایدوکرزهای رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول دارای Al_2O_3 بالاتر و Fe, Ca و اغلب TiO_2 کمتری هستند. ایدوکرزهای موجود در رودینگیت‌های توده‌ای دارای OH یا H_2O^+ بالاتری هستند.

۳- کانی کلریت با فرمول عمومی $(\text{Mg, Al, Fe})_{12}[(\text{Si, Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_{16}$ هم در رودینگیت‌های توده‌ای و هم در رودینگیت‌های رگه‌ای یافت می‌شود. کلریت‌های درون رودینگیت‌های توده‌ای دارای MgO, MnO و SiO_2 کمتر، و Al_2O_3 و FeO^* بیشتری هستند. کلریت‌های موجود در رودینگیت‌های منطقه از نوع Mg-Chlorite هستند. کلریت‌های موجود در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول و دوم دارای ترکیب مشابهی هستند.

۴- کانی دیوپسید با فرمول عمومی $(\text{Ca, Mg})[\text{Si}_2\text{O}_6]$ در رودینگیت‌های رگه‌ای دارای فراوانی بسیار زیاد بوده، در حالی که در رودینگیت‌های توده‌ای دارای فراوانی کمتری است. دیوپسیدهای موجود در رودینگیت‌های توده‌ای بر دو نوعند. بدین صورت که برخی از آنها باقیمانده دیوپسیدهای موجود در سنگ اولیه بوده و برخی نیز دیوپسیدهای تشکیل شده در اثر پدیده رودینگیتی شدن هستند. تفکیک این کانی‌ها در بررسی‌های سنگ‌شناسی این گونه است که دیوپسیدهای رودینگیتی ریزتر و سالم بوده، در حالی که باقیمانده دیوپسیدهای اولیه، درشت و مات بوده، و دارای پارتینگ و تیغه‌های انحلال در جهت (100) هستند [۲۲]. دیوپسیدهای رگه‌ای نسل اول و دوم از نظر ترکیب شیمیایی شبیه یکدیگرند. دیوپسیدها و گارنت‌های موجود در رودینگیت‌های رگه‌ای نسل دوم از خود منطقه‌بندی نشان می‌دهند که حکایت از وجود نوسانهایی در ترکیب شیمیایی شاره مهاجم دارد. گستره ترکیب شیمیایی کانیه‌های موجود در رودینگیت‌های افیولیت انارک و میانگین ترکیب آنها نیز در شکل ۵ آورده شده است. پر واضح است که نوع کانیه‌های موجود در رودینگیت‌ها به ترکیب فیزیکی و شیمیایی

شاره‌های مهاجم، نوع پریدوتیت‌های سرپانتینی‌شده گوشته، و نیز ترکیب سنگی که در جوار پریدوتیت‌های در حال سرپانتینی شدن قرار دارد (اغلب دایک و توده نفوذی)، بستگی دارد. بنابراین با بررسی ترکیب کانیهای رودینگیتی، بررسی باقیمانده‌های دایک یا توده نفوذی برای تعیین نوع سنگ اولیه، و دانستن نوع پریدوتیت‌های سرپانتینی شده می‌توان تا حدود زیادی به ماهیت شاره‌های مهاجم پی برد [۲۳]. بررسی‌های صحرایی و سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که نوع پریدوتیت‌های گوشته در این افیولیت بیشتر از نوع لرزولیت بوده، سنگ اولیه دایک‌های رودینگیتی موجود در هالوحیدر و درختک نیز گابرو بوده است.



شکل ۵ گستره ترکیب شیمیایی کانی‌های موجود در رودینگیت‌های افیولیت انارک و میانگین ترکیب آنها در نمودار مثلثی (Mg+Ni), (Al+Cr) و (Fe+Mn).

با در نظر گرفتن نسبت فراوانی کانیهای مختلف در رودینگیت‌های توده‌ای و رگه‌ای، و نیز بررسی ترکیب این کانی‌ها، می‌توان پی برد که:

- ۱- فعالیت یون Si^{4+} در فاز ایجاد رودینگیت‌های رگه‌ای بیشتر بوده است، چرا که در این فاز دیوپسید و کلریت کانیهای اصلی هستند.
- ۲- فعالیت یون‌های Al^{3+} و OH^- در فاز ایجاد رودینگیت‌های رگه‌ای بالاتر بوده است، چون در این فاز کلریت، کانی اصلی است.
- ۳- فعالیت یون‌های Fe , Ca^{2+} و Cr^{3+} در فاز ایجاد رودینگیت‌های توده‌ای بیشتر بوده است، چرا که در این فاز آندراپیت کرم‌دار و ایدوکراز کانی اصلی بوده، و در رودینگیت‌های رگه‌ای کلریت جزء کانیهای اصلی است.

۴- فعالیت یون Ti^{4+} در فاز ایجاد رودینگیت‌های رگه‌ای نسل اول بیشتر بوده است، چرا که در این فاز، کانی آندرادیت تیتان دار حضور داشته است، و علاوه بر این، ایدوکراهای این نسل از رودینگیت‌ها نیز دارای تیتان قابل توجهی هستند.

۵- فراوانی کانیهای غنی از کلسیم در رودینگیت‌های منطقه نیز نشان می‌دهد که شارۀ مهاجم از نظر یون Ca^{2+} ابر اشباع بوده است.

دیواره سیاه دایک‌های رودینگیتی افیولیت انارک از کانیهای دیوپسید و کلریت تشکیل شده است که بیانگر وجود یک دیواره کلاسیک، و دگرگون شده در رخسارۀ شیبست سبز است. تعداد ۶ نمونه از کانیهای موجود در رگه‌های رودینگیتی نسل اول نیز پس از جداسازی، به همراه یک نمونه از دایک‌های رودینگیتی برای تعیین ترکیب و بررسی فراوانی عناصر کمیاب، به روش فعال‌سازی نوترونی آنالیز شد که نتایج آن در جدول شماره ۴ آورده شده است. با نگاهی به نتایج آنالیز حاصل از روش فعال‌سازی نوترونی می‌توان به فقیر بودن این سنگ‌ها از نظر عناصر کمیاب و ناسازگار پی‌برد.

جدول ۴ نتایج آنالیز یک دایک رودینگیتی، و کانی‌های رودینگیتی رگه‌ای از افیولیت شمال انارک با استفاده از روش فعال‌سازی نوترونی (NAA). (ppb): *

Ele./Sam.	Dike	Diopside	Diopside	Chlorite	Chlorite	Idocrase	Garnet
TiO ₂ %	۰/۱۰	۵/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۴
Al ₂ O ₃ %	۱۳/۵۹	۰/۵۳	۰/۳۶	۱۴/۵۷	۱۷/۰۱	۱۶/۴۱	۴/۵۴
Fe ₂ O ₃ *%	۴/۲۷	۳/۴۲	۴/۰۸	۷/۶۴	۱۰/۲۰	۴/۴۵	۲۶/۶۲
MnO%	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۳
MgO%	۱۰/۱۹	۱۲/۷۵	۱۲/۹۰	۲۶/۴۸	۲۴/۰۷	۵/۷۱	۱/۵۶
CaO%	۲۳/۱۰	۲۸/۰۸	۱۲/۳۴	۰/۳۵	۰/۶۹	۳۶/۸۳	۳۶/۶۷
Na ₂ O%	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۹
K ₂ O%	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۲
LOI%	۴/۰۵	۰/۱۲	۰/۱۸	۱۲/۱۰	۱۱/۹۱	-----	-----
Cr	۲۴۷	۵	۱۰	۲۱	۸	۳۵	۱۲
Ni	-----	۶۴	۵۵	۱۱۷	۱۸۲	-----	-----
Co	۴۱	۲۳	۱۸	۷۴	۷۰	۹	۱
Sc	۲۵	۴	۴	۱	۰/۲۶	۱۱	۲
V	۹۱	۱۲	۱۱	۴۴	۷	۳۶	۷۱
Zn	۱۶۴	۳۵	۱۴	۵۵	۱۰۳	۵۵	۳۰<
W	۰/۸۰	۰/۱۸	۰/۳۹	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۳	۳/۲۵
As	۰/۶۰	*۸۵	*۸۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷	*۸۳
Sb	۰/۰۸	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۸۴	۰/۵۷	۰/۴۸	۰/۲۸
Au	*۴	*۶	*۶	*۶	*۴۲	*۳	*۹
Rb	۲۰	۴	۴	۶	۶	۵	۱۵
Cs	۰/۹۰	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۴	۱
Ga	۵/۸۲	۰/۷۰	۰/۶۰	۵/۰۴	۸/۶۸	۴/۹۰	۳۰
Ta	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۶۰	۰/۴۰
Hf	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۵۹	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۴۹	۰/۵۰
Th	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۳	۱/۴۳	۰/۵۰

U	۰٫۲۵	۰٫۱۴	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۳۱
La	۱٫۲۸	۰٫۵۵	۰٫۴۲	۰٫۶۳	۰٫۳۹	۷٫۶۲	۰٫۰۵
Ce	۴٫۱۹	۰٫۵۰	۱٫۹۴	۰٫۶۰	۰٫۷۰	۱۲٫۵۶	۱٫۸۰
Pr	۷<	۲<	۱٫۷۰<	۳<	۲<	۲<	۷<
Nd	۱۵<	۴<	۴<	۴<	۴<	۵<	۱۱<
Sm	۰٫۵۱	*۵۸	۰٫۲۷	*۴۸	*۵۰	۰٫۶۵	*۹۴
Eu	۰٫۳۲	۰٫۰۵	*۶۶	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۹۰	۰٫۲۵
Gd	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۴۳	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۱٫۲۹	۰٫۱۷
Tb	۰٫۱۳	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۱۸
Dy	۰٫۴۶	۰٫۲۶	۰٫۲۷	۰٫۲۳	۰٫۲۹	۰٫۲۷	۰٫۴۰
Ho	۰٫۲۸	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۲۰	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۴۶
Tm	*۴۵	۰٫۱۳	*۳۰	*۹۳	۰٫۱۴	*۵۰	۰٫۲۶
Yb	۰٫۴۳	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۴۰	۰٫۱۵
Lu	*۷۶	*۷	*۳۰	*۸	*۹	*۶۷	*۳۱
Br	۰٫۴۵	۰٫۶۸	۰٫۷۰	۰٫۵۹	۰٫۶۴	۰٫۵۴	۰٫۹۹

برداشت

به نظر می‌رسد که سیر تشکیل و تکامل رودینگیتهای موجود در مجموعه افیولیتی شمال انارک چنین باشد:

- ۱- مرحله کافتن، تشکیل لیتوسفر اقیانوسی و نفوذ دایکها و توده‌های نفوذی به درون پوسته اقیانوسی در حین ادامه گسترش کافت.
 - ۲- سرپانتینی شدن سنگهای اولترامافیک، آزاد شدن یونهای همچون کلسیم و رودینگیتهی شدن دایکها و توده‌های نفوذی (رودینگیتهی شدن استاتیک)
 - ۳- حوادث زمین‌ساختی و جایگیری مجموعه افیولیتی، لغزش در طول مناطق راندگی و دایکهای رودینگیتهی، که باعث توسعه و تکامل رگه‌های رودینگیتهی شده، و حاکی از یک فعالیت هیدروترمال بعدی است (رودینگیتهی شدن دینامیک).
- بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد، شاره‌هایی که باعث تبدیل دایک‌های بازیک و توده‌های نفوذی گابرویی به رودینگیتهای توده‌ای، و نیز تشکیل رودینگیتهای رگه‌ای شده‌اند، از نظر یون Ca^{2+} ابر اشباع بوده‌اند. فعالیت یون‌های Fe ، Ca^{2+} و Cr^{3+} در شاره موجود رودینگیتهای توده‌ای، نسبت به شاره موجود رودینگیتهای رگه‌ای بالاتر بوده است، درحالی که در شاره موجود در رودینگیتهای رگه‌ای نسل اول، فعالیت یون‌های Si^{4+} ، Al^{3+} ، Ti^{4+} و OH^- بالاتر بوده است. در مورد رودینگیتهای رگه‌ای نسل دوم نیز می‌توان گفت که شبیه به رودینگیتهای رگه‌ای نسل اول بوده و تنها به دلیل عدم وجود ایدوگراز، و نبود Ti در ساختار آندرادیت، فعالیت یون‌های Fe ، Ti و Al نسبت به رودینگیتهای رگه‌ای نسل اول کمتر بوده است.

وجود دیواره سیاه با کانیهای دیوپسید و کلریت در دایک‌های رودینگیتی افیولیت انارک نیز بیانگر وجود یک منطقه واکنش در حاشیه دایک‌ها، و دگرگون شدن دایک‌ها در رخساره شیبست سبز است.

تشکر و قدردانی

نتایج حاصل از این بررسی، بخشی از رساله دکتری در دانشگاه تربیت مدرس است. از معاونت محترم پژوهشی دانشکده علوم پایه و دانشگاه تشکر می‌شود. آنالیزهای نقطه‌ای کانی‌ها نیز در مرکز تحقیقات مشترک دانشکده علوم زمین، دانشگاه کانازاوا ژاپن انجام شد. دکتر Elazieta Dubinska استاد دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه ورشو (لهستان)، و پروفسور K. Hatzipanagiotou استاد بخش زمین‌شناسی دانشگاه پاتراس (قبرس) نیز به خاطر در اختیار قرار دادن منابع علمی و نیز بحث‌های علمی، شایسته قدردانی هستند. از مسئول آزمایشگاه تهیه مقطع نازک آقای فیروزی، و نیز واحد نقلیه دانشگاه تربیت مدرس نیز تشکر می‌شود.

مراجع

- [1] Dubińska E., "Rodingites of the eastern part of Jordanów-Gogółów serpentinite massif (Lower Silesia, Poland)" *Canadian Mineralogist*, V. 33(3), (1995), 585-608.
- [2] Dubińska E. "Rodingites and amphibolites from the serpentinites surrounding Góry Sowie block (Lower Silesia, Poland), Record of supra-subduction zone magmatism and serpentinitization, Neues Jahrbuch für Mineralogie und Petrologie", *Abhandlungen*, V. 171(3), (1997), 239-279.
- [3] Dubinska E., Wiewiora A., "Layer silicates from a rodingite and its blackwall from Przemiłow (lower Silesia, Poland): mineralogical record of metasomatic processes during serpentinitization and serpentinite recrystallization", *Mineralogy and Petrology* **67** (1999) pp. 223-237.
- [4] Hatzipanagiotou K., Tsikouras B., Migiros G., Gartzos E., Serelis K., "Origin of rodingites in Ultramafic rocks from Lesbos Island (NE Aegean, Greece)", *Ofioliti* **28(1)** (2003) pp. 13-23.
- [5] Plyusnina L.P., Likhoidov G.G., Zaisky G.P., "Physico-chemical conditions of rodingite formation (experimental data)", *Petrology (Moscow)* **1** (1993) pp. 491-501.
- [6] Schandl E.S., O'Hanley D.S., Wicks F.J., "Fluid inclusions in rodingite: a geothermometer for serpentinitization", *Economic Geology* **85** (1990) pp. 1273-1276.
- [7] Hatzipanagiotou K., Tsikouras B., "Rodingite formation from diorite in the Samothraki ophiolite, NE Aegean, Greece", *Geological Journal* **36** (2001) pp. 93-109.

- [8] Lensch G., Davoudzadeh M., "Ophiolites in Iran", N. Jb. Geol. Palaont. Mh., Stuttgart (1982) pp. 306-320.
- [9] Likhoidov G.G., Plyusnina L.P., "Rodingites as a special case of water-rock interaction. In: *Water-Rock Interaction*", Balkema, Rotterdam (1995) pp. 805-808.
- [10] Irving A.J., Ashley P.M., "Amphibole-Olivine-Spinel, Cordierite-Anthophyllite and related hornfels associated with metamorphosed serpentinites in the Goobarragandra District, near Tamut, New South Wales", J. Geol. Soc. Aust. **23** (1976) pp. 19-43.
- [11] Reyer D., Mohafez S., "The first contribution of the NIOC-ERAP agreements to knowledge of Iranian geology", Edition techniq, Paris (1972) p. 58.
- [12] Davoudzadeh M., Amidi M., "Geological quadrangle map of Anarak 1/250,000", geological survey of Iran (unpublished) (1975).
- [13] Davoudzadeh M., Soffel H., Schmidt K., "On the rotation of the Central-East Iran microplate", N. Jb. Geol. Palaont. Mh. **3** (1981) pp. 180-192.
- [14] Irving A.J., Ashley P.M., "Amphibole-Olivine-Spinel, Cordierite-Anthophyllite and related hornfels associated with metamorphosed serpentinites in the Goobarragandra District, near Tamut, New South Wales", J. Geol. Soc. Aust. **23** (1976) pp. 19-43.
- [15] Technoexport, "Geology of the Anarak area (Central Iran)", Geological Survey of Iran, Report TE/No. 19 (1984).
- [16] Weber-Diefenbach K., Davoudzadeh M., Alavi-Tehrani N., Lensch G., "Paleozoic Ophiolites of Iran, geology, geochemistry and geodynamic implication", *Ofioliti* **11(3)** (1986) pp. 305-338.
- [۱۷] باقری ساسان، "بررسی زمین شناسی و پترولوژی سنگهای افیولیتی شمال انارک"، دانشگاه اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی (۱۳۷۳).
- [۱۸] پهلوان فلاح احمد، "بررسی پترولوژی سنگهای دگرگونی منطقه انارک"، دانشگاه اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی (۱۳۷۳).
- [19] Almasian M., "Tectonics of the Anarak area (Central Iran)", Islamic Azad University, Science and Research Unit., PhD thesis (1997).
- [۲۰] ترابی قدرت، "بررسی رودینگیتی شدن دینامیک و کانی شناسی آن در بخشی از سنگ های افیولیتی شمال انارک (شمال شرق استان اصفهان)"، فشرده مقالات هشتمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۷۹) صفحه ۳۵۷ تا ۳۶۱.
- [21] Sabzehei M., "Rodingitization in Iranian basic rocks: A new interpretation", Journal of sciences, Islamic republic of Iran **13(2)** (2002) pp. 155-160.
- [22] Dubinska E., "Clinzoisitic rodingites from Naslawice near Sobótka (Lower Silesia)", *Archiwum Mineralogiczne* **44** (1989) pp. 41-54.

[23] Palandri J.L., Reed M.H., “*Geochemical models of metasomatism in ultramafic systems: Serpentinization, rodingitization, and sea floor carbonate chimney precipitation*”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Papers in Press (W2114) (2003).