

دگرگونی هیدروترمال رگه‌ای گابروهای افیولیتی جندق (شمال شرق استان اصفهان)

قدرت ترابی

گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

چکیده

افیولیت جندق در زیر دگرگونه‌هایی از جنس مرمر و شیست قرار دارد. این مجموعه افیولیتی قدیمی فازهای مختلفی از سرپانتینی شدن و دگرگونی را تحمل نموده است. در این همیافت سنگی، دایک‌های گابرویی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته را قطع نموده‌اند. درز و شکاف‌های موجود در دایک‌های شکننده گابرویی توسط رگه‌های روشن رنگ پر شده است. رگه‌های موجود در دایک‌های گابرویی بعد از دگرگونی و سرپانتینی شدن تشکیل گردیده‌اند. این سنگ‌های دانه درشت عاری از دگرشکلی و برگوارگی بوده و از کانی‌های کلسیت، پرهنیت، گارنت، اپیدوت، کلینوپیروکسن و کلریت تشکیل گردیده‌اند. مهمترین مشخصه کانی‌شناسی این رگه‌ها رخداد و فراوانی قابل توجه کلسیت در آن است که بیانگر بالا بودن f_{CO_2} در سیال سازنده کانی‌های این رگه‌ها است. گابروهای دربرگیرنده رگه‌های فوق در مرحله اول در رخساره آمفیبولیت دگرگون شده (فشار ۲/۷ تا ۹ کیلوبار، و دمای ۶۳۰ تا ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد) و سپس یک دگرگونی برگشتی در رخساره شیست سبز را نیز پشت سر نهاده‌اند.

واژه‌های کلیدی: افیولیت جندق، پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته، گابرو، دگرگونی.

Vein Hydrothermal Metamorphism of Jandaq Ophiolitic Gabbros (NE of Isfahan Province)

Gh. Torabi

Geology Department, The University of Isfahan

Abstract

Jandaq ophiolite suites are covered by metamorphic rocks that are marbles and schists. This old ophiolitic association has passed different phases of serpentinization and metamorphism. In this rock association, gabbroic dikes cross cut the serpentinized mantle peridotites. Joints and cracks of brittle gabbroic dikes are filled by veins that are light in color. These veins are formed after metamorphism and serpentinization. These coarse grain rocks are free from deformation and foliation, and are formed by calcite, prehnite, epidote, clinopyroxene and chlorite. The most important mineralogical characteristic of these veins is existence and considerable amount of calcite, that is the evidence of high f_{CO_2} in minerals bearing fluid. Vein enclosing gabbros, are metamorphosed in amphibolite facies (2.7 to 9 kbar pressure and 630 to 750 of C temperature), and then pass through a retrograde metamorphism in green schist facies.

Keywords: Jandaq ophiolite, serpentinized mantle peridotites, dynamic rodingite, metamorphism

مقدمه

گابرویی هستند نیز ممکن است در ارتباط با چنین پدیده‌ای باشد.

در این مقاله به بررسی رودینگیتی شدن گابروها، تشکیل رگه‌هایی در آنها پس از رخداد دگرگونی در افیولیت جندق، سرپانتینی شدن پریدوتیت‌های گوشته، و نفوذ گابروها پرداخته خواهد شد.

رودینگیت‌ها سنگ‌هایی غنی از کلسیم و فقیر از آلکالی هستند که از نظر SiO_2 زیر اشباع بوده و از کانیهای همچون هیدروگارت، ایدوکراز، دیوپسید، پرهنیت، زنوتلیت، ولستونیت، اپیدوت، کلریت، اسفن و ترمولیت-اکتینولیت تشکیل گردیده اند. این سنگ‌ها اغلب بصورت دایک و قطعات سنگی در درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته دیده می‌شوند.

سرپانتینی شدن الیوین‌ها و پیروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌ها باعث آزاد شدن یون کلسیم گردیده که این یون‌ها در ساختار کریستالی کانی‌های گروه سرپانتین پذیرش نمی‌شوند [3 و 4].

ورود دایک‌ها و توده‌های نفوذی گابرویی به درون پریدوتیت‌های گوشته سالم و دست نخورده^۱ باعث انجام واکنش خاصی نمی‌گردد [1] اما در افیولیت‌هایی که فازهای متعددی از نفوذ گابروها و دایک‌های گابرویی را دارا هستند، اگر نفوذ آخرین فاز گابرویی همزمان با سرپانتینی شدن پریدوتیت‌های گوشته باشد، دایک‌ها و توده‌های نفوذی گابرویی، و قطعات سنگی که از قبل در درون پریدوتیت‌های گوشته وجود داشته اند تبدیل به رودینگیت خواهند شد [2 و 3].

ورود گابروها به درون سرپانتینیت‌ها و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته نیز باعث انجام واکنش‌هایی گسترده گردیده و سنگ‌هایی همچون تروکتولیت، پریدوتیت‌های پلاژیوکلازدار، ورلیت و کلینوپیروکسنیت در مرز آن دو تشکیل خواهد شد [4].

وجود برخی از دایک‌های پیروکسنیتی در درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته که دارای مغزه

¹ -Fresh

ضخامت قابل توجهی از سنگ های دگرگونی شامل شیست و مرمر با سن کامبرین (؟) این مجموعه افیولیتی را می پوشاند. زمین شناسان روسی در پروژه تکنواکسپورت این مجموعه افیولیتی را یک "متافیولیت" نام نهاده اند [۱۰].

توده های نفوذی گرانیتی با سن ژوراسیک میانی این مجموعه افیولیتی و دگرگونه های روی آن را قطع نموده اند. موقعیت افیولیت جندق در نقشه افیولیت های ایران و همچنین نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه مورد بررسی در شکل های شماره ۱ و ۲ آورده شده است.

افیولیت جندق چندین فاز سرپانتینی شدن استاتیک و دینامیک را در حین تشکیل، جایگیری و فعالیت های تکتونیکی پشت سر نهاده است. در این افیولیت دایک های گابرویی متعددی در درون پریدوتیت های سرپانتینی شده وجود دارند که در شرایط رخساره آمفیولیت دگرگون شده اند.

درز و شکاف های این دایک های گابرویی توسط رگه هایی از کانی های مختلف پر شده است. این رگه ها شباهت بسیار زیادی به رودینگیت های دینامیک دارند [۱۲ و ۱۳]. تصاویر صحرایی افیولیت جندق و رگه های موجود در دایک های گابرویی در شکل شماره ۳ آورده شده است. در این نوشته دایک های گابرویی، رگه ای موجود در آنها، و شرایط دما و فشار دگرگونی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

بنابراین با پیشرفت سرپانتینی شدن پریدوتیت ها، مقدار این یون در سیالاتی که همراه با سرپانتینی شدن دیده می شوند افزایش یافته و پس از فوق اشباع شدن، در اثر واکنش با سنگ هایی که دارای کانی های مافیک کمتری هستند باعث تشکیل کانی های غنی از کلسیم می شوند.

به این پدیده که باعث افزایش مقدار کانی های غنی از کلسیم در درون دایک ها، توده های نفوذی و قطعات سنگی موجود در پریدوتیت های سرپانتینی می شود رودینگیتی شدن می گویند و سنگ حاصل از آن نیز رودینگیت نامیده می شود.

این پدیده اغلب در دماهای کمتر از ۵۰۰ درجه سانتی گراد رخ داده و همزمان با سرپانتینی شدن پریدوتیت ها صورت می گیرد [5, 6, 7 و 8]. از بین سنگ های مختلفی که درگیر پدیده رودینگیتی شدن می شوند می توان به گری وک، گابرو، بازالت، گرانیت، داسیت، شیل، و آمفیولیت اشاره نمود [2].

تشکیل رودینگیت یکی از پدیده های فرعی حاصل از سرپانتینی شدن بوده و گاهی در همراهی با حرکات تکتونیکی، جایگیری افیولیت ها و پدیده دگرگونی می باشد [2 و 9].

افیولیت جندق در شمال شرق استان اصفهان قرار داشته و از سرپانتینیت، پریدوتیت های سرپانتینی شده گوشته، گابرو، پیروکسنیت، آمفیولیت، دایک های آمفیولیتی، رودینگیت و لیستونیت تشکیل شده است.

روش انجام کار

پس از بررسی های صحرایی به منظور مطالعه میکروسکوپی و دسترسی به ترکیب شیمیایی کانی‌ها از دایک‌های گابرویی و رگه‌های موجود در آنها، نمونه برداری صورت گرفت و پس از تهیه مقاطع نازک صیقلی نمونه‌های مناسب با استفاده از دستگاه آنالیز نقطه‌ای الکترون میکروپروب JEOL مدل (WDS) JXA-8800 دانشگاه کانازاواای ژاپن با ولتاژ شتاب دهنده 20 kV و جریان 12 nA مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول های شماره ۱ تا ۴ آورده شده است.

در محاسبه مقدار Fe^{3+} جهت دسترسی به فرمول ساختاری کانی‌ها نیز از استوکیومتری کانی‌ها استفاده گردید [14]. فاکتور Ps که در مورد اپیدوت‌ها بدست آمده نشان دهنده درصد مولکول‌های پیستاسیت^۱ بوده که بصورت $Ps\% = 100 * Fe^{3+} / (Alvi + Fe^{3+})$ محاسبه می‌شود.

پetroگرافی و شیمی کانی‌ها

دایک‌های گابرویی: این دایک‌ها، پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته افیولیت جندق را که بیشتر لرزولیت و هارزبورگیت هستند در چندین نقطه قطع نموده اند.

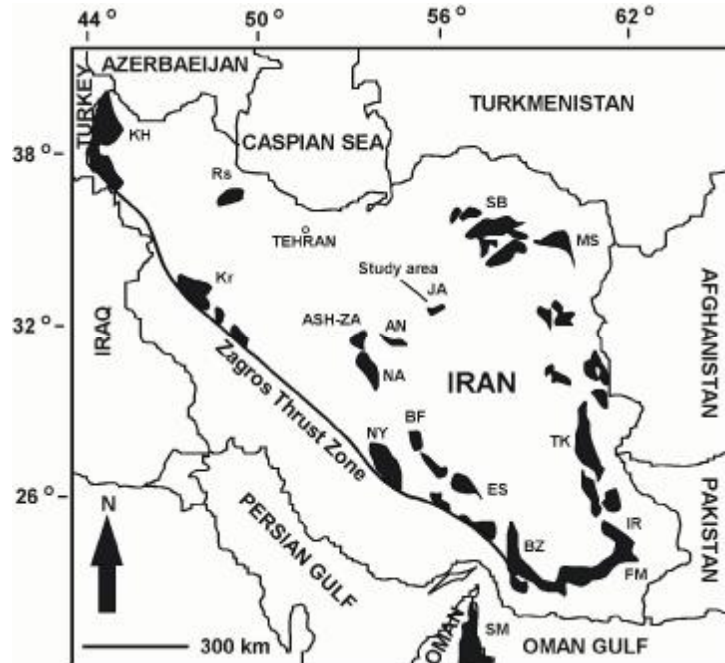
این دایک‌ها از کانی‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول، اسفن، پرهنیت، اپیدوت، کلسیت

و مگنتیت تشکیل شده اند (شکل شماره ۴). برگوارگی این سنگ‌ها در نمونه دستی و بررسی های صحرایی مشخص بوده اما به طور کامل توسعه نیافته است. درز و شکاف های دایک های گابرویی توسط رگه های روشن رنگ پر شده است.

نوع کلینوپیروکسن موجود در دایک های گابرویی، دیوپسید با $Mg\# = 0.84$ می باشد. آمفیبول های موجود در دایک های گابرویی دارای طیف ترکیبی گسترده ای بوده و از نوع هورنبلند منیزیم دار، هورنبلند اکتینولیتی، شرماکیت و اکتینولیت هستند (شکل شماره ۵).

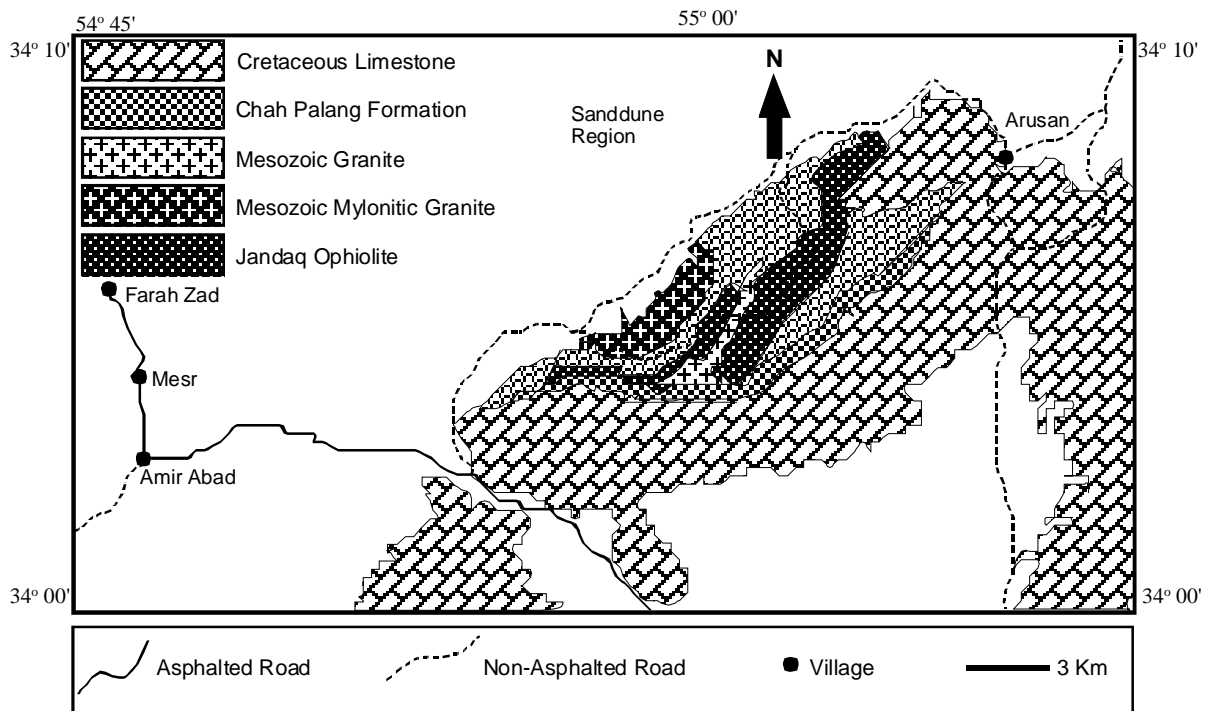
بررسی های پتروگرافی نشان می دهد که اکتینولیت ها از دگرگونی برگشتی هورنبلند ها و شرماکیت ها بوجود آمده اند. پلاژیوکلازها نیز همچون آمفیبول ها دارای محدوده ترکیبی گسترده ای از لابرادوریت تا الیگوکلاز هستند (شکل شماره ۶). پلاژیوکلازهای اولیه دارای ترکیب لابرادوریت بوده اند اما در اثر پدیده هایی همچون دگرگونی برگشتی و یا دگرگونی کف اقیانوس تبدیل به پلاژیوکلازهای سدیک تر و پرهنیت گشته اند. وجود اپیدوت در این سنگ ها نیز تأیید کننده مطلب فوق است.

¹ - Pistacite Molecule

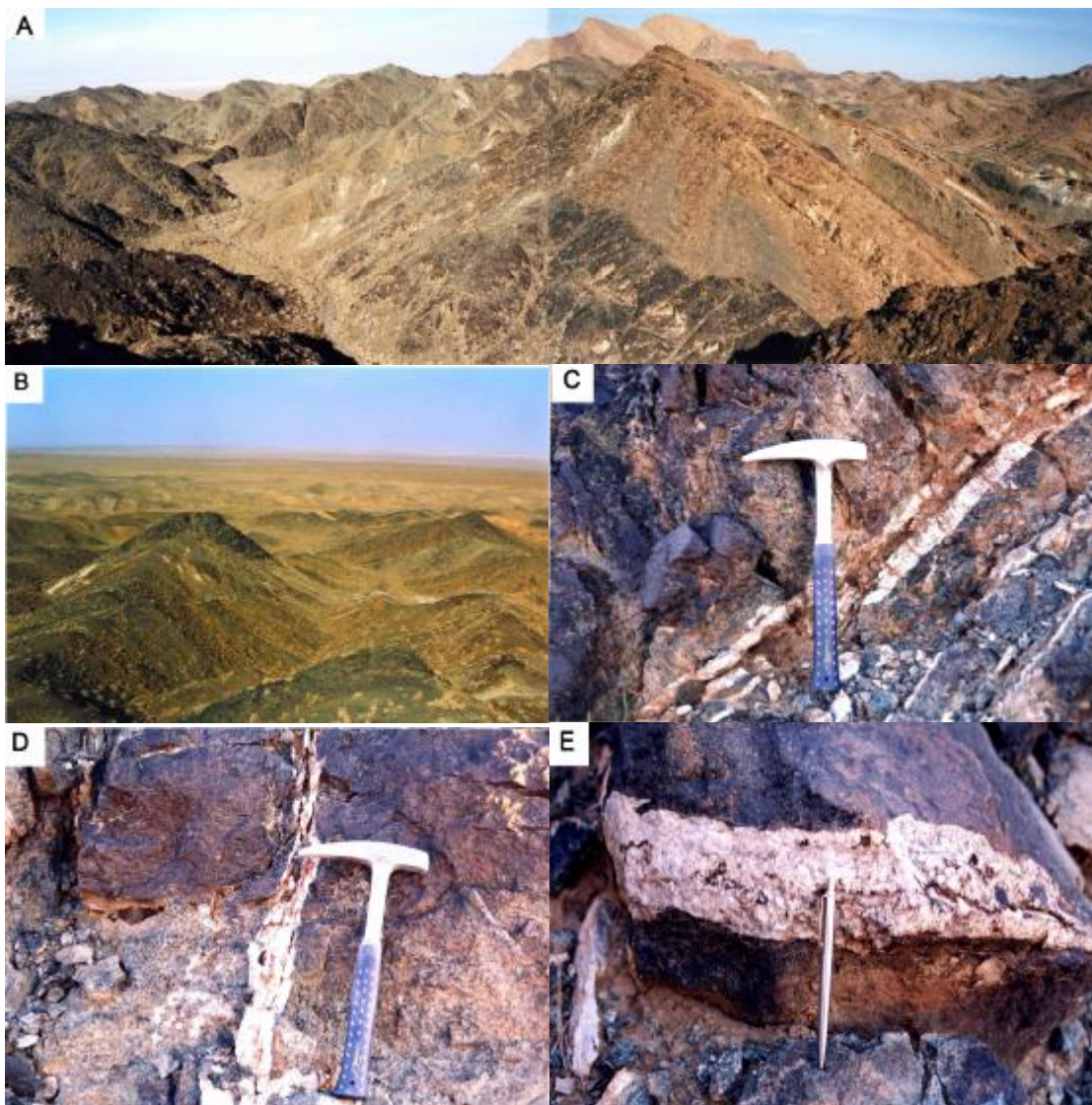


شکل شماره ۱: نقشه افیولیت‌های ایران و موقعیت افیولیت جندق، برگرفته از [11]، با تغییرات در مورد افیولیت‌های انارک و جندق.

KH = Khoy; KR = Kermanshah; NY = Neyriz; BZ = Band Ziarat; NA = Naein;
 BF = Baft; ES = Esphandagheh; FM = Fanuj-Maskutan; IR = Iranshahr;
 TK = Tchhel Kureh; MS = Mashhad; SB = Sabzevar; RS = Rasht; SM = Samail; ASH-ZA = Ashin-Zavar; AN = Anarak; JA = Jandaq



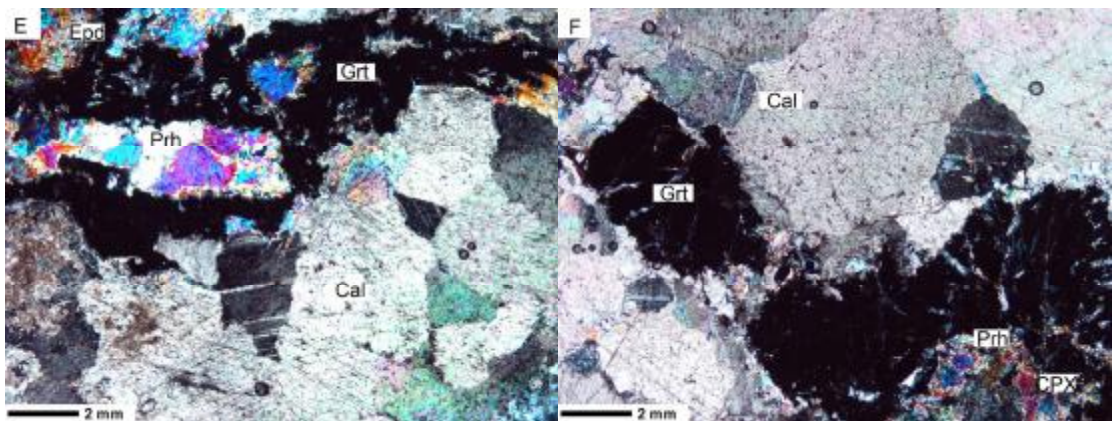
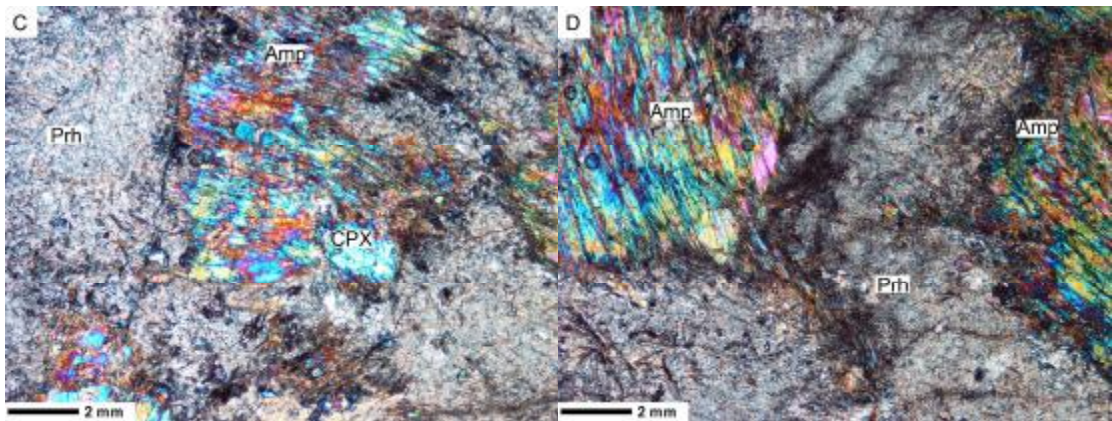
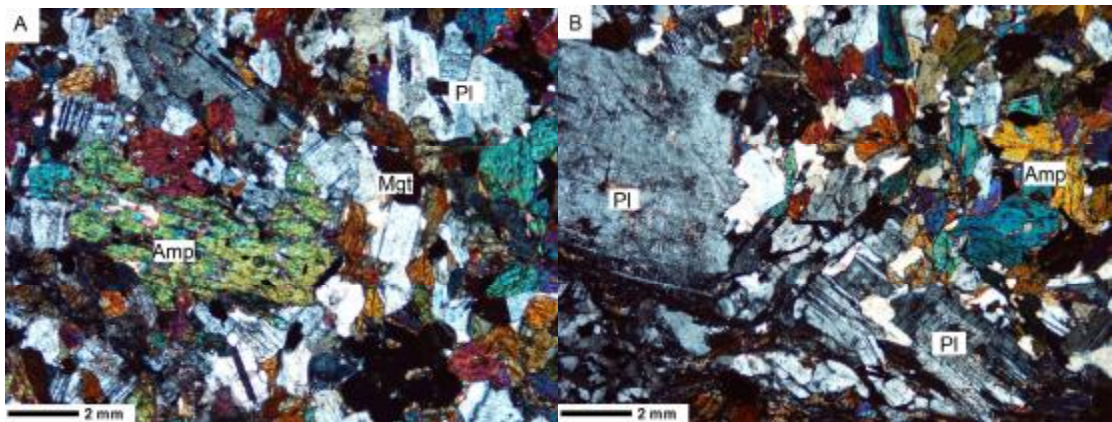
شکل شماره ۲: نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه.

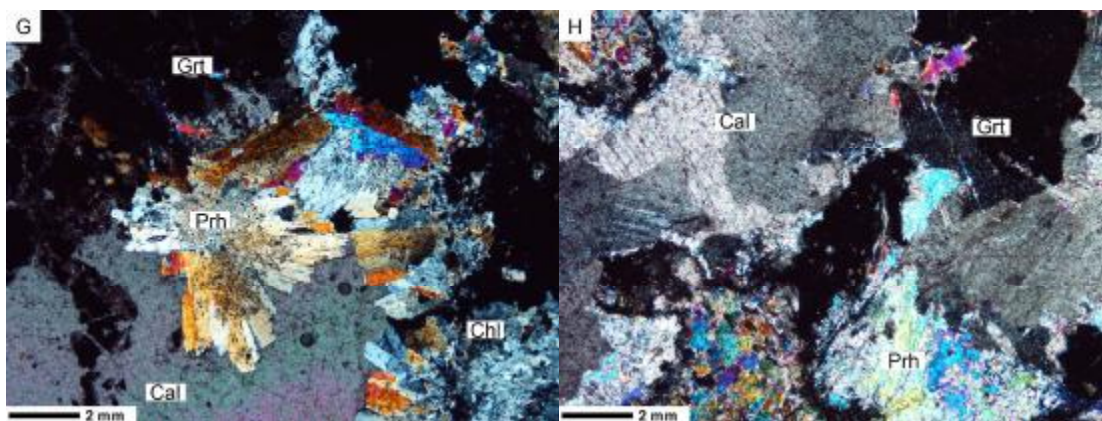


شکل شماره ۳: تصاویر صحرایی افیولیت جندق (A, B) و رگه‌های روشن موجود در دایک‌های گابروی (C, D, E, F).

بافت این سنگ‌ها گرانوبلاستیک و پوئی کیلوبلاستیک می‌باشد. ترتیب فراوانی کانی‌های رودینگیتی از بیشترین به کمترین فراوانی بصورت کلسیت، پرهنیت، گارنت، اپیدوت، کلینوپیروکسن و کلریت است. بررسی‌های پتروگرافی نشان می‌دهد که کلسیت آخرین کانی متبلور شده بوده و قبل از آن نیز گارنت تشکیل گردیده است.

رگه‌های موجود در دایک‌های گابروی: این سنگ‌ها بصورت رگه‌هایی روشن با کانی‌های درشت در درون درز و شکاف‌های دایک‌های گابروی دیده می‌شوند. ضخامت این رگه‌ها به ۲۵ سانتی متر می‌رسد. بررسی‌های پتروگرافی و صحرایی نشان از وجود تنها یک فاز رگه‌ای در این دایک‌ها دارد. این رگه‌ها از کانی‌های کلینوپیروکسن، پرهنیت، گارنت، اپیدوت، کلسیت و کلریت تشکیل گردیده‌اند (شکل شماره ۴).





شکل شماره ۴: تصویر میکروسکوپی دایک‌های گابرویی (A, B)، گابروهای رودینگیتی دگرگون (C, D)، و رگه‌های موجود در درون دایک‌های گابرویی (E, F, G, H) افیولیت جندق.

جدول شماره ۱: نتایج آنالیز نقطه‌ای آمفیبول‌های موجود در دایک‌های گابرویی افیولیت جندق به همراه نتایج محاسبه فرمول ساختاری آنها.

Sample	751	751	751	624	624	624	624-1	628	633	640
Analysis	22	24	24_1	24	26	28	60	30	32	50
Location	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro
Mineral	Amphibole	Amphibole	Amphibole	Amphibole	Amphibole	Amphibole	Amphibole	Amphibole	Amphibole	Amphibole
SiO ₂	54.90	49.44	54.74	42.79	42.56	41.62	46.70	51.07	52.03	41.53
TiO ₂	0.10	0.51	0.08	0.54	0.58	0.41	1.38	0.47	0.19	0.66
Al ₂ O ₃	1.63	7.49	1.82	15.85	15.33	16.42	9.45	5.44	7.00	14.04
Cr ₂ O ₃	0.01	0.06	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.10	0.08	0.01
FeO*	7.84	10.69	7.13	16.54	16.70	16.56	16.95	11.70	7.16	18.80
MnO	0.08	0.22	0.20	0.38	0.41	0.37	0.49	0.29	0.23	0.48
MgO	18.70	15.97	19.58	9.30	9.48	8.71	11.16	15.68	17.41	8.34
CaO	12.80	12.42	12.91	10.48	10.57	10.76	10.62	12.09	12.15	11.12
Na ₂ O	0.44	1.23	0.38	1.86	1.69	1.93	1.19	0.71	0.68	1.67
K ₂ O	0.01	0.10	0.05	0.39	0.40	0.42	0.49	0.38	0.06	1.10
NiO	0.06	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01
Total	96.58	98.17	96.94	98.13	97.73	97.23	98.43	97.96	97.00	97.76
Oxygen	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	7.81	7.01	7.71	6.19	6.18	6.12	6.74	7.27	7.30	6.20
Ti	0.01	0.05	0.01	0.06	0.06	0.05	0.15	0.05	0.02	0.07
Al	0.27	1.25	0.30	2.70	2.62	2.84	1.61	0.91	1.16	2.47
Cr	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Fe ³⁺	0.06	0.47	0.25	0.96	1.05	0.81	0.91	0.48	0.34	0.74
Fe ²⁺	0.87	0.80	0.60	1.04	0.98	1.23	1.14	0.91	0.50	1.60
Mn	0.01	0.03	0.02	0.05	0.05	0.05	0.06	0.04	0.03	0.06
Mg	3.97	3.38	4.11	2.01	2.05	1.91	2.40	3.33	3.64	1.86
Ca	1.95	1.89	1.95	1.62	1.65	1.70	1.64	1.84	1.83	1.78
Na	0.12	0.34	0.10	0.52	0.48	0.55	0.33	0.20	0.19	0.48
K	0.00	0.02	0.01	0.07	0.07	0.08	0.09	0.07	0.01	0.21
Ni	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	15.08	15.25	15.06	15.22	15.20	15.32	15.07	15.11	15.02	15.47
Name	Actinolite	Magnesian-Hornblende	Actinolite	Tschermakite	Tschermakite	Tschermakite	Magnesian-Hornblende	Actinolitic-Hornblende	Actinolitic-Hornblende	Tschermakite
Mg#	0.82	0.81	0.87	0.66	0.68	0.61	0.68	0.79	0.88	0.54

جدول شماره ۲: نتایج آنالیز نقطه ای پلاژیوکلاز های موجود در دایک های گابرویی افیولیت جندق به همراه نتایج محاسبه فرمول ساختاری آنها.

Sample	751	751	754	754	624	624	624-1	628	629	629	633	634-1	640	640
Analysis	23	25	570	571	25	27	61	29	35	37	31	42	49	51
Location	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro
Mineral	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag	Plag
SiO ₂	62.11	59.50	60.46	61.54	55.93	55.68	58.40	60.03	54.92	55.31	54.52	58.79	60.45	57.26
TiO ₂	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00
Al ₂ O ₃	23.78	25.25	24.02	23.63	27.83	28.59	26.61	26.09	28.73	28.51	29.48	25.66	24.92	27.36
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.05
FeO*	0.13	0.08	0.10	0.09	0.12	0.04	0.03	0.07	0.11	0.12	0.02	0.00	0.13	0.22
MnO	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01
MgO	0.01	0.00	0.01	0.03	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.09	0.10
CaO	5.16	6.73	5.20	5.09	7.90	10.13	7.89	7.15	10.35	10.12	11.22	7.23	3.95	6.83
Na ₂ O	9.09	7.69	8.06	8.75	5.98	5.70	6.94	7.39	5.62	5.88	5.30	7.69	8.10	6.64
K ₂ O	0.03	0.00	0.10	0.03	0.92	0.07	0.12	0.08	0.10	0.09	0.04	0.06	1.52	1.16
NiO	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Total	100.33	99.27	97.95	99.20	98.75	100.22	100.01	100.84	99.83	100.07	100.61	99.49	99.22	99.63
Oxygen	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.75	2.67	2.73	2.75	2.54	2.50	2.61	2.65	2.48	2.49	2.45	2.64	2.71	2.58
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.24	1.33	1.28	1.24	1.49	1.51	1.40	1.36	1.53	1.51	1.56	1.36	1.32	1.45
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Ca	0.25	0.32	0.25	0.24	0.39	0.49	0.38	0.34	0.50	0.49	0.54	0.35	0.19	0.33
Na	0.78	0.67	0.71	0.76	0.53	0.50	0.60	0.63	0.49	0.51	0.46	0.67	0.71	0.58
K	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.09	0.07
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	5.02	5.00	4.98	5.00	5.00	5.00	4.99	4.99	5.01	5.01	5.01	5.02	5.02	5.02
Ab	75.90	67.40	73.20	75.50	54.60	50.30	61.00	64.90	49.30	51.00	46.00	85.60	71.80	59.40
An	23.90	32.60	26.10	24.30	39.90	49.30	38.30	34.60	50.10	48.50	53.80	34.10	19.30	33.70
Or	0.20	0.00	0.60	0.20	5.50	0.40	0.70	0.50	0.60	0.50	0.20	0.30	8.90	6.90
Name	Olig	And	Olig	Olig	And	And	And	And	Lab	And	Lab	And	Olig	And

بیشتر از کلینوپيروكسن های موجود در رگه ها است (شکل های شماره ۷ و ۸).

بحث

اگر توده های نفوذی گابرویی به درون پریدوتیت- های گوشته که در حال سرپانتینی شدن هستند وارد شوند رودینگیته خواهند شد. به این گونه از رودینگیته- ها که در زمان تولید و گسترش پوسته اقیانوسی بوجود می آیند رودینگیته های توده ای می گویند. در حالی که تشکیل رودینگیته های رگه ای مربوط به زمان جایگیری و یا فعالیت های تکتونیکی و دگرگونی بوده و همزمان با

نوع کلینوپيروكسن های موجود در رگه ها، دیوپسید با $Mg\# = 0.77$ می باشد. گارنت ها از نوع گروسولار-

آندرادیت بوده و مقدار AlIV آنها در حد صفر می باشد. مقدار درصد مولکول پیستاسیت در اپیدوت های رودینگیته ها (۲۵%) به مقدار آن در اپیدوت های گابروها (۲۳%) نزدیک است.

کلینوپيروكسن های موجود در دایک های گابرویی و رگه ها هر دو از نوع دیوپسید هستند اما MgO و SiO₂ کلینوپيروكسن های موجود در دایک های گابرویی

توده‌ای موجود در این افیولیت و ترکیب کانی شناسی آنها نمی‌توان مطالبی قطعی ارائه نمود.

گابروهای رودینگیتی دگرگون این افیولیت دارای جهت یافتگی می‌باشند که در شکل شماره ۴ (C, D) مشخص است. رگه‌هایی که در درون درز و شکاف‌های دایک‌های گابرویی افیولیت جندق دیده می‌شوند بعد از دگرگونی تشکیل گردیده‌اند چرا که هیچ‌گونه برگوارگی یا دگرشکلی از خود نشان نمی‌دهند.

با استفاده از تجزیه شیمیایی یک گابرو و مقایسه آن با نتایج آنالیز یک گابروی رودینگیتی می‌توان مشخص نمود که آیا در هنگام رودینگیتی شدن، Ca از خارج وارد شده یا گارنت‌ها به خرج کلسیم کلینوپیروکسن‌ها و آلومینیوم آنورتیت‌ها بوجود آمده‌اند.

اما انجام این کار در این افیولیت میسر نمی‌باشد چرا که فازهای گابرویی متعددی پریدوتیت‌های این افیولیت را قطع نموده، گابروهای رودینگیتی بعد از رودینگیتی شدن دگرگون شده‌اند، و علاوه بر آن یافتن گابرویی که بخش‌هایی از آن رودینگیتی و بخش‌هایی از آن سالم باشد میسر نمی‌باشد.

سرپانتینی شدن دینامیک تشکیل می‌گردند. رودینگیت-های رگه‌ای (دینامیک) جوان‌تر از رودینگیت‌های توده‌ای (استاتیک) هستند.

رودینگیتی شدن‌های استاتیک و دینامیک در تطابق کامل با سرپانتینی شدن‌های استاتیک و دینامیک هستند. هنگام سرپانتینی شدن دینامیک، دایک‌های بازیک که بسیار شکننده هستند به شدت دچار دگرشکلی شده و یک گرادیان نفوذ پذیر بین سرپانتینیت‌های پلاستیک و دایک‌های بازیک شکننده ایجاد می‌شود که باعث هجوم سیالات 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.

با توجه به رخداد چندین فاز سرپانتینی شدن، نفوذ دایک‌های گابرویی، و دگرگونی در افیولیت جندق، پدیده تشکیل رودینگیت‌های توده‌ای در این افیولیت قابل انتظار است.

اما از آنجایی که این گابروها بعد از رودینگیتی شدن در رخساره آمفیبولیت نیز دگرگون گردیده‌اند و در اثر این دگرگونی، کانی‌های رودینگیتی از بین رفته و یا دچار تغییر در ترکیب شده‌اند لذا در مورد رودینگیت‌های

جدول شماره ۳: نتایج آنالیز نقطه ای گارنت ها و پرهنیت های موجود در رگه های دایک های گابرویی افیولیت جندق به همراه نتایج محاسبه فرمول ساختاری آنها.

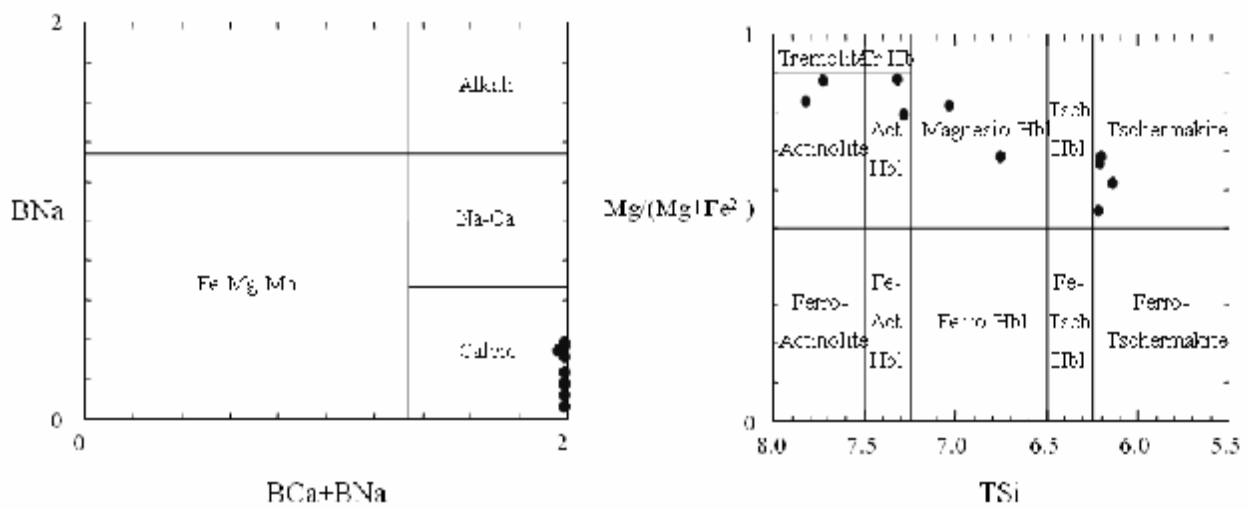
Sample	751	754	754	754	Sample	754	754	754
Analysis	20	578	579	580	Analysis	575	576	581
Location	Vein	Vein	Vein	Vein	Location	Vein	Vein	Vein
Mineral	Garnet	Garnet	Garnet	Garnet	Mineral	Prehnite	Prehnite	Prehnite
SiO ₂	39.16	39.33	37.91	38.33	SiO ₂	43.97	43.58	43.73
TiO ₂	0.00	0.05	0.05	0.10	TiO ₂	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	19.30	18.08	14.59	16.29	Al ₂ O ₃	23.27	24.03	23.90
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.00	0.00	Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.01
FeO*	5.03	6.01	12.84	10.92	FeO*	0.13	0.02	0.87
MnO	0.09	0.07	0.11	0.09	MnO	0.03	0.00	0.00
MgO	0.07	0.11	0.08	0.10	MgO	0.01	0.00	0.00
CaO	36.19	35.25	33.07	33.03	CaO	25.04	26.51	25.91
Na ₂ O	0.00	0.03	0.06	0.00	Na ₂ O	0.15	0.06	0.01
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.01	K ₂ O	0.03	0.03	0.01
NiO	0.00	0.06	0.00	0.00	NiO	0.00	0.00	0.01
Total	99.84	99.00	98.73	98.87	Total	92.64	94.24	94.44
Oxygen	12	12	12	12	Oxygen	11	11	11
Si	2.98	3.03	2.98	3.00	Si	3.12	3.04	3.05
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	Ti	0.00	0.00	0.00
Al ^{IV}	0.02	0.00	0.02	0.00	Al	1.95	1.97	1.96
Al ^{VI}	1.71	1.64	1.34	1.50	Cr	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.30	0.29	0.68	0.49	Fe ²⁺	0.01	0.00	0.05
Fe ²⁺	0.02	0.10	0.17	0.22	Mn	0.00	0.00	0.00
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	Mg	0.00	0.00	0.00
Mg	0.01	0.01	0.01	0.01	Ca	1.90	1.98	1.94
Ca	2.95	2.91	2.79	2.77	Na	0.02	0.01	0.00
Na	0.00	0.00	0.01	0.00	K	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	Ni	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	Sum	7.00	7.00	7.00
Sum	8.00	8.00	8.00	8.00				
Alm	0.72	3.35	0.00	7.41				
And	14.86	14.79	27.59	24.65				
Gross	83.98	81.10	71.81	67.35				
Pyrope	0.26	0.43	0.33	0.39				
Spess	0.18	0.16	0.26	0.20				
Uvaro	0.00	0.02	0.00	0.00				

جدول شماره ۴: نتایج آنالیز نقطه ای کلینوپیروکسن ها، اپیدوت ها و کلسیت موجود در رگه ها و دایک های گابرویی افیولیت جندق به همراه نتایج محاسبه فرمول ساختاری.

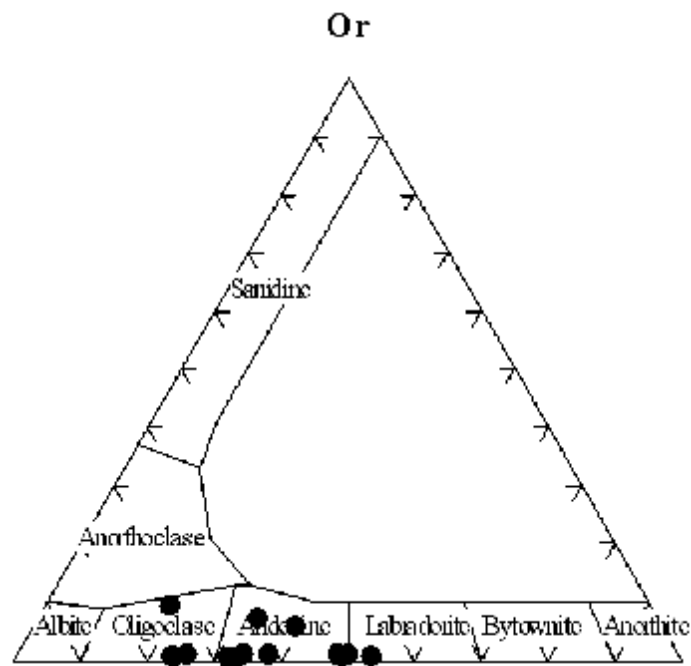
Sample	751	751	751	754	754
Analysis	21	26	27	572	574
Location	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Vein	Vein
Mineral	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX
SiO ₂	53.54	54.07	53.30	52.81	51.86
TiO ₂	0.04	0.00	0.00	0.09	0.05
Al ₂ O ₃	0.74	0.77	0.31	0.80	0.52
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04
FeO*	6.93	6.99	6.92	7.84	8.00
MnO	0.17	0.11	0.22	0.18	0.26
MgO	14.65	15.22	14.61	13.44	13.31
CaO	23.65	24.37	24.48	23.63	23.63
Na ₂ O	0.36	0.40	0.14	0.37	0.27
K ₂ O	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
Total	100.07	101.90	100.01	99.22	97.94
Oxyg.	6	6	6	6	6
Si	1.98	1.96	1.98	1.98	1.97
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.02	0.03	0.01	0.04	0.02
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.04	0.08	0.05	0.03	0.05
Fe ²⁺	0.18	0.13	0.17	0.22	0.21
Mn	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Mg	0.81	0.82	0.81	0.75	0.76
Ca	0.94	0.95	0.97	0.95	0.96
Na	0.03	0.03	0.01	0.03	0.02
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
WO	47.70	47.71	48.59	48.63	48.62
EN	41.11	41.45	40.34	38.48	38.12
FS	11.19	10.84	11.07	12.89	13.27
WEF	97.39	97.15	98.96	97.30	97.97
JD	0.60	0.00	0.00	1.06	0.00
AE	2.01	2.86	1.04	1.64	2.03
Name	Diopside	Diopside	Diopside	Diopside	Diopside
Mg#	0.82	0.86	0.83	0.77	0.78

Sample	640	640	754	754
Analysis	48	52	573	577
Location	Gabbro	Gabbro	Vein	Vein
Mineral	Epidoite	Epidoite	Epidoite	Epidoite
SiO ₂	38.36	38.65	37.12	39.12
TiO ₂	0.12	0.10	0.01	0.23
Al ₂ O ₃	24.98	25.27	24.32	20.81
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.02
FeO*	10.54	9.71	10.17	10.95
MnO	0.26	0.22	0.04	0.15
MgO	0.05	0.15	0.04	0.11
CaO	22.49	22.34	22.62	26.29
Na ₂ O	0.02	0.00	0.02	0.05
K ₂ O	0.01	0.02	0.02	0.00
NiO	0.01	0.00	0.00	0.02
Total	96.84	96.46	94.35	97.74
Oxyg.	12.5	12.5	12.5	12.5
Si	3.02	3.05	3.01	3.10
Al	2.32	2.34	2.32	1.94
Ti	0.01	0.01	0.00	0.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.69	0.64	0.69	0.73
Mn	0.02	0.02	0.00	0.01
Mg	0.01	0.02	0.01	0.01
Ca	1.90	1.89	1.96	2.23
Na	0.00	0.00	0.00	0.01
K	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	1.93	1.92	1.98	2.26
Ps	23%	21%	23%	27%

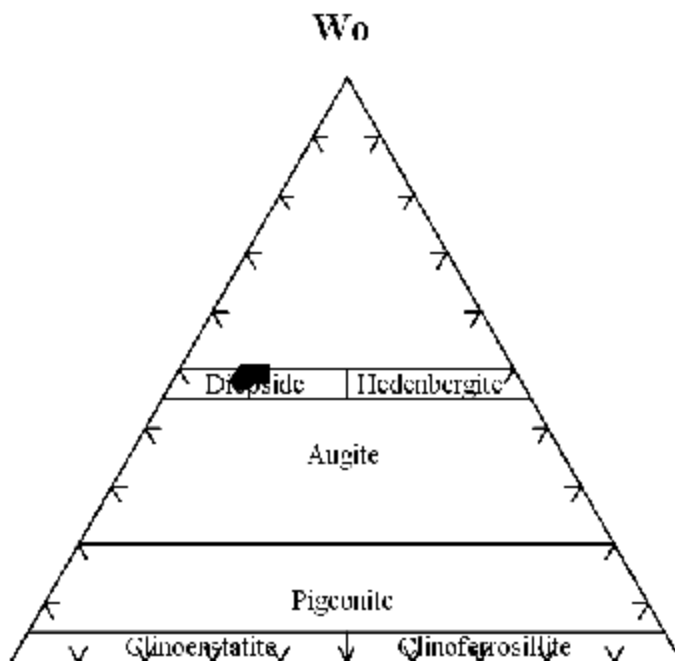
Sample	751
Analysis	25
Location	Vein
Mineral	Calciite
SiO ₂	0.00
TiO ₂	0.02
Al ₂ O ₃	0.02
Cr ₂ O ₃	0.00
FeO*	0.05
MnO	0.04
MgO	0.01
CaO	56.44
Na ₂ O	0.06
K ₂ O	0.00
NiO	0.00
Total	56.64
Oxyg.	3
Si	0.00
Ti	0.00
Al	0.00
Cr	0.00
Fe ³⁺	0.00
Fe ²⁺	0.00
Mn	0.00
Mg	0.00
Ca	1.00
Na	0.00
K	0.00
Ni	0.00
Sum	1.00



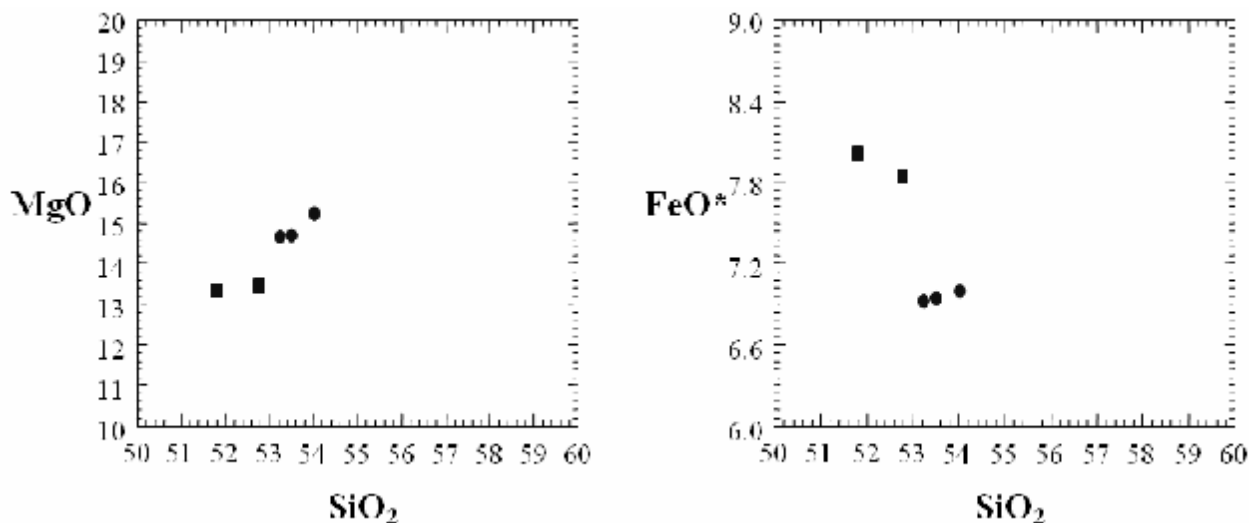
شکل شماره ۵: موقعیت ترکیبی آمفیبول های موجود در دایک های گابرویی در دیاگرام های تقسیم بندی آمفیبول ها.



شکل شماره ۶: موقعیت ترکیبی پلاژیوکلازهای موجود در دایک های گابرویی در دیاگرام های تقسیم بندی پلاژیوکلاز ها.



شکل شماره ۷: موقعیت کلینوپیروکسن‌های موجود در دایک‌های گابرویی (دایره) و رگه‌های موجود در آنها (مربع) در دیاگرام تقسیم بندی پیروکسن‌ها.



شکل شماره ۷: مقایسه کلینوپیروکسن‌های موجود در دایک‌های گابرویی (دایره) و رگه‌های آنها (مربع) از نظر مقدار SiO₂، MgO و FeO*.

نوع کانی‌های موجود در رودینگیته‌ها به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیالات مهاجم، نوع پریدوتیت‌های در حال سرپانتینی شدن، و نیز ترکیب

در هر حال بررسی‌های (۳، ۸ و ۱۳) نشان داده است که کلسیم‌سازنده کانی‌های رودینگیته‌ها از سرپانتینی شدن الیون‌ها و پیروکسن‌ها بدست می‌آید.

۴- از خصوصیات بسیار جالب این مجموعه رگه ای حضور و فراوانی بسیار زیاد کانی کلسیت می باشد که نشان دهنده بالا بودن فوگاسیته دی اکسید کربن (f CO₂) است.

با توجه به بررسی های صحرایی و آزمایشگاهی این سؤال پیش می آید که آیا این رگه های موجود در دایک های گابرویی رودینگیت های رگه ای و دینامیک هستند یا اینکه دارای خصوصیات رودینگیت نبوده و حاصل نوعی دگرگونی هیدروترمال گابروها هستند؟ از مهمترین مشخصه های رودینگیت ها دیده شدن آنها در یک متن سرپانتینی و کم بودن f CO₂ است.

رگه های مورد بررسی در درون دایک های گابرویی دیده می شوند که خود در درون پریدوتیت های سرپانتینی شده گوشته قرار دارند. سیالات سازنده بسیاری از رودینگیت های بررسی شده دارای فوگاسیته بسیار پایین دی اکسید کربن بوده اند (9, 3). کانی های سازنده این رگه ها شباهت بسیار زیادی به کانی های سازنده رودینگیت ها دارند و تنها اختلاف آنها در فراوانی کلسیت است. با توجه به موارد فوق، از آنجایی که رگه های مورد بررسی دارای شباهت ها و اختلاف هایی با رودینگیت های رگه ای هستند، بنابراین بهتر است که در مورد آنها از یک اصطلاح کلی تر استفاده نموده و رگه های حاصل از دگرگونی هیدروترمال دایک های گابرویی نامیده شوند.

سنگی که در جوار پریدوتیت های درحال سرپانتینی شدن قرار دارد (اغلب دایک و توده نفوذی)، بستگی دارد.

بنابراین با بررسی ترکیب کانی های رودینگیتی، مطالعه باقی مانده دایک یا توده نفوذی برای تعیین نوع سنگ اولیه، و دانستن نوع پریدوتیت های سرپانتینی شده می توان تا حدود زیادی به ماهیت سیالات مهاجم پی برد.

بررسی های صحرایی و پتروگرافی نشان می دهد که نوع پریدوتیت های گوشته در این افیولیت بیشتر از نوع لرزولیت بوده، و سنگ اولیه دایک های دربرگیرنده رگه های مورد بررسی نیز گابرو بوده است. با در نظر گرفتن نسبت فراوانی کانی های مختلف در گه ها و نیز بررسی ترکیب این کانی ها می توان پی برد که:

۱- یون های Si⁴⁺, Al³⁺, Fe³⁺, Fe²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, OH- در سیال سازنده کانی های موجود در رگه ها مهمترین نقش را ایفا نموده اند.

۲- فعالیت یون Mg²⁺ از سایر یون ها کمتر بوده چرا که فقط در تشکیل کلینوپیروکسن ها که فراوانی کمی نیز داشته اند نقش مهمی داشته اند.

۳- فعالیت یون Ca²⁺ از سایر یون ها بیشتر بوده چرا که در ساختار تمامی کانی های رگه ای حضور داشته و حتی پس از اتمام آنها باعث تشکیل کلسیت گردیده است.

محاسبات ترمومتری از روش ارایه توسط (17) استفاده گردید.

نتایج حاصل از ژئوترموبارومتری گابروهای افیولیت جندق محدوده فشار ۲/۷ تا ۹ کیلوبار، و دمای ۶۳۰ تا ۷۵۰ درجه سانتی گراد را نشان می‌دهد که در جدول شماره ۵ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود نتایج ژئوترموبارومتری محدوده تقریباً گسترده‌ای از دما و به خصوص فشار را ارایه نموده است که شاید به تغییرات دما و فشار در حین رخداد دگرگونی و جایگیری، چند دگرگونی (پلی متامورفیسم) و یا تغییر ترکیب کانی‌ها بعد از رخداد دگرگونی مربوط می‌شود.

بررسی‌های صحرایی و پتروگرافی نشان از دگرگون شدن دایک‌های گابرویی در رخساره آمفیبولیت در مرحله اول و پشت سر نهادن یک دگرگونی برگشتی در رخساره شیست سبز در مرحله بعد دارد.

به منظور دسترسی به شرایط دما و فشار دگرگونی گابروها، از ژئوبارومتر مقدار Al موجود در آمفیبول‌ها و ترمومتر زوج کانی آمفیبول - پلاژیوکلاز، در نمونه‌هایی که کمتر تحت تاثیر دگرگونی برگشتی قرار گرفته‌اند استفاده گردید. در انجام محاسبات بارومتری آمفیبول‌ها از کالیبراسیون‌های ارایه شده توسط (15, 16)، و در انجام

جدول شماره ۵: نتایج ژئوترموبارومتری گابروهای افیولیت جندق با استفاده از روش‌های ارایه شده توسط (15, 16, 17)

Pressure(kb) Schmidt(1992)	2.96	9.94	9.58	4.73	2.52	8.79
Temp OC	664.54	738.70	769.83	699.50	628.04	732.14
Pressure(kb) Anderson and Smith (1995)	3.03	8.95	8.03	4.46	2.73	7.90
Temp OC	664.83	724.28	748.66	697.72	629.71	723.23

از خصوصیات بسیار جالب این رگه‌ها حضور و فراوانی کانی کلسیت بوده که بیانگر بالابودن f_{CO_2} در سیال سازنده کانی‌های موجود در این رگه‌ها است. این سنگ‌ها عاری از دگرشکلی و برگوارگی بوده و پس از رخداد دگرگونی بوجود آمده‌اند. بررسی دایک‌های گابرویی دربرگیرنده این رگه‌ها بیانگر دگرگون شدن آنها در رخساره آمفیبولیت است.

نتیجه‌گیری

دایک‌های گابرویی افیولیت جندق دارای رگه‌هایی روشن‌رنگ هستند که کانی‌های تشکیل‌دهنده این رگه‌ها از بیشترین فراوانی به کمترین عبارتند از: کلسیت، پره‌نیت، گارنت، اپیدوت، کلینوپیروکسن و کلریت. کلسیت‌ها و گارنت‌ها آخرین کانی‌های متبلور شده هستند و بقیه نیز قبل از آنها بوجود آمده‌اند.

carbonate chimney precipitation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68: 1115-1133; (2004).

6- E., Dubińska, Rodingites of the eastern part of Jordanów-Gogołów serpentinite massif, Lower Silesia, Poland, *Canadian Mineralogist* 33(3), 585-608; (2004).

7- K., Hatzipanagiotou and B., Tsikouras, Rodingite formation from diorite in the Samothraki ophiolite, NE Aegean, Greece, *Geological Journal* 36, 93-109 ; (2001).

8- K., Hatzipanagiotou B., Tsikouras, G., Migiros E., Gartzos and K., Serelis, Origin of rodingites in ultramafic rocks from Lesvos Island (NE Aegean, Greece), *Ophioliti* 28(1), 13-23; (2003).

9- L.P., Plyusnina G.G., Likhoidov G.P., Zaraisky, Physico-chemical conditions of rodingite formation (experimental data), *Petrology (Moscow)* 1, No.5, 491-501; (1993).

10- E., Dubińska, Rodingites and amphibolites from the serpentinites surrounding Góry Sowie block (Lower Silesia, Poland): Record of supra-subduction zone magmatism and serpentinization, *Neues Jahrbuch für Mineralogie und Petrologie, Abhandlungen* 171(3), 239-279; (1997).

11- Technoexport, Geology and minerals of Jandaq area (Central Iran), Geological Survey of Iran, V/O "Technoexport", Report TE/No. 4, 171 p; (1979).

تشکر و قدردانی

این نوشته بخشی از نتایج حاصل از انجام طرح پژوهشی شماره ۸۴۱۲۱۷ در دانشگاه اصفهان می باشد. از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه اصفهان به خاطر پشتیبانی طرح پژوهشی فوق تشکر می شود.

منابع

۱- ترابی، قدرت، پترولوژی افیولیت های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان) با تاکید بر مطالعه سنگ های اولترامافیک-مافیک افیولیت شمال انارک و سنگ های اولترامافیک- مافیک ملانژ افیولیتی عشین- زوار، رساله دکترای پترولوژی، بخش زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس، ۲۴۰ صفحه، ۱۳۸۳.

۲- قدرت ترابی، مسیب سبزه یی، شوچی آرای، احمد حسن احمد، محمد هاشم امامی، محمد محجل، کانی شناسی فازهای مختلف تشکیل رودینگیت در دایک های مجموعه افیولیتی شمال انارک، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال دوازدهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۸۳، صفحه ۷۷ تا ۹۲، ۱۳۸۳.

3- A., Nicolas, Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Kluwer, Dordrecht, 367 p; (1989).

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

5- J.L., Palandri and M.H., Reed Geochemical models of metasomatism in ultramafic systems: serpentinization, rodingitization, and sea floor

15- M.W., Schmidt, Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. and Petrol.* 110, 304-10; (1992).

16- J.L., Anderson & D.R., Smith, The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblende barometry, *American Mineralogist* 80, 549-59; (1995).

17- T., Holland & J., Blundy, Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry, *Contrib. Mineral. and Petrol.* 116, 433-47; (1994).

12- E.A.Jr., Pessagno, A.M., Ghazi, S.M., Kariminia, R.A., Duncan and A.A., Hassanipak, Tectonostratigraphy of the Khoy complex, Northwestern Iran, *Stratigraphy* 1, No. 2, 49-63; (2004).

13- M., Sabzehei, Rodingitization in Iranian basic rocks: A new interpretation, *Journal of Sciences, Islamic republic of Iran* 13(2), 155-160; (2002).

14- G.T.R., Droop, A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria, *Min. Mag.* 51, 431-435; (1987).