



پetroگرافی و شیمی کانی ورلیت‌های زون کنتاکت توده‌های گابرویی و پریدوتیت‌های افیولیت نایین

فرهاد قاسمی نژاد* و قدرت ترابی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

دریافت: ۱۳۹۲/۴/۸، پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۲۹

چکیده

در بخش‌های مختلفی از افیولیت نایین که دارای سن مزوزوئیک می‌باشد، توده‌های گابرویی روشن دیده می‌شوند که تمام واحدهای افیولیتی را قطع می‌کنند. در زون کنتاکت این گابروها و پریدوتیت‌های گوشته‌ای افیولیت نایین سنگهای جدیدی همچون ورلیت و الیون کلینوپیروکسنیت تشکیل شده‌اند. این ورلیت‌ها از کانیهای الیون (کریزولیت)، کلینوپیروکسن (دیوپسید)، اسپینل کروم‌دار، سرپانتین، آمفیبول (ترمولیت و هورنبلند ترمولیتی)، اپیدوت و مگنتیت تشکیل شده‌اند.

مقایسه شیمی الیون، کلینوپیروکسن و اسپینل‌های کروم‌دار موجود در این ورلیت‌ها با پریدوتیت‌های گوشته موجود در افیولیت نایین نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی الیون‌ها و کلینوپیروکسن‌های موجود در ورلیت‌ها با ترکیب این کانیها که در پریدوتیت‌های گوشته‌ای این افیولیت دیده می‌شوند کاملاً متفاوت بوده، اما اسپینل‌های کروم‌دار آنها شبیه اسپینل‌های موجود در هارزبورگیت‌ها است. با توجه به این که اسپینل کروم‌دار کانی مقاومی در مقابل دگرگونی و دگرسانی است می‌توان نتیجه گرفت که ورلیت‌های موجود در کنتاکت گابروها و پریدوتیت‌های گوشته‌ای در اثر دگرگونی مجاورتی بین گابرو و پریدوتیت، و به خرج هارزبورگیت‌های سرپانتینی شده به وجود آمده‌اند. در این ورلیت‌ها الیون به خرج سرپانتین و کلینوپیروکسن‌ها نیز به خرج سرپانتین و کلسیم برگرفته از گابروها تشکیل شده‌اند. بررسی‌های صحرایی پریدوتیت‌هایی که از محل نفوذ گابروها فاصله دارند نیز نشان می‌دهد که گابروها به درون هارزبورگیت‌ها نفوذ کرده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که بعد از سرپانتینی شدن هارزبورگیت‌های گوشته، توده‌های گابرویی به درون آنها نفوذ کرده و در محل کنتاکت آنها، سنگهای جدیدی با کانی‌شناسی ورلیت و الیون کلینوپیروکسنیت تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: افیولیت، مزوزوئیک، توده‌های گابرویی، هارزبورگیت، ورلیت، نایین

مقدمه

نوع دوم گابروها را دارای منشأ فرورانش و مرتبط با قوس در نظر می‌گیرند (Dilek, 2003). در افیولیت نایین نیز این نوع از گابروها دارای چندین رخنمون هستند که واحدهای افیولیت را قطع کرده‌اند.

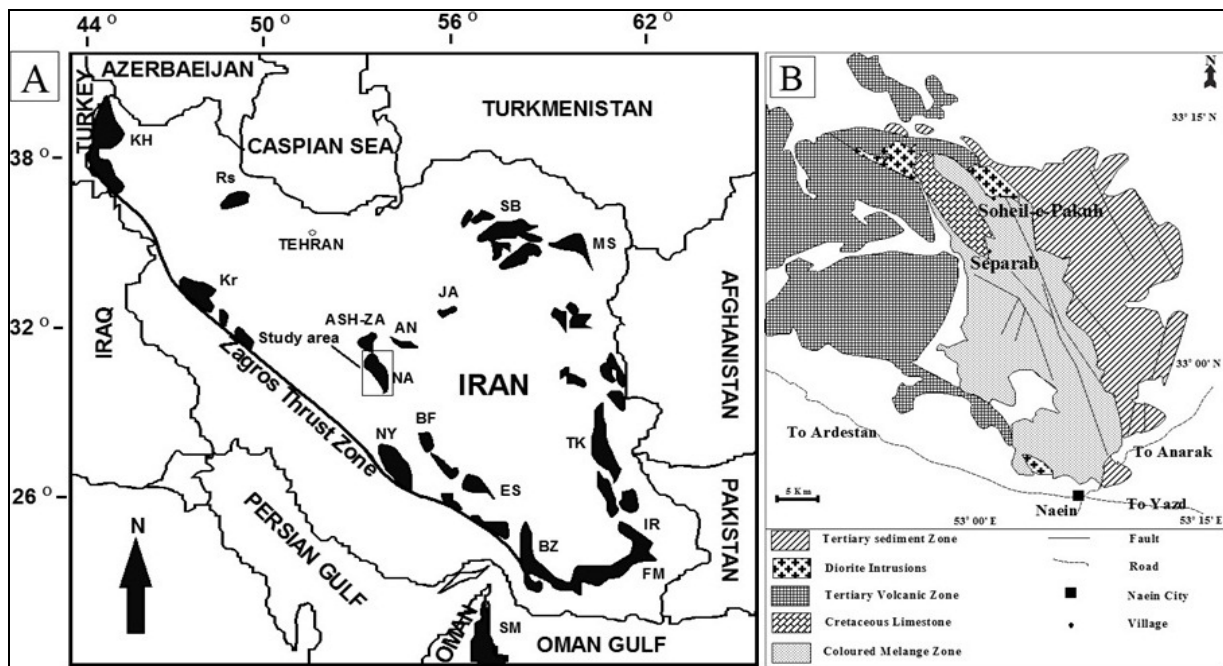
هدف از انجام این تحقیق، بررسی کانی‌شناسی زون کنتاکت توده‌های نفوذی گابرویی موجود در افیولیت نایین با پریدوتیت‌های گوشته دربرگیرنده و مطالعه ورلیت‌های تشکیل شده در این زون می‌باشد.

افیولیت‌ها باقی‌مانده‌هایی از پوسته‌های اقیانوسی قدیمی بوده و با مطالعه فرآیندهای پترولوژیکی آنها می‌توان به گذشته زمین‌شناسی بخشهایی از کره زمین و تحولات همراه آنها پی برد. گابروهای موجود در سری‌های سنگی افیولیت‌ها از مهمترین سنگهایی هستند که اطلاعات ارزشمندی را از ماهیت گوشته و پوسته اقیانوسی در اختیار قرار می‌دهند. این گابروها در برخی موارد کاملاً در تعادل با سایر واحدهای افیولیتی بوده و در موارد دیگر واحدهای افیولیتی را قطع نموده و ممکن است با آنها وارد واکنش نیز شود. معمولاً این

زمین‌شناسی منطقه

۱- آمیزه رنگین افیولیتی ۲- رسوبات ترشیری ۳- ولکانیک‌های سنوزوئیک و ۴- نفوذیهای سنوزوئیک (شکل ۱- B). همچنین در شکل ۱- A، نقشه کلی رخنمون مهمترین سنگهای افیولیتی در سرزمین ایران آورده شده است.

ناحیه شمال نائین با وسعتی حدود ۲۵۰۰ کیلومترمربع از نظر تقسیم‌بندی ساختاری بخشی از ایران مرکزی بوده و به چهار واحد زمین‌شناسی تقسیم می‌شود (Davoudzadeh, 1972):



شکل ۱. A: موقعیت افیولیت‌های ایران و افیولیت نائین (منطقه مورد مطالعه) (Pessagno et al., 2004) و B: نقشه شمال نائین (Davoudzadeh, 1972).

KH = خوی؛ KR = کرمانشاه؛ NY = نیریز؛ BZ = بند زیارت؛ NA = نائین؛ BF = بافت؛ ES = اسفندقه؛ FM = فنوج - مسکوتان؛ IR = ایران‌شهر؛ TK = چهل کوره؛ MS = مشهد؛ SB = سبزوار؛ RS = رشت؛ SM = سماعل؛ ASH = عشین؛ AN = انارک؛ JA = جندق؛ BY = بیاضه و PB = پشت بادام.

Fig. 1. A: Location of ophiolites in Iran and Naein ophiolite (study area) (Pessagno et al., 2004) and B: map north of Naein (Davoudzadeh, 1972).

KH = Khoy; KR = Kermanshah; NY = Neyriz; BZ = Band Ziarat; NA = Naein; BF = Baft; ES = Esphandagheh; FM = Fanuj-Maskutan; IR = Iranshahr; TK = Tchehel Kureh; MS = Mashhad; SB = Sabzevar; RS = Rasht; SM = Samail; ASH = Ashin; AN = Anarak; JA = Jandaq; BY = Bayazeh; PB = Posht-e-Badam.

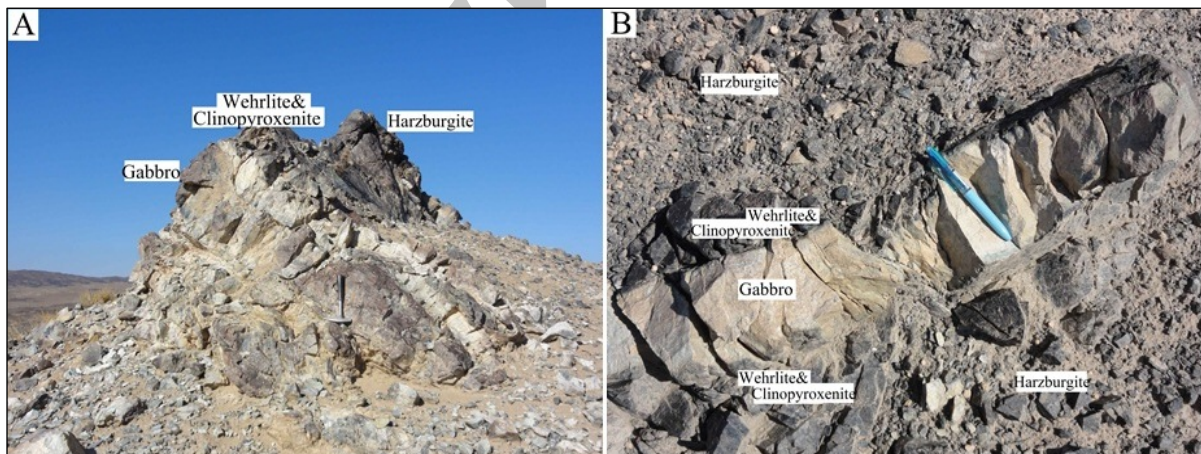
از هارزبورگیت و دونیت تشکیل شده است. اما لرزولیت‌ها نیز دارای فراوانی قابل توجهی می‌باشند. پلاژیوگرانیت‌های افیولیت نائین از نوع ساب‌آلکانل بوده و در محدوده توله‌ایت جزایر قوسی قرار دارند (Rezaei, 2006). نهشته‌های کرومیتی درون دونیت‌ها و هارزبورگیت‌ها از نوع کرومیت‌های انبانی (پادیفورم) غنی از کروم می‌باشند (Pirnia Naeni, 2006). پریدوتیت‌های موجود در منطقه مربوط به بخش گوشته ای لیتوسفر اقیانوسی بوده و شواهد ناحیه بالای زون فرورانش را نشان می‌دهد (Pirnia Naeni, 2006).

بخش آمیزه رنگین افیولیتی از نظر سنگ‌شناسی از عمق به سطح بیشتر شامل موارد زیر است: (Jabbari, 1977; Stocklin, 1974) ۱- سنگهای پریدوتیتی، ۲- گابروها که شامل نوریت، گابروهای نوریتی و گابروها می‌باشد، ۳- دایک‌های ورقی، ۴- پلاژیوگرانیت، ۵- بازالت‌های با ساخت بالشی و توده‌ای، ۶- آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت‌های کرتاسه بالایی. علاوه بر سنگهای فوق، سنگهای دگرگونی شامل آمفیبولیت، اسکارن، مرمر و شیست نیز در این افیولیت قابل مشاهده است. افیولیت نائین از نوع هارزبورگیتی بوده (HOT) و بیشتر

سازمان زمین‌شناسی کشور ارائه گردیده است. جدیدترین مطالعات بر روی افیولیت شمال نایین توسط جباری (Jabbari, 1997)، منوچهری (Manochehri, 1997)، قهرایی‌پور (Ghohraeipour, 2001)، رحمانی (Rahmani, 2004)، رضایی (Rezaei, 2006)، پیرنیا (Pirnia Naeni, 2006)، شیردشت‌زاده (Shirdashtzadeh, 2006)، سعیدی (Saeidi, 2006)، عبداللهی (Abdulahi, 2006) و فلاحتی (Falahati, 2006) صورت پذیرفته است که نتایج کار آنها به صورت پایان نامه کارشناسی ارشد موجود است. بررسیهای صحرایی نشان می‌دهد که چندین نسل گابرو در افیولیت نایین وجود دارد. در برخی از آنها به خوبی رخداد تفریق قابل پی‌گیری بوده و برخی دیگر نیز به صورت توده‌های نفوذی روشن رنگ، پریدوتیت‌های گوشته‌ای افیولیت نایین را بعد از سرپانتینی شدن آنها، قطع نموده‌اند. برخی از دایک‌های گابرویی افیولیت نایین نیز رودینگیتی شده‌اند. توده‌های نفوذی گابرویی این افیولیت که رودینگیتی نشده‌اند یا آثار کمی از رودینگیتی شدن را از خود نشان می‌دهند، با پریدوتیت‌های این افیولیت در قسمت کنتاکت واکنش داده‌اند (شکل ۲- A، B و ۳).

افیولیت ملانژ نایین دارای سن مزوزوئیک بوده و دایک‌های دیابازی و گدازه‌های بالشی آن سن کرتاسه دارند (Davoudzadeh, 1972; Rahmani et al., 2007; Ghazi et al., 2010). با توجه به این که افیولیت نایین توسط سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی و پالتوسن زیرین پوشیده شده و این سنگ آهک‌ها درگیر پدیده ملانژ شده‌اند، می‌توان گفت که این سنگ آهک‌ها پوشش رسوبی پوسته اقیانوسی بوده و جزئی از افیولیت محسوب می‌شوند. این مجموعه در زمان اتوسن توسط سنگ‌های ولکانیک اتوسن و همچنین توده‌های نفوذی الیگومیوسن قطع گردیده است. بنابراین می‌توان سن جای‌گیری آن را پالتوسن تا اتوسن در نظر گرفت (Davoudzadeh, 1972; Torabi, 2012). بررسیهای Ar^{39}/Ar^{40} که بر روی گابروهای هورنبلنددار موجود در این افیولیت صورت پذیرفته است، سنهای 101 ± 0.9 ، 99.7 ± 0.9 و 99 ± 2.1 Ma را که با آلبین فوقانی (بخش بالایی کرتاسه زیرین) مطابقت دارند پیشنهاد می‌کند (Hassanipak and Ghazi, 1972).

از جامعترین مطالعاتی که بر روی سنگ‌های شمال نایین صورت گرفته است رساله دکترای Davoudzadeh (1969) می‌باشد که خلاصه آن در گزارش شماره ۱۴-۱۹۷۲، توسط



شکل ۲. کنتاکت توده نفوذی گابرویی در پریدوتیت‌های گوشته و تشکیل ورلیت، A: (نمای دور از کنتاکت) و B: (نمای نزدیک از کنتاکت).

Fig. 2. Contact gabbro intrusion of mantle peridotites and formed wehrlite, A: (far view contact) and B: (near view contact).

سنگ‌های جدیدی همچون ورلیت و الیوین کلینوپروکسنیت در محل کنتاکت آنها تشکیل می‌گردد. در این مقاله ماهیت ورلیت‌های زون کنتاکت گابروهای روشن و پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین بررسی شده است.

زمان نفوذ دایک‌های گابرویی رودینگیتی را می‌توان به هنگام سرپانتینی شدن پریدوتیت‌ها نسبت داد. اما اگر دایک‌های گابرویی بعد از رخداد سرپانتینی شدن وارد پریدوتیت‌های گوشته شوند، بین آنها واکنش‌های گسترده‌ای صورت گرفته و



شکل ۳. تصویر پانوراما از توده نفوذی گابرویی در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت ناین.

Fig. 3. Panoramic photo of gabbro intrusion in mantle peridotites of Naein ophiolite.

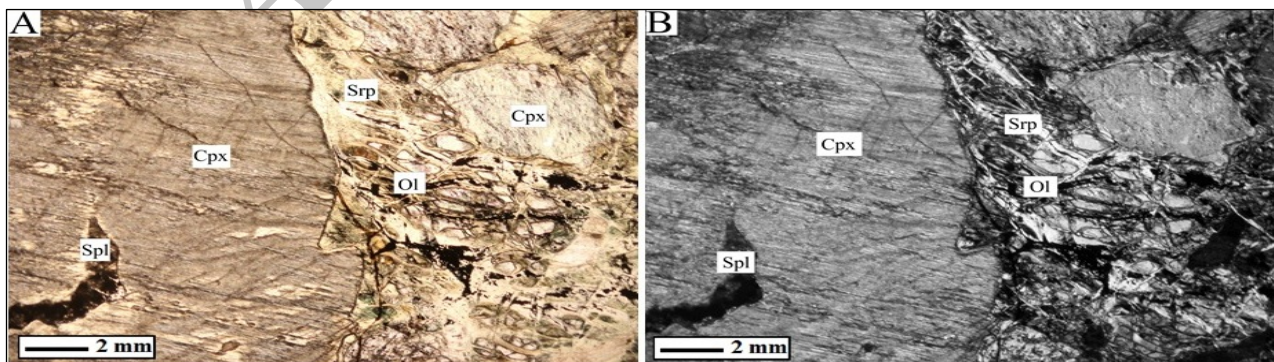
روش مطالعه

ابتدا مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی مورد بررسی انجام شد. به منظور انجام پتروگرافی از نمونه‌های برداشته شده تعداد ۴۸ مقاطع نازک تهیه گردیده و از میکروسکپ پلاریزان المپیوس مدل BH-2 موجود در دانشگاه اصفهان استفاده شد. تشخیص بافت سنگ، کانیهای تشکیل دهنده، روابط کانیها، فرآیندهای دگرگونی و در نهایت نام‌گذاری سنگها در این مرحله صورت گرفت. پس از مطالعات پتروگرافی دو نمونه سالم از ورلیت‌های منطقه جهت تعیین شیمی کانیها انتخاب شدند. کانیها توسط دستگاه میکروپروب مدل JEOL JXA-8800R و تحت شرایط ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ کیلو ولت و جریان ۲۰ نانوآمپر، در دانشگاه کاناواوی ژاپن آنالیز شدند (جدولهای ۱ تا ۵). جهت محاسبه فرمول ساختاری، تفکیک انواع آهن و تعیین درصد اعضای پایانی کانیهای دارای محلول جامد از نرم‌افزار Minpet استفاده شد. مقادیر $Cr\#$ ، $Mg\#$ ، $Fe\#$ و $Fe^{3+}\#$ کانیها به ترتیب به صورت $Cr/(Cr+Al)$ ، $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ، $Fe/(Fe^{2+}+Mg)$ و $Fe^{3+}/(Cr+Al+Fe^{3+})$ محاسبه شده‌اند. عدد پیستاسیت نیز به صورت $Ps=100*Fe/(Fe+Al)$ محاسبه می‌شود.

پتروگرافی

بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در کنتاکت گابروهای نفوذی و پریدوتیت‌های گوشته، سنگهای غنی از کلینوپیروکسن همچون الیوین کلینوپیروکسنیت و ورلیت تشکیل شده است. از زون کنتاکت به سمت درون پریدوتیت میزان از مقدار کلینوپیروکسن کاسته شده و به میزان الیوین افزوده می‌شود و همچنین مقدار اسپینل کروم‌دار افزایش یافته، خودشکل‌تر شده و اندازه کانیها درشت‌تر می‌گردد. پلاژیوکلاز فقط در زون کنتاکت و در قسمت پیروکسنیتی وجود دارد و بافاصله گرفتن از زون کنتاکت پلاژیوکلازها ناپدید می‌شوند. یادآوری می‌شود که تمام پلاژیوکلازها در قسمت زون کنتاکت و پیروکسنیتی دگرسان و تبدیل به پرهنیت شده‌اند.

ورلیت‌های این افیولیت حاوی کانیهای الیوین (۴۰-۴۵ درصد)، کلینوپیروکسن (۵۰-۵۵ درصد) و اسپینل کروم‌دار (کمتر از ۵ درصد) می‌باشند که در شکل ۴-A، در نور عادی و در قسمت ۴-B، در نور پلاریزه نشان داده شده است.



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از ورلیت‌های افیولیت ناین. کلینوپیروکسن‌ها حاشیه نامنظم و منحنی شکل دارند. A: نور عادی و B: نور پلاریزه.

(Cpx = کلینوپیروکسن، Spl = اسپینل، Ol = الیوین، Srp = سرپانتین)

Fig. 4. Photomicrographs in wehrlite of Naein ophiolite. Clinopyroxene and margins are irregular and curved. A: normal light, and B: polarized light. (Cpx=Clinopyroxene, Spl=Spinel, Ol=Olivine, Srp=Serpentine)

این سنگها بعد از تشکیل تحت تأثیر دگرگونی قرار گرفته‌اند، و دارای کانیهای فرعی آمفیبول (ترمولیت و هورنبلند ترمولیتی)، سرپانتین (لیزاردیت و کریزوتیل) و اپیدوت، کلریت و پرهنیت (از دگرسانی پلاژیوکلازها) می‌باشند.

جدول ۱. مقایسه ترکیب شیمیایی الیوین موجود در پریدوتیت‌های گوشته (دونیت، هارزبورگیت و لرزولیت) و ورلیت‌های افیولیت ناین.

Table 1. Comparison of the chemical composition of olivine in the mantle peridotites (dunite, harzburgites and lherzolites) and wehrlite of the Naein ophiolite.

Sample Number	Lherzolite	Harzburgite	Dunite	Wehrlit (B685)			Wehrlite (B694)	
	59	49	8	247	248	260	266	268
SiO ₂	40.88	40.88	39.95	40.00	39.00	40.61	39.99	40.62
TiO ₂	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
FeO*	9.52	8.66	11.44	11.12	11.03	11.05	11.04	10.74
MnO	0.13	0.12	0.17	0.20	0.19	0.16	0.16	0.15
MgO	49.79	50.48	48.84	48.28	49.06	48.31	48.52	47.95
CaO	0.03	0.03	0.09	0.04	0.02	0.05	0.05	0.04
NiO	0.39	0.40	0.24	0.24	0.21	0.20	0.20	0.22
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.75	100.60	100.76	99.88	99.50	100.39	99.97	99.75
Structural formula based on the 4 Oxygens								
Si	0.995	0.993	0.983	0.990	0.971	0.998	0.988	1.003
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.194	0.176	0.235	0.230	0.229	0.227	0.228	0.222
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
Mg	1.806	1.828	1.791	1.781	1.820	1.769	1.787	1.764
Ca	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.008	0.008	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
Sum	3.006	3.008	3.020	3.011	3.029	3.002	3.011	2.998
Fe#	0.097	0.088	0.116	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110
Mg#	0.903	0.912	0.884	0.890	0.890	0.890	0.890	0.890

کانیها متوسط تا دانه درشت و تا نیم سانتی‌متر هم می‌رسد. سرپانتین که از تجزیه بخشهایی از الیوین‌ها به‌وجود آمده، در این سنگها بافت مشبک را به آنها بخشیده است. کلینوپروکسن‌ها در بررسیهای میکروسکوپی دارای حاشیه‌های منحنی شکل و نامنظم هستند. اسپینل‌های کروم‌دار خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده و به رنگ قهوه‌ای تیره دیده می‌شوند.

با توجه به تشکیل ترمولیت و هورنبلند ترمولیتی در این سنگها و همچنین تشکیل کلریت، اپیدوت و پرهنیت می‌توان پی برد که این سنگها بعد از تشکیل دچار دگرگونی ناحیه‌ای ابتدا در رخساره آمفیبولیت و سپس در رخساره شیست سبز شده‌اند (Evans, 1977). بافتهای موجود در این سنگها از نوع گرانوبلاستیک، پوئی کیلوبلاستیک و مشبک است. اندازه

در شرایط دما و فشار بخشهای بالایی رخساره شیست سبز و بخش پایینی رخساره آمفیبولیت است (شکل ۵ و جدولهای ۶ و ۷) (Shirdashtzadeh et al., 2011).

مگنتیت یکی دیگر از کانیه‌های فرعی تشکیل شده در ورلیت‌هاست که در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود. تشکیل ترمولیت و هورنبلند ترمولیتی از کلینوپیروکسن و تشکیل اپیدوت از پلاژیوکلازها، نشان‌دهنده دگرگون شدن ورلیت‌ها

جدول ۲. مقایسه ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌های گوشته (دونیت، هارزبورگیت و لرزولیت) و ورلیت‌های افیولیت ناین.

Table 2. Comparison of the chemical composition of clinopyroxene in the mantle peridotites (dunite, harzburgites and lherzolites) and wehrlite of the Naein ophiolite.

Sample Number	Lherzolite	Harzburgite	Dunite	Wehrlite (B685)			Wehrlite (B694)	
	18	112	123	242	257	261	264	267
SiO ₂	50.94	51.26	52.93	54.44	54.62	53.52	52.74	52.68
TiO ₂	0.13	0.06	0.27	0.12	0.04	0.24	0.12	0.13
Al ₂ O ₃	5.50	3.40	2.88	0.92	0.59	1.98	2.84	2.76
Cr ₂ O ₃	1.06	1.08	0.97	0.18	0.08	0.43	0.85	0.85
FeO*	3.32	2.79	2.79	2.12	2.05	2.76	3.26	2.99
MnO	0.09	0.07	0.10	0.05	0.07	0.05	0.08	0.09
MgO	17.84	19.07	16.86	17.47	17.63	17.12	17.58	16.74
CaO	19.71	20.53	23.25	25.38	25.33	24.25	22.17	23.63
NiO	0.07	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
Na ₂ O	0.37	0.17	0.30	0.06	0.06	0.22	0.19	0.24
K ₂ O	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	99.03	98.47	100.61	100.76	100.49	100.57	99.84	100.12
Structural formula based on the 6 Oxygens								
Si	1.858	1.875	1.918	1.963	1.973	1.935	1.918	1.915
Ti	0.004	0.002	0.007	0.003	0.001	0.007	0.003	0.004
Al ^{IV}	0.142	0.022	0.041	0.037	0.025	0.065	0.082	0.085
Al ^{VI}	0.090	0.147	0.123	0.002	0.000	0.019	0.040	0.033
Cr	0.031	0.031	0.028	0.005	0.002	0.012	0.025	0.024
Fe ²⁺	0.064	0.021	0.065	0.036	0.033	0.048	0.076	0.053
Fe ³⁺	0.037	0.064	0.020	0.028	0.029	0.036	0.024	0.038
Mn	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
Mg	0.970	1.040	0.911	0.939	0.950	0.922	0.953	0.907
Ca	0.770	0.805	0.903	0.980	0.980	0.939	0.864	0.920
Na	0.026	0.012	0.021	0.004	0.004	0.015	0.013	0.017
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000
Sum	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Cr#	0.116	0.156	0.145	0.114	0.074	0.125	0.170	0.169
Fe#	0.062	0.020	0.066	0.037	0.034	0.049	0.074	0.055
Fe ³⁺ #	0.124	0.243	0.095	0.389	0.518	0.273	0.140	0.211
Mg#	0.938	0.980	0.934	0.963	0.966	0.951	0.926	0.945
WO	40.4	41.7	47.5	49.4	49.2	48.3	45.0	47.9
EN	53.7	53.8	47.9	47.3	47.6	47.4	49.7	47.2
FS	5.9	4.5	4.6	3.3	3.2	4.4	5.3	4.9

جدول ۳. مقایسه ترکیب شیمیایی اسپینل‌های کروم‌دار موجود در پریدوتیت‌های گوشته (دونیت، هارزبورگیت و لرزولیت) و ورلیت‌های افیولیت ناین.

Table 3. Comparison of the chemical composition of chromian spinel in mantle peridotites (dunite, harzburgites and lherzolites) and wehrlite of the Naein ophiolite.

Sample	Lherzolite	Harzburgite	Dunite	Wehrlite								
	68	47	6	239	240	241	251	252	253	254	258	259
SiO ₂	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO ₂	0.05	0.04	0.49	0.20	0.17	0.15	0.06	0.37	0.38	0.38	0.68	0.75
Al ₂ O ₃	49.13	32.99	27.03	30.67	30.77	28.20	30.46	25.15	25.71	23.73	21.78	22.80
Cr ₂ O ₃	18.81	34.69	36.26	32.36	32.95	34.60	26.93	36.65	36.44	37.90	37.27	37.17
FeO*	12.79	16.04	23.13	23.99	23.89	25.73	28.33	25.82	26.05	26.66	28.37	27.45
MnO	0.14	0.20	0.30	0.20	0.29	0.34	0.42	0.31	0.29	0.32	0.34	0.32
MgO	18.27	15.11	12.17	12.27	12.12	10.77	9.76	10.95	11.06	10.21	9.46	9.73
CaO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.09	0.08	0.07	0.05	0.11	0.05	0.05	0.09	0.11
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	99.20	99.08	99.40	99.66	100.14	99.73	95.90	99.21	99.83	99.26	97.83	98.18
Structural formula based on the 32 Oxygens												
Si	0.000	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.009	0.007	0.089	0.036	0.030	0.028	0.011	0.069	0.069	0.071	0.131	0.144
Al	12.535	9.106	4.450	8.644	8.646	8.100	8.997	7.332	7.436	7.001	6.576	6.824
Cr	3.220	6.425	6.975	6.117	6.208	6.665	5.335	7.167	7.067	7.497	7.546	7.460
Fe ²⁺	2.087	2.689	3.619	3.673	3.713	4.107	4.374	4.034	4.042	4.275	4.541	4.464
Fe ³⁺	0.228	0.452	1.086	1.146	1.068	1.158	1.603	1.334	1.330	1.332	1.575	1.396
Mn	0.025	0.040	0.063	0.014	0.033	0.041	0.067	0.034	0.029	0.036	0.042	0.037
Mg	5.896	5.265	4.413	4.373	4.305	3.909	3.643	4.037	4.044	3.807	3.610	3.683
Ca	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.018	0.016	0.014	0.011	0.022	0.010	0.011	0.019	0.022
Sum	24.000	24.000	24.000	24.021	24.018	24.021	24.041	24.028	24.028	24.028	24.040	24.031
Cr#	0.204	0.413	0.611	0.414	0.418	0.451	0.372	0.494	0.487	0.517	0.534	0.522
Fe ³⁺ #	0.014	0.028	0.087	0.072	0.067	0.073	0.101	0.084	0.084	0.084	0.100	0.089
Mg#	0.739	0.662	0.549	0.355	0.348	0.320	0.273	0.355	0.352	0.471	0.325	0.326

جدول ۴. ترکیب شیمیایی آمفیبول موجود در ورلیت‌های افیولیت ناین.

Table 4. Chemical composition of amphibole in wehrlite of the Naein ophiolite.

Sample Analysis	B685 244	B685 245	B685 246	B685 249	B685 255
SiO ₂	53.58	53.95	57.41	57.15	56.22
TiO ₂	0.30	0.30	0.08	0.08	0.13
Al ₂ O ₃	4.90	4.23	1.37	1.32	2.31
FeO	3.12	3.54	2.66	2.80	2.92
Cr ₂ O ₃	0.43	0.33	0.04	0.05	0.42
MnO	0.10	0.08	0.08	0.08	0.07
MgO	21.02	21.15	22.49	22.24	22.20
CaO	13.07	12.80	13.58	13.56	13.20
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.51	0.35	0.06	0.06	0.09
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	96.60	96.40	97.73	97.29	97.15
Structural formula based on the 23 Oxygens					
Si	7.414	7.463	7.861	7.873	7.696
Ti	0.031	0.031	0.008	0.008	0.013
Al ^{IV}	0.586	0.537	0.139	0.127	0.304
Al ^{VI}	0.213	0.152	0.082	0.087	0.068
Fe ²⁺	0.110	0.011	0.270	0.323	0.069
Fe ³⁺	0.251	0.398	0.035	0.000	0.266
Cr	0.047	0.036	0.004	0.005	0.045
Mn	0.012	0.009	0.009	0.009	0.008
Mg	4.336	4.362	4.591	4.567	4.530
Ca	1.938	1.897	1.992	2.001	1.936
Na	0.298	0.434	0.039	0.005	0.311
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	15.075	14.991	15.008	15.017	14.962
Fe#	0.025	0.003	0.056	0.066	0.015
Mg#	0.975	0.997	0.944	0.934	0.985

شیمی کانیهای ورلیت‌ها

در شکل ۶-B، در محدوده Quad قرار می‌گیرند. مقدار Al₂O₃ موجود در این کانیها بین ۰/۵۹ تا ۲/۸۴ درصد وزنی تغییر می‌کند. مقدار TiO₂ و Cr₂O₃ موجود در این کلینوپیروکسن‌ها به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۴۷۸ می‌باشد. ۳- اسپینل کروم‌دار: Cr# این اسپینل‌ها از ۰/۳۷۲ تا ۰/۵۳۴ و همچنین مقدار Fe³⁺# این کانیها از ۰/۰۶۷ تا ۰/۱۰۱ است.

۱- الیون: الیون‌های موجود در این سنگ از نوع کریزولیت با Fo₈₉ می‌باشند (شکل ۶-A). مقدار CaO و NiO موجود در الیون‌ها به ترتیب برابر ۰/۰۴ و ۰/۲۱ می‌باشد.
۲- کلینوپیروکسن: ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در ورلیت‌ها، از نوع دیوپسید بوده و مقدار Mg# آنها برابر ۰/۹۵۰ می‌باشد (شکل ۶-C). همچنین ترکیب این کلینوپیروکسن‌ها

هورنبلند ترمولیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶- D و E). Mg# این آمفیبول‌ها از ۰/۹۳۴ تا ۰/۹۹۷ است.
 ۵- سایر کانیها: اپیدوت‌ها یکی از کانیهای فرعی موجود در این سنگهاست که مقدار عدد پیستاسیت آنها حدود ۸۰ (PS₈₀) می‌باشد.
 سرپانتین‌ها از دگرسانی الیون‌ها به‌وجود آمده‌اند.

مقدار مطلق عناصر Al₂O₃ و TiO₂، Cr₂O₃ موجود در این کانی به ترتیب ۰/۳۵، ۳۴/۷ و ۲۶/۵۸ می‌باشد.
 ۴- آمفیبول: یکی از کانیهای فرعی موجود در ورلیت‌های افیولیت ناین آمفیبول است که این کانیها براساس نمودار Na-Na+Ca در محدوده آمفیبول‌های کلسیک قرار گرفته و بر اساس نمودار Mg#-Si در محدوده آمفیبول‌های ترمولیت و

جدول ۵. A: ترکیب شیمیایی سرپانتین و B: اپیدوت موجود در ورلیت‌های افیولیت ناین.

Table 5. Chemical composition of serpentinite (A) and epidote (B) in wehrlite of the Naein ophiolite.

A				B		
Sample	B685	B685	B685	Sample	B685	B685
Analysis	243	250	256	Analysis	262	263
SiO ₂	49.12	42.92	43.19	SiO ₂	33.59	34.42
TiO ₂	0.03	0.02	0.00	TiO ₂	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	1.78	0.59	0.13	Al ₂ O ₃	4.43	3.82
Cr ₂ O ₃	0.25	0.00	0.00	Cr ₂ O ₃	0.00	0.00
Feo*	4.21	5.42	5.42	FeO*	21.63	22.09
MnO	0.08	0.11	0.11	MnO	0.00	0.00
MgO	33.46	37.37	36.40	MgO	0.37	1.59
CaO	0.12	0.11	0.08	CaO	35.31	34.40
NiO	0.05	0.00	0.05	NiO	0.00	0.00
Na ₂ O	0.14	0.00	0.00	Na ₂ O	0.00	0.00
K ₂ O	0.06	0.01	0.01	K ₂ O	0.00	0.00
Total	89.00	86.55	85.34	Total	95.34	96.32
Structural formula based on the 5 Oxygens				Structural formula based on the 12.5 Oxygens		
Si	1.582	1.456	1.483	Si	2.988	3.019
Ti	0.001	0.001	0.000	Ti	0.000	0.000
Al	0.068	0.023	0.005	Al	0.464	0.395
Cr	0.000	0.000	0.000	Cr	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.113	0.154	0.156	Fe ²⁺	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	Fe ³⁺	1.607	1.618
Mn	0.002	0.003	0.003	Mn	0.000	0.000
Mg	1.607	1.890	1.864	Mg	0.049	0.208
Ca	0.004	0.004	0.003	Ca	3.365	3.232
Na	0.009	0.000	0.000	Na	0.000	0.000
K	0.002	0.000	0.000	K	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	Ni	0.000	0.000
sum	3.388	3.531	3.514	Sum	8.473	8.472
				Ps	0.800	0.800

جدول ۶. رابطه بین همیافتی‌های کانی‌شناسی و رخساره‌های دگرگونی در سنگهای اولترابازیک دگرگون (Spear, 1995).

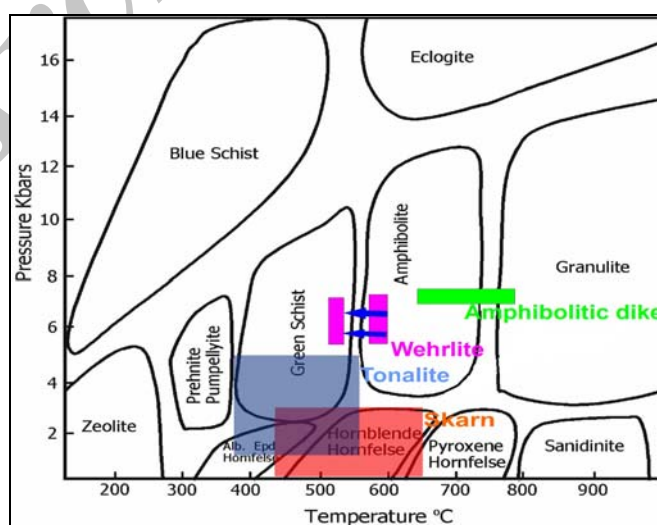
Table 6. Relationship between mineralogical paragenesis and metamorphic facies in altered ultrabasic rocks (Spear, 1995).

Facies	Paragenesis	Al-phase	Si content of Ca-amphibole
Sub-greenschist	Chrysotile + Talc + Tremolite	Chlorite	8.0-7.9
Greenschist and blueschist	Brucite + Antigorite + Diopside Forsterite + Antigorite + Diopside	Chlorite Chlorite	8.0-7.9
Amphibolite	Forsterite + Antigorite + Tremolite	Chlorite	8.0-7.8 7.9-7.5 7.6-6.5
	Forsterite + Talc + Tremolite	Chlorite	
	Forsterite + Anthophyllite (or Magnesio-cummingtonite) + Tremolite	Chlorite/Chromite	
	Forsterite + Orthopyroxene + Tremolite	Chlorite/Chromite	
	Forsterite + Orthopyroxene + Hornblende	Spinel	
Pyroxene hornfels (low P)	Forsterite + Orthopyroxene + Clinopyroxene	Plagioclase	6.6-5.9
Granulite (intermediate P)	Forsterite + Orthopyroxene + Clinopyroxene + Hornblende	Spinel	
Eclogite (high P)	Forsterite + Orthopyroxene + Clinopyroxene	Garnet	

جدول ۷. رابطه بین رخساره‌های دگرگونی و کانی‌شناسی سنگهای اولترابازیک دگرگون (Evans, 1977).

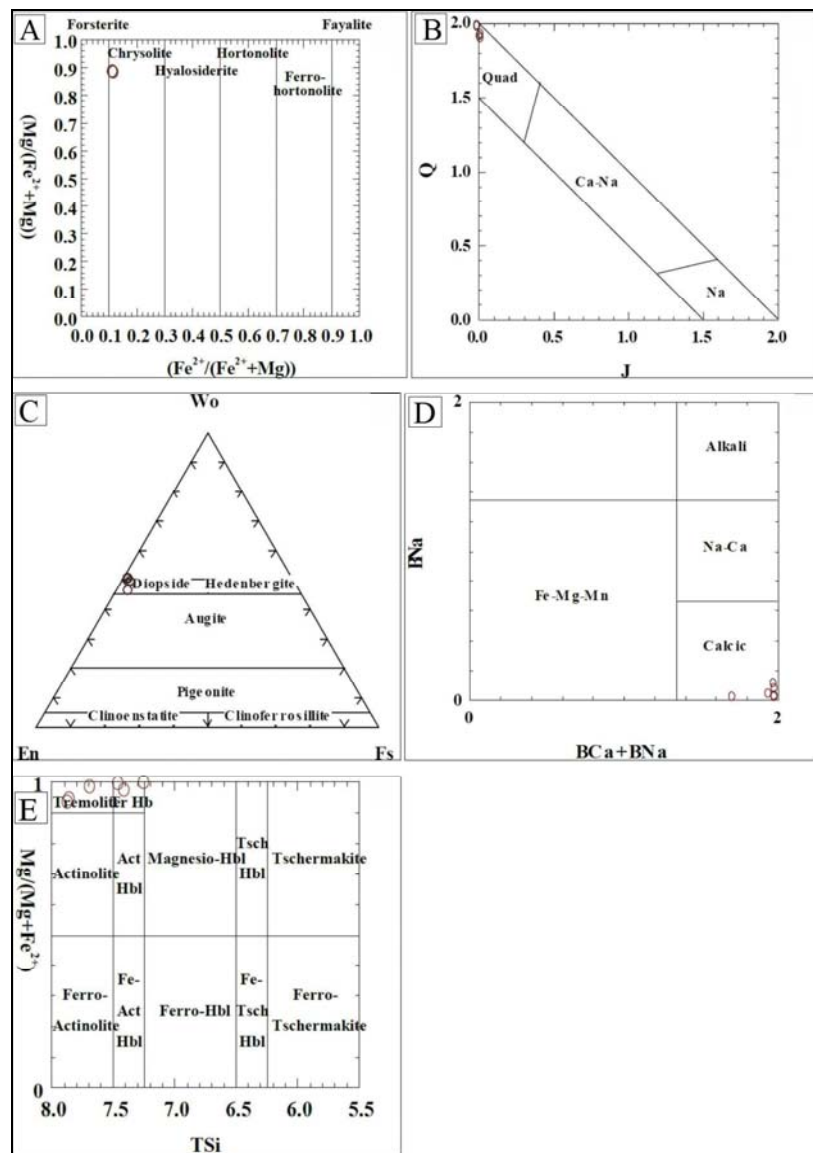
Table 7. Relationship between metamorphic facies and mineralogy of altered ultrabasic rocks (Evans, 1977).

zeolite	lizardite/chrysotile serpentinite
pumpellyite	
blueschist	brucite – antigorite serpentinite
“low” greenschist	
“low” eclogite	diopside – antigorite peridotite
“high” greenschist	
amphibolite	Tremolite peridotite
hornblende hornfels	
Pyroxene hornfels	Plagioclase lherzolite
Pyroxene granulite $\left\{ \begin{array}{l} opx + plag \\ opx + gt \end{array} \right\}$	Spinel lherzolite $\left\{ \begin{array}{l} seiland subfacies \\ Ariegite subfacies \end{array} \right\}$
“high” eclogite	Garnet lherzolite



شکل ۵. نمودار رخساره دگرگونی و شرایط دگرگونی ورلیت‌های افیولیت ناین و مقایسه آنها با دگرگونه‌های افیولیت ناین (Yardley, 1989).

Fig. 5. Graph of metamorphic facies and metamorphic conditions in wehrlites of the Naein ophiolite in comparison with Naein metamorphic ophiolite (Yardley, 1989).



شکل ۶. A: نمودارهای ترکیب شیمیایی کانیهای الیوین، B و C: کلینوپیکروکسن، D و E: آمفیبول موجود در رلیت‌های افیولیت ناین (نمودارها برگرفته از (Deer et al., 1992)).

Fig. 6. A: plots of chemical composition of the minerals olivine, B,C: clinopyroxene and D, E: amphibole in wehrlite of the Naein ophiolite (Deer et al., 1992).

کلینوپیکروکسن و الیوین شده‌اند. علت اصلی تشکیل این سنگها، دمای بالای توده‌های گابرویی، هجوم CaO و Al_2O_3 از سمت گابرو، و هجوم MgO از سمت پریدوتیت‌های گوشته به منطقه کنتاکت و انجام واکنشهای متاسوماتیک بوده است، هجوم این کانیون‌ها به سمت زون کنتاکت باعث تشکیل کانیهای جدید الیوین و کلینوپیکروکسن گردیده است. به منظور دسترسی به نوع سنگ میزبان گابروها که به خرج آنها رلیت تشکیل شده، باید از بررسیهای صحرائی و شیمی کانیها استفاده نمود. بهترین راه برای دسترسی به این هدف مقایسه

بحث و پتروژنز

بررسیها نشان می‌دهد که گابروهای موجود در افیولیت ناین در اثر درجات مختلف ذوب‌بخشی ایجاد شده‌اند و ماهیتی شبیه به گابروهای مرتبط با مناطق بالای ناحیه فرورانش دارند (Ghazi et al., 2010). بررسیهای صحرائی نشان می‌دهد که در هنگام نفوذ این گابروها به داخل پریدوتیت‌ها در اثر گرادیان حرارتی و شیمیایی بین گابرو و پریدوتیت واکنش رخ داده و عناصری از سمت پریدوتیت و گابرو به سمت زون کنتاکت هجوم آورده‌اند و باعث تشکیل کانیهای جدید مثل

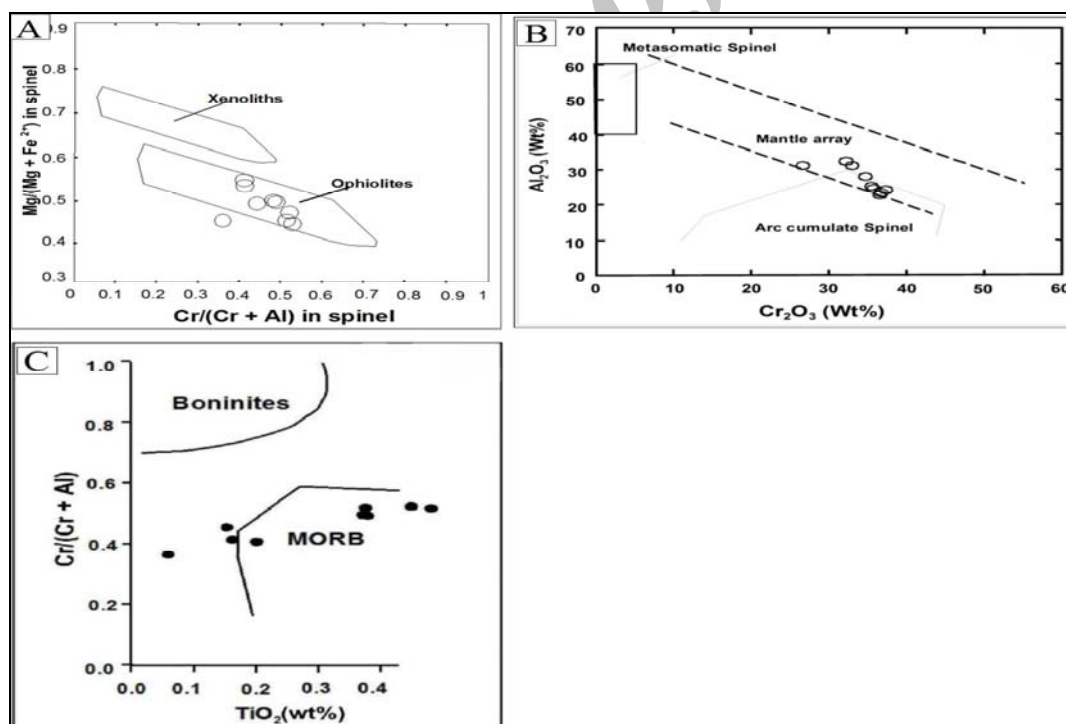
اما ترکیب اسپینل‌های کروم‌دار نشان می‌دهد که با دونیت و لرزولیت متفاوت ولی با هارزبورگیت‌های گوشته شبیه‌اند که می‌توان گفت اسپینل‌های کروم‌دار موجود در سنگ میزبان اولیه در واکنشها شرکت نکرده و تقریباً سالم باقی مانده‌اند (Cr# این اسپینل‌ها از ۰.۳۷۲ تا ۰.۵۳۴ می‌باشد) (جدول ۳). اسپینل‌های کروم‌دار در نمودار Cr# در مقابل Mg# در نزدیکی محدوده اسپینل‌های کروم‌دار افیولیتی قرار می‌گیرند (شکل ۷-۱)، همچنین در نمودار Cr₂O₃ در مقابل Al₂O₃ در محدوده اسپینل‌های کروم‌دار گوشته ای قرار می‌گیرند (شکل ۷-۲). بر اساس نمودار Cr# در مقابل TiO₂ اسپینل‌های کروم‌دار این سنگها از یک مذاب با ترکیب شبیه بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) به وجود آمده‌اند (شکل ۷-۳). به این ترتیب می‌توان گفت که اسپینل‌های کروم‌دار موجود در هارزبورگیت‌های منطقه کنتاکت، در واکنشها شرکت نکرده و سالم باقی مانده‌اند.

شیمی این ورلیت‌ها با انواع پریدوتیت‌های موجود در افیولیت ناین (لرزولیت، هارزبورگیت و دونیت) است.

ترکیب الیومین و کلینوپیروکسن و همچنین محدوده تغییر ترکیب آنها در محل کنتاکت (هم از نظر عناصر اصلی و هم از نظر عناصر فرعی)، کاملاً با ترکیب الیومین و کلینوپیروکسن موجود در پریدوتیت‌های گوشته و گابروها متفاوت است.

مقایسه الیومین موجود در ورلیت‌ها با الیومین پریدوتیت‌ها، از جمله مقدار Mg# که ۰/۸۹ است و نیز مقادیر CaO، Cr₂O₃ و MnO که به صورت میانگین به ترتیب ۰/۴۷۸، ۰/۰۴ و ۰/۱۷۲ می باشد، کاملاً متفاوت است (جدول ۱).

مقایسه کلینوپیروکسن‌های موجود در ورلیت‌ها نیز با انواع موجود در پریدوتیت‌ها کاملاً متفاوت است. از جمله مقدار CaO کلینوپیروکسن ورلیت‌ها که به طور میانگین ۲۴/۱۵ است، بیشتر از CaO موجود در کلینوپیروکسن پریدوتیت‌هاست که نشان می‌دهد مقداری CaO از پلاژیوکلازهای بازیک گابروها گرفته است (جدول ۲).



شکل ۷. نمودارهای اسپینل‌های کروم‌دار موجود در ورلیت‌های افیولیت ناین A: نمودار Cr# در مقابل Mg# (Cabanes and Mercier, 1988) B: مقدار Al₂O₃ در برابر Cr₂O₃ (محدوده‌ها برگرفته از (Kepezhinskas et al., 1995)) و C: مقدار Cr# در مقابل TiO₂، میدان‌های بونینیت و MORB توسط (Arai, 1992) مشخص گردیده است.

Fig. 7. Graphs of chromian spinel in wehrlites of the Naein ophiolite A: Cr # versus Mg # (Cabanes and Mercier, 1988), b: Al₂O₃ content of Cr₂O₃ (range from Kepezhinskas et al., 1995)) and C: the amount of Cr # in vs. TiO₂, fields of MORB and boninite by Arai (1992) were determined.

تبعیت می‌نمایند. بررسیها نشان می‌دهد که در زون کنتاکت گابرو و پریدوتیت‌های گوشته در افیولیت نایین، ورلیت و الیوین کلینوپیروکسنیت به وجود آمده است. الیوین و کلینوپیروکسنیت‌های تشکیل‌دهنده این ورلیت‌ها دارای ماهیت متفاوتی نسبت به همین کانیها در پریدوتیت‌های گوشته می‌باشند. مقایسه شیمی اسپینل‌های کروم‌دار ورلیت‌ها با اسپینل‌های کروم‌دار پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین نشان می‌دهد که دارای ترکیبی شبیه اسپینل‌های موجود در هارزبورگیت‌ها بوده و بیانگر این است که سنگ اولیه میزبان گابروها که به خرج آنها ورلیت‌ها به‌وجود آمده‌اند هارزبورگیت بوده است. تشکیل ترمولیت و هورنبلند ترمولیتی نشان می‌دهد که این سنگها بعد از تشکیل، ابتدا دچار دگرگونی ناحیه‌ای در رخساره آمفیبولیت شده‌اند و وجود کانیهایی نظیر لیزاردیت، کریزوتیل و اپیدوت بیانگر دگرگونی برگشتی در رخساره شایست سبز است.

قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های مالی دانشگاه اصفهان در انجام این تحقیق سپاس‌گزاری می‌نمایند.

بررسیها نشان می‌دهد که رخداد دگرگونی مجاورتی باعث ناپایداری الیوین، سرپانتین و پیروکسن‌های موجود در هارزبورگیت‌های گوشته شده و سنگهای الیوین کلینوپیروکسنیت و ورلیت در اثر رخداد دگرگونی مجاورتی تشکیل شده‌اند. کانی‌شناسی ترمولیت و هورنبلند ترمولیتی نشان می‌دهد که این سنگها بعد از تشکیل، ابتدا دچار دگرگونی ناحیه‌ای در رخساره آمفیبولیت شده‌اند و کانی‌هایی نظیر لیزاردیت، کریزوتیل و اپیدوت بیانگر دگرگونی برگشتی در رخساره شایست سبز است (جدولهای ۶ و ۷). نتایج حاصل از این بررسیها در توافق با نتایج مطالعه آمفیبولیت‌ها و پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین است (Pirmia Naeni, 2006; Shirdashtzadeh et al., 2010; Shirdashtzadeh et al., 2011; Shirdashtzadeh, 2006).

نتیجه‌گیری

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی افیولیت نایین نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی متعددی پریدوتیت‌های گوشته را قطع کرده‌اند. برخی از این توده‌های گابرویی تبدیل به رودینگیت شده‌اند. در حاشیه برخی از آنها نیز تغییرات جزئی کانی‌شناسی قابل تشخیص است. اما در زون کنتاکت برخی از آنها با پریدوتیت‌های میزبان، سنگهای جدیدی را می‌توان مشاهده کرد که از نظر بافت و ترکیب کانیها از روند خاصی

References

- Abdulahi, A., 2006. Petrology of pillow lavas in the Nain ophiolite (Isfahan province). M.Sc. Thesis, Islamic Azad University of Isfahan, Khorasgan, Iran, 142 pp. (in Persian with English abstract)
- Arai, S., 1992. Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine*, 56(383): 173 – 184.
- Cabanes, N. and Mercier, J.C.C., 1988. Insight into the upper mantle beneath an active extensional zone: the spinel-peridotite xenoliths from San Quintin (Baja California, Mexico). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 100(3): 374 – 382.
- Davoudzadeh, M., 1972. Geology and Petrography of the area north of Nain, Central Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Report 14, 92 pp.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman J., 1992. An introduction to the rock forming minerals. Pearson Education Limited, United Kingdom, 712 pp.
- Dilek, Y., 2003. Ophiolite concept and the evolution of geological thought. *Geological Society of America Special Paper* 373, 504.
- Evans, B.W., 1977. Metamorphism of alpine peridotite and serpentinite. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 5: 397-445.
- Falahati, S., 2006. Mineralogy and petrology of Rodingite in Nain ophiolite. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 129 pp. (in Persian with English abstract)

- Ghazi, J.M., Rahgoshay, M., Moghadam, H.S. and Moazzen, M., 2010. Geochemistry of gabbroic pockets of a mantle sequence in the Nain ophiolite (Central Iran): Constraints on petrogenesis and tectonic setting of the ophiolite. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen* 187(1): 49 – 62.
- Ghohraeipour, M., 2001. Petrology of Listvenite processes in northern part of the Nain ophiolite. M.Sc. Thesis, University of Tarbiat Moalem, Tehran, Iran, 154 pp. (in Persian with English abstract)
- Hassanipak, A. A., Ghazi, A. M., 2000. Petrochemistry, ^{40}Ar - ^{39}Ar ages and tectonics of the Nain ophiolite, Central Iran. Geological Society of America, Annual Meeting, Reno, Nevada.
- Jabbari, A., 1997. Geology and petrology of the northern Nain ophiolites. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 162 pp. (in Persian)
- Kepezhinkas, P.K., Defant, M.J. and Drummond, M.S., 1995. Na metasomatism in the island-arc mantle by slab melt-peridotite interaction: evidence from mantle xenoliths in the North Kamchatka arc. *Journal of Petrology*, 36(6): 1505–1527.
- Manochehri, Sh., 1997. The petrography and petrology of the Nain ophiolitic melange. M.Sc. Thesis, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran, 207 pp. (in Persian with English abstract)
- Pessagno, E.A. Jr., Ghazi, A.M., Kariminia, S.M., Duncan, R.A., and Hassanipak, A.A., 2004. Tectonostratigraphy of the Khoy complex, Northwestern Iran. *Stratigraphy*, 1(2): 49-63.
- Pirnia Naeini, T., 2006. Petrology of mantle peridotites of the Nain ophiolite. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 191 pp. (in Persian with English abstract)
- Rahmani, F., 2004. Petrology of sheeted dikes in the Nain ophiolite (Central Iran). M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran. 127 pp. (in Persian with English abstract)
- Rahmani, F., Noghreyan, M. and Khalili, M., 2007. Geochemistry of sheeted dikes in the Nain ophiolite (central Iran). *Ofioliti*, 32(2) 119 – 129.
- Rezaei, Z., 2006. Petrology of plagiogranites in the Nain ophiolite (Central Iran). M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 139 pp. (in Persian with English abstract)
- Saeidi, M., 2006. Study of Listvenite petrogenesis and ultramafic rocks in north of Nain (Central Iran). M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 120 pp. (in Persian with English abstract)
- Shirdashtzadeh, N., 2006. Petrology of metamorphic rocks in the Nain ophiolite (Isfahan province). M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran. 194 pp. (in Persian with English abstract)
- Shirdashtzadeh, N., Torabi G. and Arai, S., 2010. Metamorphism and metasomatism in the Jurassic Nain ophiolitic mélange, Central Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 255(3): 255-275.
- Shirdashtzadeh, N., Torabi, G. and Arai, S., 2011. Two Mesozoic oceanic phases recorded in the basic and metabasic rocks of the Nain and Ashin-Zavar ophiolitic mélanges (Isfahan province, Central Iran). *Ofioliti*, 36(2): 191-205.
- Spear, F.S., 1995. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America, Washington, 799 pp.
- Stocklin, J., 1974. Possible ancient continental margin in Iran. In: C.A. Burk, and C.L. Drake (Editors), *Geology of Continental Margins*. Springer, New York, pp. 873-887.
- Torabi, G., 2012. *Central Iran ophiolites*. Jahad daneshgahi, Isfahan, 443 pp. (in Persian)
- Yardley, B.W.D., 1989. *An introduction to metamorphic petrology*. Longman, London, 284 pp.