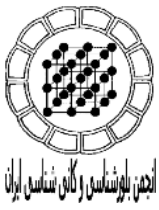
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و چهارم، شمارهٔ اول، بهار ۹۵، از صفحهٔ ۴۵ تا ۵۶



توزیع ژئوشیمیایی عناصر اصلی، جزئی و کمیاب در گستره‌ی کرومیت‌های توده‌ی افیولیتی نیریز

مهرداد کریمی*، سیده زهرا حسینی، کمال نوری خانکهدانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز

(دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۹، نسخه نهایی: ۹۴/۲/۲۸)

چکیده: ذخایر کرومیتی ناحیه‌ی نیریز به شکل عدسی و گاه رگه مانند درون سنگ‌های میزبان دونیتی و هارزبورژیت‌های سرپانتینی شده جایگزین شده‌اند. کرومیت به همراه اولیوین‌های سرپانتینی شده کانی‌های اصلی و هماتیت و مگنتیت کانی‌های فرعی کانسنگ کرومیتی را تشکیل می‌دهند. جز کرومیت، کانی‌های دیگر خاستگاه ثانویه دارند و در ارتباط با پدیده سرپانتینی شدن پدیدار شده‌اند. این در حالی است که به همراه کرومیت، تنها شمار اندکی از کانی‌ها مانند پنتلاندیت دارای خاستگاه اولیه‌اند. فلز آزاد مس، کالکوپیریت و بورنیت در میان ریز درزه‌های کرومیت پر شده از سرپانتین به صورت ثانویه تشکیل شده‌اند. نتایج به‌دست آمده از داده-های ژئوشیمیایی کانسنگ کرومیت نیریز نشان دهنده‌ی نوع کرومیت آلپی است. علی‌رغم فراوانی بیش‌تر LREE نسبت به HREE تنها شش عنصر Dy، Eu، La، Lu، Nd و Y بیش‌ترین فراوانی را در میان دیگر عناصر دارند. در نهایت، کانسنگ‌های بررسی شده دارای عیار کرومیت در حد اقتصادی بوده ولی میزان عناصر کمیاب ناچیز و فاقد ارزش اقتصادی است.

واژه‌های کلیدی: *افیولیت نیریز؛ کرومیت آلپی؛ سرپانتینی شدن؛ عناصر کمیاب.*

مقدمه

افیولیت‌ها، مجموعه‌ی سنگی ناهمگن و متنوعی هستند که عموماً در مناطقی با فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید ظاهر می‌شوند [۱]. شواهد زمین‌شناسی و چگونگی پراکنش عناصر خاکی کمیاب نشانگر آن است که ترکیب شیمیایی افیولیت‌ها همانند سنگ‌کره اقیانوسی است. داشتن کرومیت، سولفید مس توده‌ای، کانی‌های گروه پلاتین و نیز عناصر خاکی کمیاب از ویژگی‌هایی است که به مجموعه‌های افیولیتی ارزش اقتصادی می‌دهند. کانسارهای کرومیت نوع آلپی (انانه‌ای) همراه با دنباله‌های افیولیتی که در پوسته‌ی اقیانوسی تشکیل شده‌اند به همراه بسیاری از کانسارهای دیگر یافت می‌شوند [۲]. خاستگاه کرومیت‌های انبانه‌ای، محیط زمین‌ساختی و ترکیب شیمیایی آن‌ها یکی از موضوعات مورد بحث در زمین‌شناسی است [۳]. برخی از ترکیب‌های کمیاب و عناصر خاکی نادر همراه با کرومیت‌ها یافت می‌شوند. پیش از این وجود عناصر خاکی نادر در کرومیت‌های مجموعه افیولیتی مناطق اسفندقه، فاریاب و خواجه جمالی نیز گزارش شده است[۴].

تاکنون روی افیولیت‌های منطقه نیریز بررسی‌های زیادی صورت گرفته است [۵-۹]. با توجه به اینکه اغلب این پژوهش-های در مورد سنگ‌شناسی، ژئوشیمی عناصر اصلی و جایگاه زمین‌ساختی آن‌ها است، ابهاماتی در مورد چگونگی توزیع ژئوشیمیایی عناصر جزئی و کمیاب در گستره‌ی کرومیتیت‌های توده‌ی افیولیتی نیریز وجود دارد. لذا در این پژوهش سعی شد تا با بررسی‌های دقیق ژئوشیمی عناصر جزئی و کمیاب پرده از ابهامات ژئوشیمیایی کانسنگ‌های کرومیتی منطقه برداشته شود.

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۱۱۲۸۸۵۶، نمابر: ۳۸۲۲۹۹۹۴ (۰۷۱)، پست الکترونیکی: karimimehrdad63@yahoo.com

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]

منطقه‌ی مورد بررسی

توده‌های افیولیتی نیریز به‌صورت یک کمربند کشیده به طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر با روند شمال‌غربی – جنوب‌شرقی دیده می‌شوند که از شمال نیریز شروع و تا شمال روستای طشک و اسلام آباد ادامه دارد. منطقه‌ی مورد بررسی در شهرستان نیریز در شرق استان فارس (۲۱۰ کیلومتری شرق شیراز) واقع شده است. از نظر دسترسی، راه‌های متعددی به شهرستان نیریز وجود دارند که مهمترین آن‌ها جاده‌ی آسفالته درجه‌ی یک شیراز – استهبان – نیریز به طول ۲۰۳ کیلومتر و جاده‌ی ارسنجان به آباده طشک است.

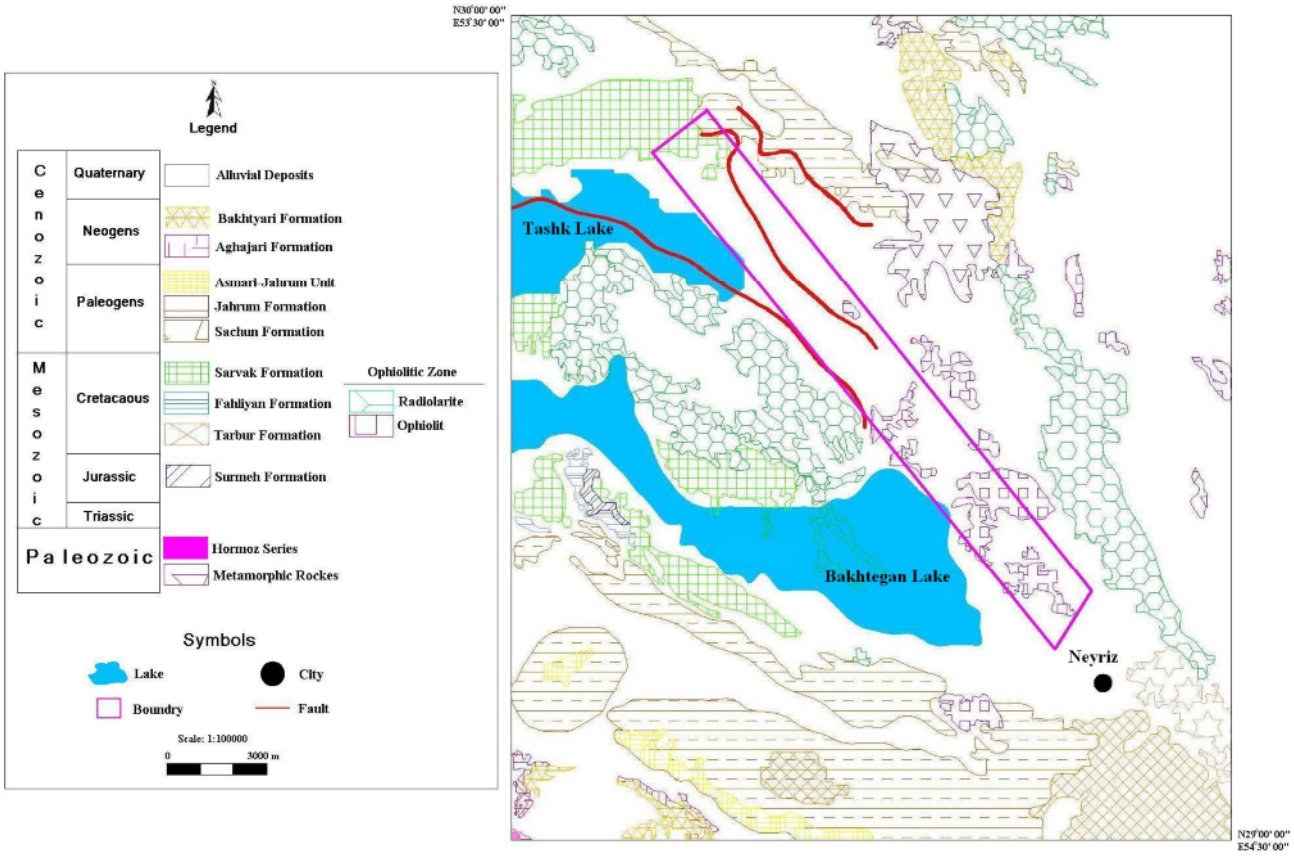
روش بررسی

طی عملیات صحرایی، ۳۸ نمونه از واحدهای سنگی و کانسنگ معادن و شاخص‌های کرومیت از سرتاسر کمربند کرومیتی منطقه برداشت شدند. تعداد ۲۳ مقطع صیقلی و ۱۵ مقطع نازک تهیه شدند که از نظر کانی‌شناسی، ساخت و بافت مورد بررسی کامل قرار گرفتند. به منظور تعیین ژئوشیمی عناصر کمیاب و ارتباط آن با عناصر اصلی، تعداد ۱۶ نمونه کانسنگ برای بررسی به روش ICP-MS توسط شرکت زرآزما (تهران) به آزمایشگاه ژئوشیمی Lab West استرالیا و ۱۶ نمونه از کرومیتیت‌های منطقه برای بررسی به روش XRF به آزمایشگاه ژئوشیمی شرکت کانساران بینالود (تهران) ارسال شدند. پس از دریافت نتایج، با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای Excel، SPSS و MinPet نمودارهای توزیع ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و اکسیدهای اصلی ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد بررسی (شکل ۱)، بخشی از منطقه‌ی زاگرس چین‌خورده و زاگرس رورانده است.



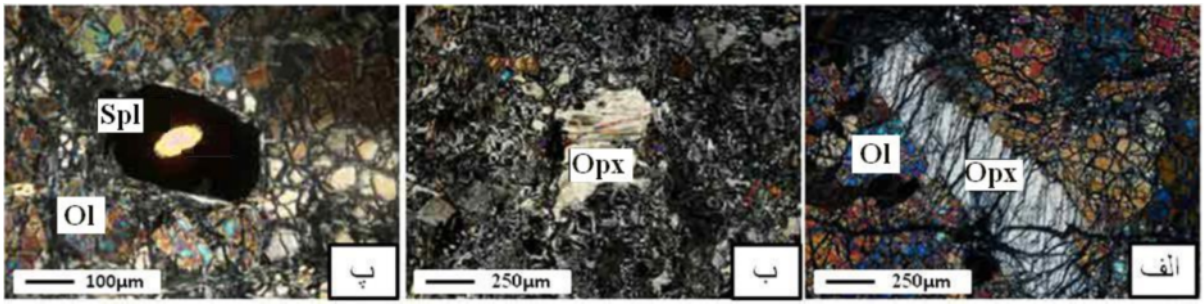
شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه‌ی نیریز، اقتباس از [۱۰].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]

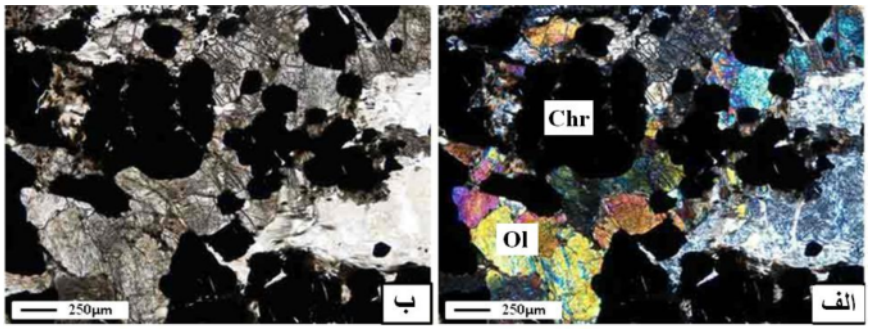
سنگ‌نگاری

سنگ‌های سازند منطقه، با توجه به ترکیب آن‌ها، به چند گروه: پریدوتیت، پیروکسنیت، گابرو، دایک‌های دیابازی، سنگ‌های بازالتی، رادیولاریت، سرپانتینیت [۱۱] توده‌های کوچکی از سنگ‌های دگرگون، توده‌های کرومیت و رگچه‌های منیزیت تقسیم می‌شوند.

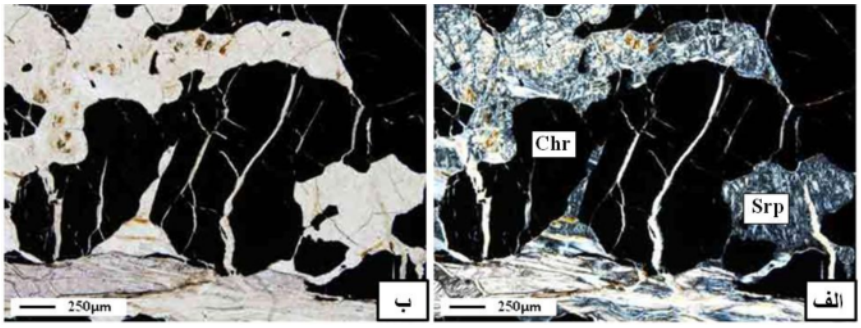
گسترده‌ترین سنگ‌های توده‌ی افیولیتی نیریز را دونیت، هارزبورژیت، کمی لرزولیت و پیروکسنیت همراه با نوریت، گابرو، سرپانتینیت و کرومیتیت با سنگ میزبان اغلب دونیتی و گاه هارزبوزژیتی تشکیل می‌دهند. این دونیت ها شامل کانی-های اولیوین، پیروکسن و اسپینل‌کرومیت است (شکل ۲)، که تحت تأثیر تنش‌های زمین‌ساختی [۱۲] و گاه پیدایش شکستگی‌های کششی ناشی از فرآیند سرپانتینی شدن، شدیداً شکسته و خرد شده‌اند. کانی‌های اصلی در هارزبورژیت‌ها شامل اولیوین و ارتوپیروکسن هستند (شکل ۳). دونیت‌ها و پیروکسنیت‌ها بر اثر دگرسانی به شدت سرپانتینی شده‌اند و چون فراوان‌ترین کانی قابل تشخیص در آن‌ها سرپانتین است آن را سرپانتینیت می‌نامند (شکل ۴). پیروکسن‌ها و کمی پلاژیوکلاز از کانی‌های تشکیل دهنده پیروکسنیت‌ها محسوب می‌شوند (شکل ۵). گابروها شامل ارتوپیروکسن، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و اولیوین است (شکل ۶). کانی‌های اصلی کرومیتیت‌ها شامل کرومیت و اولیوین (سرپانتین) است که گاه دارای آغشتگی‌هایی از کانی های ثانویه مس هستند و عموماً دارای بافت پوست‌پلنگی هستند.



شکل ۲ مقطع نازک از پریدوتیت های بررسی‌های نیریز، الف) دونیت حاوی اولیوین و پیروکسن XPl، ب) دونیت سرپانتینی شده حاوی ارتوپیروکسن XPL، پ) دونیت حاوی اولیوین و اسپینل‌کرومیت XPL.



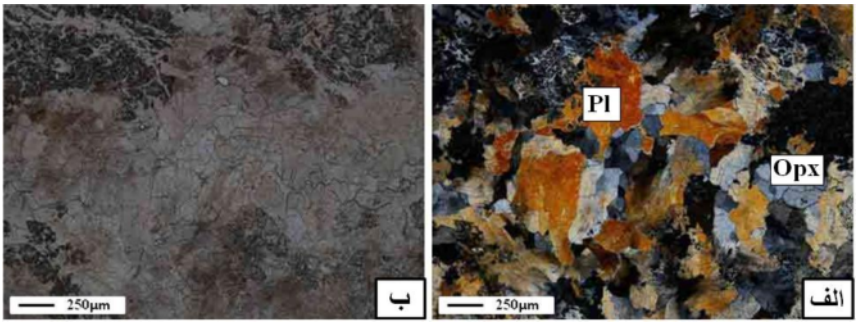
شکل ۳ هارزبورژیت تجزیه شده همراه با کرومیت بلورین الف) XPL، ب) PPL.



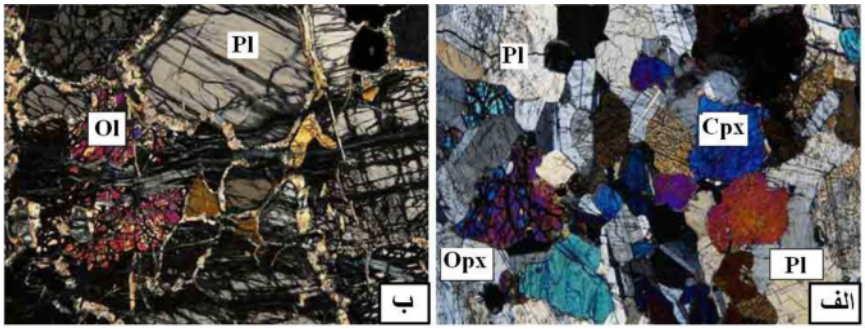
شکل ۴ کرومیت همراه با سرپانتین الف) XPL، ب) PPL.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]



شکل ۵ نوریت با کانی‌های ارتوپیروکسن و پلاژیوکلاز الف) XPL، ب) PPL.



شکل ۶ الف) پلاژیوکلاز، ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن در گابرو XPL ، ب) کانی اولیوین در گابروی الیوین‌دار XPL.

کانه‌نگاری

کانه‌های اصلی کانسنگ کرومیت عبارتند از کرومیت، ماگنتیت، پیروتیت، پنتلاندیت و ایلمنیت. در برخی نقاط سولفیدها و کربنات‌های ثانویه مس، اکسید آهن و همچنین کالکوپیریت، بورنیت و روتیل نیز به عنوان نشانه‌های فرایندهای ثانویه به عنوان کانی فرعی یافت می‌شوند. کرومیتیت‌ها اغلب در پیکره-های دونیتی درون پریدوتیت‌ها یافت می‌شود که هر دو به شدت سرپانتینی شده‌اند (شکل ۷ الف). انبوهه‌های کرومیتی اغلب گردشده (شکل ۷ ب) و آثار دگرشکلی نیز در آن‌ها مشاهده می‌شوند ولی گاهی نیز به‌صورت زاویه‌دار (شکل۷پ) مشاهده می‌شوند که نشان‌دهنده‌ی تأثیر نیروهای زمین ساختی بر آن‌ها است. این کانسنگ ها اغلب دارای بافت افشان، پوست-پلنگی، موزاییکی و کاتاکلاستیک‌اند (شکل ۷ت) که از ویژگی های کانسارهای کرومیت نوع آلپی به شمار می‌روند [۱۳].

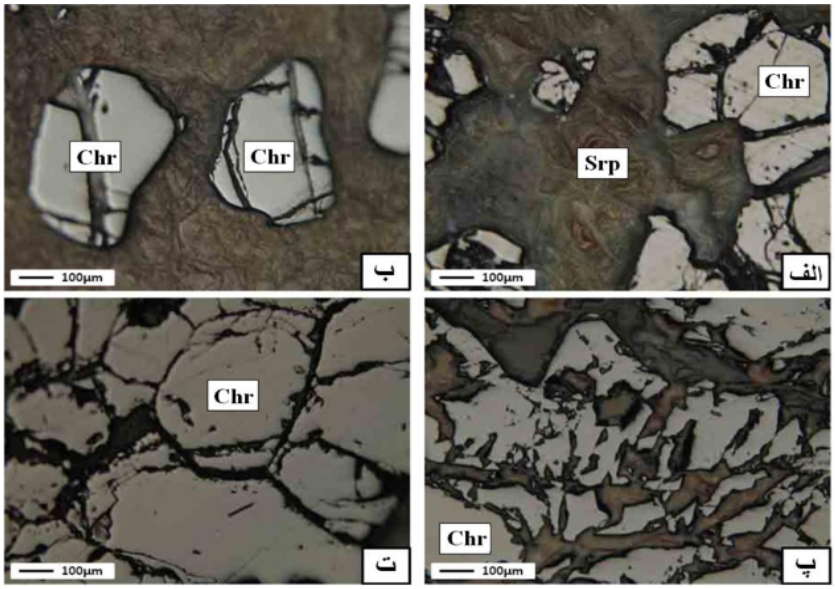
توده‌های کرومیتی به دو صورت توده‌ای و افشان دیده می-شوند. در کرومیت‌های توده‌ای عیار کانسنگ بیشتر بوده و سنگ بیشتر از بلورهای کم و بیش درشت کرومیت تشکیل شده است که مقداری کانی سیلیکاتی آن را همراهی می‌کند. در این نوع کانسنگ بافت موزاییکی عمومیت داشته و دگرشکلی‌های پسا تبلور در آن دیده می‌شود. در کرومیت‌های افشان بلورهای کرومیت به‌صورت یکنواخت بین کانی‌های سیلیکاتی پراکنده‌اند و معمولاً عیار کمتری دارند. در این نوع کانسنگ بافت افشان و پوست‌پلنگی گسترش بیشتری دارد و گاه رگچه‌های کربناتی منیزیت درآن دیده می‌شود.

کرومیت‌های منطقه بر اثر فشارهای شدید و قرارگیری در منطقه‌ی گسلی، دارای بافت کاتاکلاستیک هستند ولی گاهی بافت میلونیتی نیز مشاهده می‌شود که حاصل روراندگی زاگرس و گسل‌های فرعی وابسته به آن است. این بافت‌ها به‌طور کلی به فرایند سرپانتینیتی شدن وابسته بوده و در مراحل پس از پیدایش کرومیتیت‌ها، بیشتر در مراحل جایگیری توده‌های اولترامافیک میزبان در مناطق زمین‌ساختی فعال و پس از آن تشکیل شده‌اند [۱۴] در واقع منطقه‌های گسلی بستری مناسب برای دگرسانی‌هایی مانند سرپانتینی شدن [۱۵] را فراهم کرده‌اند.

زمین‌شیمی اکسیدها و عناصر اصلی و جزئی

جدول ۱ نتیجه بررسی شیمیایی به روش XRF را در نمونه-های برداشت شده نشان می‌دهد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]



شکل ۷ الف) کرومیت با شکستگی‌های پر شده با سرپانتین، ب) کرومیت‌های شکسته و گردشده، پ) کرومیت‌های زاویه‌دار، ت) بافت پوست-پلنگی در کرومیت (PPL).

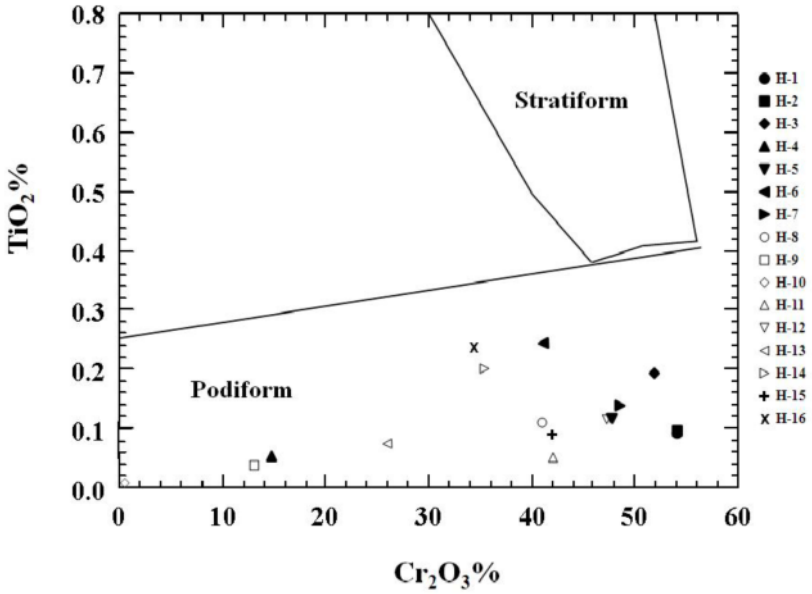
جدول ۱ نتایج آنالیز XRF کانسنگ‌های کرومیت منطقه‌ی مورد بررسی برحسب درصد.

نمونه	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9	H-10	H-11	H-12	H-13	H-14	H-15	H-16
واحد	کرومیت	کرومیت	کرومیت	دونیت کرومیت دار	کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت	دونیت کرومیت دار	دونیت کرومیت دار	کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت
SiO_2	۱٫۵	۲٫۸۷	۲٫۹۴	۲۵٫۰۷	۵٫۸	۹٫۵۵	۵٫۸۶	۱۰٫۱۱	۲۶٫۳۲	۳۸٫۵۳	۶٫۴	۶٫۵۲	۱۹٫۴۵	۱۴٫۲۶	۹٫۵	۱۲٫۱۶
TiO_2	۰٫۰۸۶	۰٫۰۸۷	۰٫۱۹۷	۰٫۰۴	۰٫۰۹۴	۰٫۱۴۷	۰٫۱۲۲	۰٫۰۹۴	۰٫۰۳۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۵۹	۰٫۰۹۴	۰٫۰۷۴	۰٫۲۰۶	۰٫۰۸۴	۰٫۱۵۱
Al_2O_3	۵٫۴	۴٫۴۷	۵٫۵۷	۰٫۵۸	۳٫۳	۶٫۳۸	۳٫۷۷	۲٫۶۴	۰٫۷۵	۰٫۴۳	۸٫۰۰	۳٫۴	۱٫۲۴	۵٫۹۵	۳٫۶۳	۳٫۳
Cr_2O_3	۵۴٫۳۴	۵۴٫۴۷	۵۱٫۸۷	۱۶٫۵	۴۶٫۸۸	۴۱٫۷۲	۴۷٫۴۹	۴۱٫۶۲	۱۳٫۳۵	۰٫۴۱	۴۲٫۳۱	۴۶٫۷۹	۲۵٫۹۸	۳۵٫۳۷	۴۱٫۷۵	۳۷٫۳۹
Fe_2O_3	۳٫۴۸	۳٫۳	۳٫۷۴	۲٫۰۱	۳٫۳۳	۳٫۲۷	۳٫۷۱	۲٫۹۵	۱٫۶۹	۱٫۴۱	۳٫۶۹	۳٫۵	۲٫۱۹	۳٫۷۶	۳٫۳۴	۳٫۵۱
FeO	۱۷٫۶۷	۱۶٫۷۷	۱۸٫۹	۱۰٫۲۱	۱۶٫۸۷	۱۶٫۵۶	۱۸٫۸	۱۴٫۹۵	۸٫۶	۷٫۱۷	۱۸٫۷۵	۱۷٫۷۵	۱۱٫۱۲	۱۸٫۵	۱۶٫۹۴	۱۷٫۷۸
MnO	۰٫۳۰۷	۰٫۰۳۱	۰٫۳۰۳	۰٫۱۹۴	۰٫۳۲۲	۰٫۲۷۸	۰٫۳۷۴	۰٫۲۸۹	۰٫۱۵۹	۰٫۱۶۹	۰٫۳۱۲	۰٫۳۳۳	۰٫۲۲۸	۰٫۳۰۸	۰٫۳۴۳	۰٫۳۰۹
MgO	۱۴٫۵۶	۱۳٫۸۲	۱۳٫۲۵	۳۲٫۱۱	۱۶٫۵۳	۱۷٫۱۸	۱۵٫۰۶	۲۰٫۴۴	۳۵٫۴۶	۳۸٫۵۶	۱۵٫۲۲	۱۷٫۱۷	۳۰٫۰۲	۱۴٫۵۶	۱۹٫۱۴	۲۰٫۲۲
CaO	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۱	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۳۶	۰٫۰۵	۰٫۱۳	۰٫۱۶	۰٫۵۶	۰٫۲۲	۰٫۰۰	۰٫۱۸	۴٫۷۱	۰٫۳۳	۰٫۰۵
Na_2O	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲
K_2O	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲
P_2O_5	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲
L.O.I	۰٫۰۱	۱٫۲۴	۰٫۰۲	۱۱٫۱۱	۴٫۵۶	۲٫۰۲	۲٫۰۳	۴٫۰۲	۱۱٫۹۳	۱۱٫۵۱	۱٫۸	۱٫۹۴	۷٫۵۵	۰٫۲۳	۲٫۳۲	۲٫۴۲
Al	۰٫۱۸	۰٫۱۸۷	۰٫۲۷۱	۰٫۱۵۲	۰٫۱۳۲	۰٫۱۷۶	۰٫۱۸۷	۰٫۱۱۶	۰٫۰۶۶۸	۰٫۰۱۳۸	۰٫۴۹۰	۰٫۳۰۴	۰٫۰۵۱۵	۰٫۸۷۳	۰٫۳۱۳	۰٫۱۷۵
Cr	۰٫۳۱۳	۰٫۱۸۸	۰٫۸۹۱	۰٫۱۸۰	۰٫۱۶۹	۰٫۱۶۹	۰٫۱۶۸	۰٫۱۷۹	۰٫۱۹۰	۰٫۰۱۰۶	۰٫۹۲۴	۰٫۲۶۴	۰٫۱۱۱	۰٫۸۱۵	۰٫۲۳۱	۰٫۲۳۰
Fe	۰٫۵۳۳	۰٫۸۴۱	۱٫۰۱	۰٫۹۸۵	۱٫۲۱	۱٫۱۲	۱٫۰۴	۰٫۹۲۷	۱٫۰۴	۴٫۷۶	۱٫۳۲	۱٫۲۲	۱٫۷۹	۱٫۳۳	۱٫۲۵	۱٫۲۵
Mg	۱٫۴۹	۲٫۵۵	۳٫۰۷	۶٫۸۳	۶٫۱۹	۷٫۹۱	۶٫۱۱	۴٫۴۴	۷٫۷۲	۳۰٫۰۰	۳٫۴۸	۴٫۷	۱۳٫۷	۵٫۰۹	۵٫۹۹	۵٫۲۷

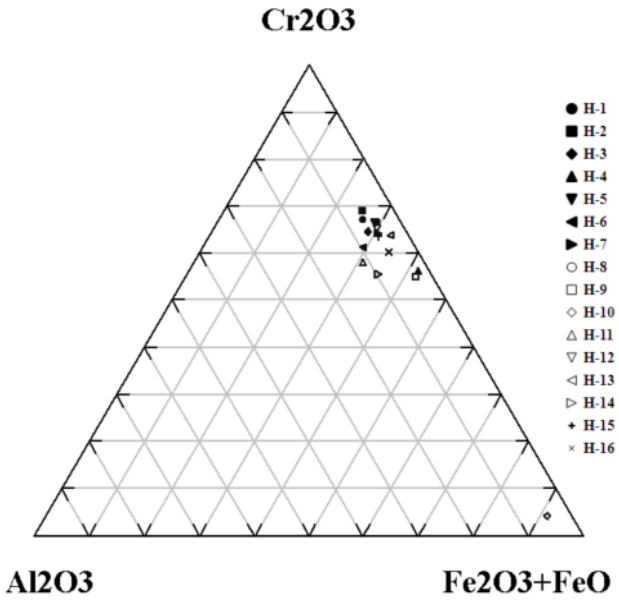
اعتقاد بر این است که ترکیب شیمیایی بلورهای کرومیت در نهشته‌های کرومیتیتی می‌تواند شاخصی از انواع مختلف ماگما باشد [۱۶]. مقدار TiO_2 در کرومیت‌های منطقه نیریز ناچیز است (با میانگین ۰٫۰۹۸ درصد)، که یکی از ویژگی‌های کرومیت آلپی است [۱۷]. بنابر شکل ۸ کرومیت‌های منطقه در گستره‌ی کرومیت‌های انبانی قرار دارند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌های شیمیایی و انتقال آن‌ها روی نمودار مثلثی ACF [۱۸]، محل و موقعیت کانی کرومیت از نظر ترکیب کانی‌شناختی و برحسب اکسیدهای Fe_2O_3 + FeO، Cr_2O_3 و Al_2O_3 در کانسنگ مشخص شده است (شکل ۹). چنانکه در نمودار نیز مشاهده می‌شود، کانی کرومیت منطقه ترکیبی در حد فروکرومیت دارد که غنی از کروم بوده و از نظر آلومین در حد پایینی قرار دارد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]



شکل ۸ موقعیت کرومیت‌های نیریز در نمودار $Cr_2O_3 - TiO_2$ [۱۷].



شکل ۹ ترکیب کانی‌شناختی کرومیت‌های نیریز (ACF) [۱۸].

همبستگی ضعیف میان $Cr_2O_3 - SiO_2$ (شکل ۱۰الف) حاکی از آن است که در اتاقک ماگمایی منطقه‌ی نیریز تبلور فاز سیلیکاتی برخلاف تبلور کرومیت بوده است. بنابراین عنصر Cr نتوانست در ساختار کانی‌های سیلیکاتی شرکت کند و به‌صورت اکسید کانی کرومیت را تشکیل داده است.

همبستگی مثبت و بالای $Cr_2O_3 - Fe_2O_3$ (شکل ۱۰ب) نشان دهنده‌ی تبلور هم‌زمان مگنتیت با کرومیت درون محفظه ماگمایی و نیز حضور مقادیر چشمگیر Fe در ساختار بلورین کانه‌ی کرومیت است. به همین دلیل کرومیت‌های منطقه نیریز غنی از آهن بوده و به‌عبارتی مگنتوکرومیت به‌شمار می‌روند.

همبستگی ضعیف میان $Cr_2O_3 - CaO$ (شکل ۱۰پ) به دلیل پایین بودن نقطه‌ی ذوب Ca نسبت به کرومیت است، به همین دلیل کلسیم به‌صورت گدازه در ماگما باقی می‌ماند و در فازهای بعدی وارد ترکیب پلاژیوکلاز و پیروکسن می‌شود.

همبستگی ضعیف $Cr_2O_3 - MgO$ (شکل ۱۰ت) به دلیل وارون بودن تبلور فازهای سیلیکاتی مانند فورستریت با فاز ناسیلیکاتی کرومیت است. در واقع تبلور دو عنصر Cr و Mg

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]

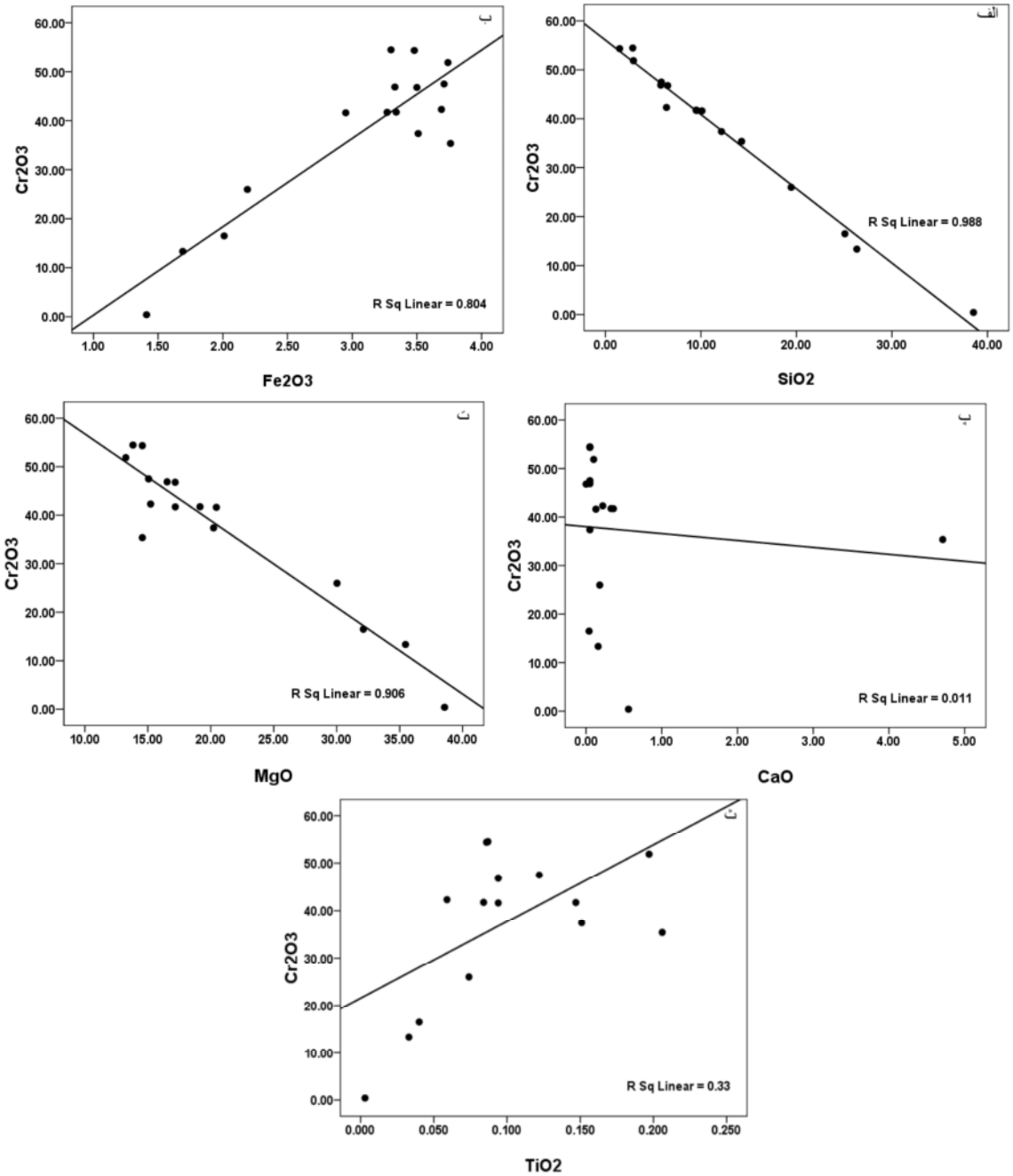
برخلاف یکدیگر انجام می‌شود. عنصر Mg در ساختار سیلیکات‌هایی مانند اولیوین‌ها و پیروکسن‌ها شرکت کرده و Cr کانه‌ی کرومیت را تشکیل داده و از ماگمای مادر جدا کرده است.

به‌علت درجه‌ی بالای ذوب Ti، مقداری از این عنصر در ترکیب اولیوین وارد شده و نیز هنگام تبلور و ته‌نشست کرومیت و اولیوین، مقداری Ti نیز جانشین Fe و وارد کانسنگ شده و موجب بالا رفتن درصد Ti در آن می‌شود که این روند باعث همبستگی مثبت میان $Cr_2O_3 - TiO_2$ می‌شود (شکل ۱۰ث).

بنابر شکل ۱۱ همه‌ی نمونه‌ها جز یکی، در گستره‌ی هم-پوشانی کرومیت‌های چینه‌سان و انبانی قرار گرفته‌اند.

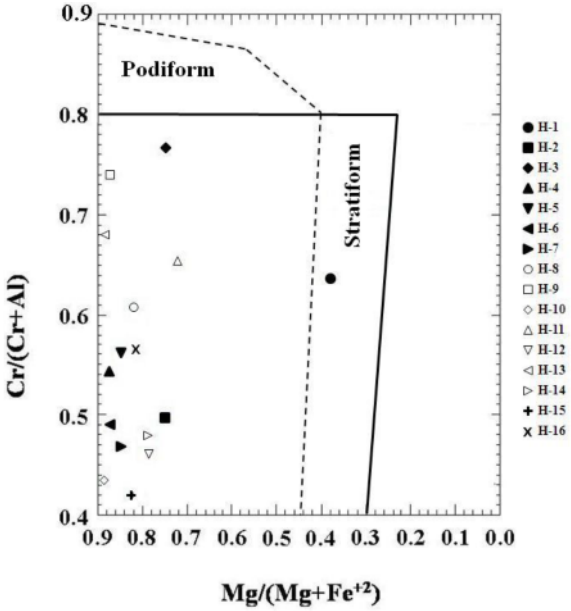
زمین‌شیمی عناصر خاکی نادر

نتایج حاصل از بررسی شیمیایی به روش ICP-MS عناصر خاکی نادر نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده‌اند.



شکل ۱۰ الف) نمودار همبستگی $Cr_2O_3 - SiO_2$، ب) نمودار همبستگی $Cr_2O_3 - Fe_2O_3$، پ) نمودار همبستگی $Cr_2O_3 - CaO$، ت) نمودار همبستگی $Cr_2O_3 - MgO$، ث) نمودار همبستگی $Cr_2O_3 - TiO_2$.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]



شکل ۱۱ نمودار نسبت منیزیم نسبت به کروم کانسنگ کرومیت [۱۹].

جدول ۲ نتایج آنالیز ICP-MS عناصر خاکی نادر کرومیت‌های منطقه نیریز برحسب ppm.

Sample	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9	H-10	H-11	H-12	H-13	H-14	H-15	H-16
Unit	کرومیت	کرومیت	کرومیت	دونیت حاوی کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت	دونیت حاوی کرومیت	دونیت حاوی کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت	کرومیت
Ce	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۳	۰٫۶۷	۰٫۲۶	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۱۱	۰٫۱۷	۰٫۰۵
Dy	۰٫۱۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۶۱	۰٫۲۶	۰٫۱۷	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۱۵	۰٫۰۲	۰٫۱	۰٫۳۲	۰٫۱۲	۰٫۰۴
Er	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۱۹	۰٫۰۵	۰٫۰۵
Eu	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۲۶	۰٫۱۱	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۱
Gd	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۰۴
Ho	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۰٫۰۱	۰٫۰۲
La	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۵۴	۰٫۴۵	۰٫۳۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۱۱	۰٫۱۵	۰٫۰۵
Lu	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۸	۱٫۵۳	۰٫۲۷	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱
Nd	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۴۶	۰٫۳۵	۰٫۳۵	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۱۱	۰٫۱	۰٫۰۳
Pr	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۳
Sm	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۲
Tb	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲
Tm	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵
Y	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۲۴	۰٫۰۳	۰٫۴۱	۰٫۰۹	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۱	۰٫۰۵	۰٫۱۳	۱٫۹۱	۰٫۲۲	۰٫۳۲
Yb	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۲۱	۰٫۰۵	۰٫۰۵

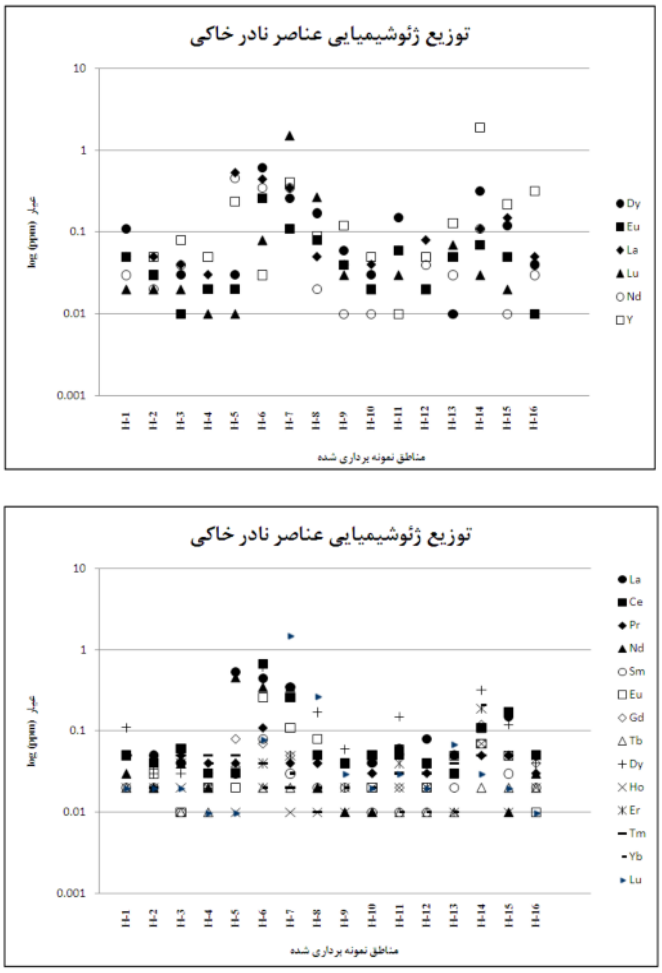
شکل ۱۲ نمودارهای توزیع ژئوشیمیایی عناصر کمیاب موجود در منطقه را در نشانه‌های کرومیت از شمال‌غرب به جنوب‌شرق توده‌ی افیولیتی نیریز نشان می‌دهند. چگونگی توزیع تمامی این عناصر تقریباً مشابه یکدیگر است؛ که نشان از خاستگاه یکسان آن‌هاست. همه عناصر خاکی نادر دارای رفتار ژئوشیمیایی یکسانی هستند [۲۰]. اختلاف‌های کوچک که از نظر رفتار و اندازه‌ی بین عناصر خاکی نادر وجود دارند، باعث می‌شود که این عناصر در اثر برخی فرآیندهای زمین‌شیمیایی از یکدیگر جدا شوند [۲۱]. از جدایش REE می‌توان به چگونگی تشکیل کانی‌ها و یا سنگ‌ها در تعیین ماهیت فرایندهای زمین‌شناختی استفاده کرد [۲۲]. PHهای پایین و بالا به ترتیب باعث شستشو و ترسیب REE در سیستم‌های دگرسانی می‌شوند [۲۳]. با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی REE، به نظر می‌رسد که کانی‌های سیلیکاتی تحت تأثیر گرماب‌های دربردارنده‌ی CO_2 قرار گرفته‌اند و عناصر کمیاب شبکه آن‌ها شسته شده و به حالت اکسایش وارد گرماب‌ها

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]

شده‌اند. دمای گرماب‌ها مجموعه‌های افیولیتی در زمان سرپانتینی شدن پایین و pH آن‌ها در حدود خنثی تا قلیایی است. در چنین حالتی شرایط لازم برای شستشوی REE و جابه‌جایی آن‌ها فراهم می‌شود. رخداد هرگونه تغییرات فیزیکی و شیمیایی در گرماب‌ها، از قبیل کاهش دما، تغییر pH، سبب ته‌نشست عناصر کمیاب در شکستگی‌های ریز در کرومیت‌ها خواهد شد [۲۴]. نمودار توزیع ژئوشیمیایی تمامی عناصر کمیاب جز Dy، نزولی است. با وجود این تمام عناصر جز عنصر Lu در سه نقطه دارای بی‌هنجاری شدیدتر هستند. در اینجا از بررسی دیگر عناصر کمیاب به دلیل عیار بسیار کم خودداری شده است.

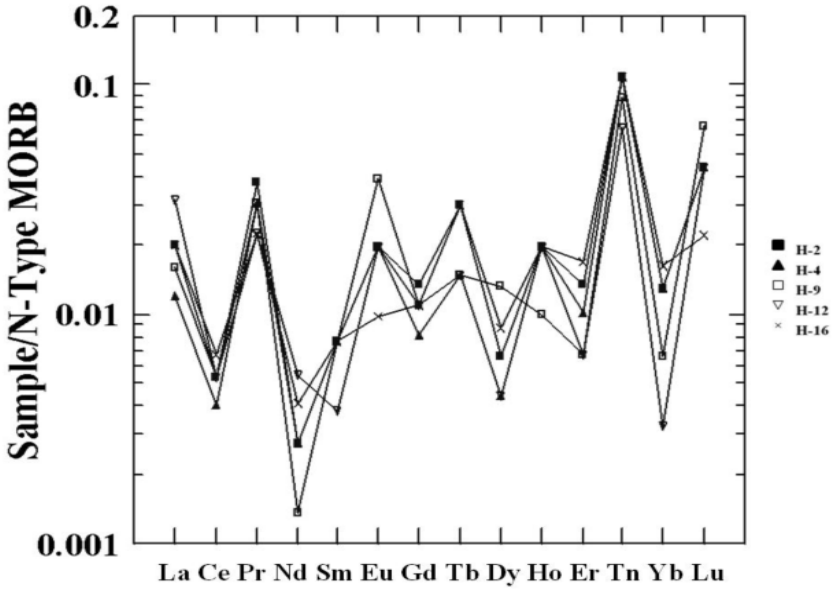
بنابر شکل ۱۲ روند تغییرات عناصر LREE و HREE در منطقه، تقریباً یکسان بوده و از این تشابه می‌توان به روند جدایش و خاستگاه یکسان ماگمای مادرسنگ آن‌ها پی برد [۲۵]. کرومیتیت‌های نیریز غنی‌شدگی LREE را نسبت به HREE نشان می‌دهند. از این داده‌ها نتیجه می‌شود که REEها در طول دگرسانی گرمابی جدایش یافته و از HREEها تهی شده‌اند. تهی‌شدگی HREEها نشانه‌ی تحرک و الگوی دگرسانی گرمابی در منطقه است [۲۶].

بنابر شکل ۱۳ عناصر کمیاب در نمونه‌های بررسی شده نسبت به MORB تهی شدگی نشان می‌دهند که به دلیل ذوب‌بخشی بالا و تولید حجم زیاد ماگما و در نتیجه کاهش غلظت عناصر کمیاب است. در شکل ۱۴ غلظت عناصر کمیاب در کرومیتیت بین ۰٫۰۲ – ۲٫۰۰ ppm تغییر می‌کند که نسبت به کندریت C1 تهی‌شدگی نشان می‌دهند، که دلیل آن مانند آن‌چه که در مورد شکل ۱۳ گفته شد، قابل توجیه است. به‌علاوه کم بودن غلظت این عناصر را می‌توان به بلورش از یک شاره مشتق از ماگما نسبت داد [۲۷] که از خاستگاه خود فاصله زیادی گرفته است. عناصر Nd و Ce بیهنجاری منفی بیشتری نشان می‌دهند [۲۸]، در صورتی که بیهنجاری Eu مثبت است [۲۹] که هر دو دلیلی بر شرایط احیایی در زمان تشکیل است.

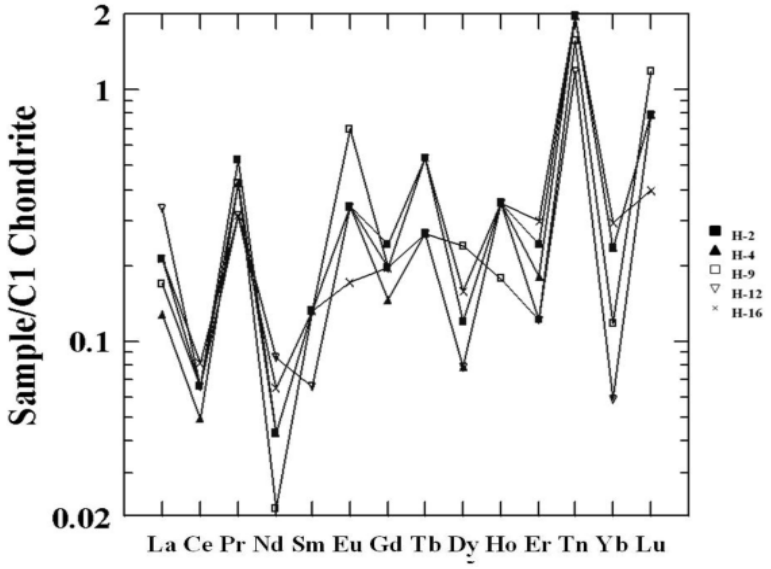


شکل ۱۲ نمودار توزیع ژئوشیمیایی عناصر خاکی نادر.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]



شکل ۱۳ نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب شاخص‌های کرومیت منطقه‌یه نیریز عادی سازی شده نسبت به N-Type MORB [۲۷].



شکل ۱۴ مقادیر بهنجار شده عناصر کمیاب شاخص‌های کرومیت منطقه نیریز نسبت به کندریت C_1 [۳۰].

برداشت

نهشته‌های کرومیت منطقه‌ی نیریز از نوع انبانی و در سنگ‌های دونیت و گاه هارزبورژیت پدیدار شده‌اند. کانی‌های اولیه در آن-ها عبارتند از کرومیت، اولیوین و پیروکسن‌ها همراه با مقادیری مگنتیت و هماتیت. پس از جایگیری مجموعه‌ی افیولیتی کانی-های اولیه در اثر دگرسانی، دگرگونی و هوازدگی، کانی‌های ثانویه دیگری مانند سرپانتین، تالک، کلسیت، هماتیت و هیدروکسیدهای آهن را تشکیل می‌دهند. کانی کرومیت منطقه ترکیبی در حد فروکرومیت دارد که غنی از کروم بوده و از نظر آلومین در حد پایینی قرار دارد.

فازهای فرعی و کمیاب همراه با کرومیت‌های نیریز از دیدگاه خاستگاه به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ گروه نخست مانند پنتلاندیت خاستگاه ماگمایی (اولیه) دارند و درون بلورهای کرومیت جای گرفته‌اند. گروه دوم مانند کالکوپیریت، بورنیت و مس فلزی، ترکیبات عناصر کمیاب و ... خاستگاه گرمابی و ثانویه دارند و بیشتر به فرآیند سرپانتینی شدن وابسته‌اند،

با توجه به بررسی‌های انجام شده کرومیتیت های نیریز غنی‌شدگی LREE را نسبت به HREE نشان می‌دهند که نشانگر جدایش LREE از HREEها طی فرایند دگرسانی

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]

گرمابی است. تهی‌شدگی HREEها نشانه‌ی تحرک و الگوی دگرسانی گرمابی در منطقه است. در کل هرچند این کانسنگ-ها از نظر میزان کروم و گاه مس دارای اهمیت هستند ولی عیار عناصر کمیاب بسیار کم بوده و ارزش اقتصادی ندارند.

مراجع

[1] Ghazi A. M., Chatham B., Hassanipak A. A., Mahoney J. J., Duncan R. A., *"A petrogenetic investigation of the Khoy ophiolite, NW Iran: implications for Tethyan magmatism and ophiolite genesis"*, RIDGE Field School: The Troodos Ophiolite and Mid-Ocean Ridge Processes: Abstract and Field School Notes, Larnaca, Cyprus. Oregon State University, or, USA, (1999) 13.

[2] Nicolas A., *"Structure of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere."*, Kluwer, Dordrecht, (1989) 367 pp.

[3] Rollinson H., *"The geochemistry of mantle chromitites from the northern part of the Oman ophiolite: inferred parental melt compositions"*, Journal of Contributions to Mineralogy and Petrology (2008) 273- 288.

[۴] عابدین زاده و.، *"مطالعه ادخال های جامد واقع در کرومیت های منطقه اسفندقه، فاریاب و آباده طشک"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز (۱۳۷۶).

[5] Hassanipak A., Babaie A., Ghazi M., Arvin M,. *"Geochemical, 40Ar/39Ar age, and isotopic data for crustal rocks of the Neyriz ophiolite, Iran, Can"*, Journal of Earth Science 43 (2006) 57-70.

[6] Babaie A., Ghazi M., La Toura T E, Hassanipak A., *" Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros Crush Zone, Neyriz, Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 19 (2001) 61-76.

[7] Nadimi A R., *"Mantle flow patterns at the Neyriz Paleo-spreading center, Iran"*, Journal of Earth and Planetary Science Letters 203 (2002) 93-104.

[8] Sarkarinejad Kh., *"Structures and microstructures related to steady-state mantle flow in the Neyriz ophiolite, Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 25 (2005) 859–881.

[9] Shafaii Moghadam H., Stern, R. J., *"Geodynamic evolution of Upper Cretaceous Zagros ophiolites: formation of oceanic lithosphere above a nascent subduction zone"*,Geological Magazine, 148, (2011) 762-801.

[۱۰] سبزه‌ئی م.، اشراقی ص.ع.، شانراوان جی ر و.، علایی-مهابادی س.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نیریز"*، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۹۹۶).

[۱۱] شیخی‌کاریزکی ح.، *"سنگ‌های افیولیتی ناحیه خواجه-جمالی (شیراز) و کانسارهای کرومیتی آن"*، چاپ اول. تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵) ۱۶۴ ص.

[۱۲] نوری خانکهدانی ک.، سبزه‌یی م.، طاهرزاده ل.، راستگو م.، جهان‌بخشی ر.، *"کانی‌شناسی و ژئوشیمی اسکارن‌های تنگ حنای نیریز – استان فارس"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲ (۱۳۹۱) ص ۲۱۴-۲۰۱.

[۱۳] رجبی ث.، *"سنگ‌شناسی پریدوتیت‌ها و سنگ‌های آتشفشانی افیولیت ملانژ سورک (استان یزد)"*. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. شماره ۲ (۱۳۹۱) ص ۳۰۶-۲۹۳.

[۱۴] کنعانیان ع.، عطایی م.، میرمحمدی م ص.، امامعلی‌پور ع.، *"سنگ‌شناسی، شیمی کانی و شکل‌گیری کرومیت‌های الند و قشلاق، مجموعه افیولیتی خوی (شمال‌غرب ایران)"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. شماره ۳ (۱۳۸۹) ص ۳۸۰-۳۶۹.

[15] Aftabi A., Zarrinkoub M. H., *"Petrogeochemistry of listvenite association in metaophiolites of Sahlabad region, eastern Iran: Implications for possible epigenetic Cu–Au ore exploration in metaophiolites"*, Lithos 156–159 (2013) 186-203.

[16] Melcher, F., Grum, W., Simon, G., Thalhammer, T. V., Stumfl, F., *" Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirisai Kazakhstan",*: a study of solid and fluid inclusions in chromite, Journal of Petrology, 38: (1997)1419-1458.

[17] Zaccarini, F., Pushkarev, E., Garuti, G., *" Plutinum-group element mineralogy and geochemistry of chromitite of the Kluchevskoy ophiolite complex",* central Urals (Russia), Ore geology review(2001) 33: 20-30.

[18] Suita M T F., Strieder A J., *"Cr-spinel from Brazilian mafic – ultramafic complexes: metamorphic modifications"*, Journal of International Geological Reviews 38 (1996) 245–267.

[19] Dike H. J. B., Bullen T., *"Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine - type pridotites and spatially associated Lavas",*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]

Contributions., Journal of Mineral Petrology 86 (1984) 54-76.

[۲۰] رولینسن هاگ.، *"کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی"*، ترجمه کریم‌زاده ثمرین ع.ر.، تبریز: دانشگاه تبریز، (۱۳۸۱)، ۵۵۷ ص.

[21] Shojaat B, Hassanipak A.A., Mobasher K, Ghazi A.M., *"Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite,North Central Iran"*,Journal of Asian Earth Sciences 21 (2003) 1053–1067

[22] Hill G. T., *"Geology of south western New Mexico fluorite occurrences implication for precious metal exploration in fluorite-Bearing system"*, Journal of Geochemical Exploration 68 (2000) 1-20.

[23] Patino L. C., Velbel M. A., Price J.R., Wade J. A., *"Trace element mobility during spheroidal weathering of basalts and andesites in Hawaii and Guatemala"*, Journal of Chemical Geology 202 (2003) 343-364.

[۲۴] امامعلی‌پور ع.، *"بررسی کانی‌شناسی کانی‌های فرعی و کمیاب همراه با نهشته‌های کرومیت ناحیه خوی"*. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. شماره ۴ (۱۳۸۷) ص ۵۵۹-۵۷۰.

[۲۵] قاسمی ح.، درخشی م.، *"کانی‌شناسی، ژئوشیمی و نقش فرآیند جدایش مکانیکی بلورهای الیوین در تشکیل سنگ‌های آذرین پالئوزوئیک زیرین منطقه شیرگشت، شمال‌غرب طبس، ایران مرکزی"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. شماره ۲ (۱۳۸۷) ص ۲۲۴-۲۰۷.

[26] Cravero F., Marfil S. A., Maiza P. J., "*Statistical analysis of geochemical data: a tool for discriminating between kaolin deposits of hypogene and supergene origin, Patagonia, Argentina",* Journal of Clay Minerals, The Mineralogical Society 45 (2010) 183-196.

[۲۷] رجب‌زاده م ع.، زمان‌ثانی ن.، *"مطالعه کانه‌زایی منگنز همراه با مجموعه آمیزه رنگین افیولیت نیریز در منطقه آباده طشک استان فارس با استفاده از داده‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی"*، مجله زمین‌شناسی اقتصادی شماره ۲ (۱۳۹۲) ص ۲۰۱-۲۱۴.

[28] Harnois L., Trottier J., Morency M., *" Rare earth element geochemistry of Thetford Mines ophiolite complex, Northern Appalachians, Canada"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, , Volume 105, Issue 4, (1990) pp 433-445.

[۲۹] علیزاده ا.، آروین م.، درگاهی س.، *"زمین‌شیمی و پتروژنز پلاژیوگرانیت‌های مجموعه افیولیتی نیریز – ایران: با تأکیدی بر منشأ آن‌ها"*، مجله پترولوژی شماره ۱۲ (۱۳۹۱) ص ۱۴-۱.

[30] Taylor S.R., S.M. McClennan. *"The Continental Crust: Its Composition and Evolution",* Oxford, UK: Blackwell Scientific Publication, Carlton (1985) 312p.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.4.6]