



## مقاله پژوهشی

## شیمی کانی و کانه‌زایی کرومیت در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی، غرب زنجان

پرهام اهراییان فرد<sup>۱</sup>، قاسم نباتیان<sup>۱\*</sup>، میرعلی اصغر مختاری<sup>۱</sup>، مریم هنرمند<sup>۲</sup> و حسین کوهستانی<sup>۱</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(۲) دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، کدپستی ۴۵۱۳۷-۶۶۷۳۱، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

## چکیده

کانسار کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی در باختر استان زنجان و پهنه سنندج-سیرجان واقع شده است. از نظر سنگ‌نگاری، واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد بررسی شامل آمفیبولیت، آمفیبول شیسست، گارنت میکاشیسست و گرانیت گنایسی به سن پرکامبرین به همراه واحدهای اولترامافیک با ترکیب هارزبورژیت سرپانتینیته شده، لرزولیت سرپانتینیته شده، دونیت سرپانتینیته شده و سرپانتینیت است. کانه‌زایی کرومیت در بخش‌های اولترامافیک و درون سنگ میزبان هارزبورژیت‌های سرپانتینیته شده و سرپانتینیت‌ها به صورت دانه پراکنده، عدسی شکل و رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شود. به علت محدود بودن گسترش سنگ میزبان پریدوتیتی، کانه‌زایی نیز گسترش زیادی ندارد و به صورت عدسی‌هایی با طول نهایت تا دو متر و عرض چند سانتی‌متر تا کمتر از یک متر مشاهده می‌شود. بررسی‌های شیمی کانی کروم‌اسپینل‌های منطقه مورد بررسی بیانگر آن است که کانه‌زایی کرومیت در این منطقه از نوع High-Cr و غنی از Mg و فقیر از Ti است. نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد که کانه‌زایی کرومیت در این منطقه از نوع کرومیت‌های افیولیتی نوع پادیفرم بوده و از یک ماگمای بونیتی منشأ گرفته‌اند. بنابراین می‌توان اظهار داشت که کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی در محیط زمین‌ساختی سوپراسابداکشن و در ارتباط با فرورانش اقیانوس پروتوتتیس به زیر بلوک ایران در زمان پرکامبرین-کامبرین تشکیل شده است.

**واژه‌های کلیدی:** شیمی کانی کرومیت، نوع آلپی، کرومیت پادیفرم، پهنه سنندج-سیرجان، قره‌ناز-علم‌کندی، زنجان

## مقدمه

منطقه مورد بررسی در این پژوهش که با عنوان منطقه قره‌ناز-علم‌کندی معرفی شده است، در باختر زنجان و در شمال روستای قره‌ناز، بین طول‌های جغرافیایی  $47^{\circ} 24' 10''$  تا  $47^{\circ} 27' 10''$  و عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ} 43' 30''$  تا  $36^{\circ} 45' 30''$  قرار دارد. این منطقه در ارتباط با کانسارهای کرومیت آلپی قرار می‌گیرد (Malek Ghasemi and Karimzadeh, 2005). کمپلکس‌های افیولیتی در ایران بخشی از شمالی واقع است.

(Babakhani and Ghalamghash, 1996) و بررسی‌های صحرایی، نقشه ۱:۲۰۰۰۰ از منطقه مورد بررسی تهیه شد. در این راستا، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی منطقه نیز انجام شد. در مرحله بعد، تعداد ۱۸ مقطع نازک و ۲۳ مقطع نازک-صیقلی برای بررسی‌های میکروسکوپی از نمونه‌های برداشت‌شده، تهیه شد. برای اندازه‌گیری فراوانی عناصر، بررسی زمین‌شیمیایی و پتروژنز کرومیت منطقه، تعداد ۲ نمونه از کانه‌زایی کرومیت منطقه انتخاب و در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فراوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو)، توسط دستگاه الکترون مایکروپروب مدل SX100 ساخت شرکت Cameca فرانسه مورد آنالیز قرار گرفت. بدین منظور، تعداد ۳۶ نقطه از کانه‌های کرومیت توسط الکترون مایکروپروب مورد آنالیز قرار گرفت. نمونه‌ها برای انجام آنالیز با یک لایه کربن به ضخامت ۱۰ نانومتر پوشش داده شدند. آنالیزها با ولتاژ ۱۵ کیلوالکتروولت (15KV)، شدت جریان ۲۰ نانوآمپر (20nA) و قطر ۵ میکرون صورت گرفت. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها برای اکسیدهای عناصر اصلی به صورت درصد وزنی (wt.%) ارائه شده‌اند که با استفاده از آنها مقدار فراوانی کاتیون‌ها نیز محاسبه شده است (جدول ۱). سپس نمودارهای مورد نیاز ترسیم و نتایج حاصل از تجزیه‌های زمین‌شیمیایی تفسیر شده است.

### بحث و بررسی

#### زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

بر اساس پهنه‌های ساختاری-رسوبی ایران (Stocklin, 1968)، منطقه مورد بررسی در پهنه سندانج-سیرجان و در محل برخورد پهنه‌های البرز-آذربایجان، ایران مرکزی و سندانج-سیرجان قرار دارد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شده (شکل ۱)، واحدهای موجود در منطقه شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های اولترامافیک (دونیت، هارزبورژیت و لرزولیت سرپانتینی شده و سرپانتینیت) به همراه آمفیبولیت، گرانیت گنایسی، مرمز، کوارتزیت، انواع شیست‌ها شامل میکاشیست، کوارتز شیست، آمفیبول شیست و بیوتیت گارنت شیست و رگه‌ها و دایک‌های بگماتیت هستند (شکل ۲).

کمرند کوه‌زایی آلپ-همالیا بوده که از سمت آلپ شروع شده تا سرزمین‌های تبت ادامه دارد (Hassanipak and Ghazi, 2006; Yaghoubpur and Hassannejhad, 2000). از لحاظ گسترش زمانی و فراوانی، کمپلکس‌های افیولیتی در ایران محدود به دو بازه زمانی پالئوزوئیک و مزوزوئیک هستند (Ghazi et al., 2004; Shamsipour Dehkordi et al., 2012; Shafaii Moghadam and Stern, 2014; Faridazad, 2017). بیش از ۷۴ کانسار در حال استخراج کرومیت در ایران، در داخل کمپلکس‌های افیولیتی وجود دارد که همه آنها از نوع کرومیت‌های آلپی به‌شمار می‌روند (Ghorbani, 2013).

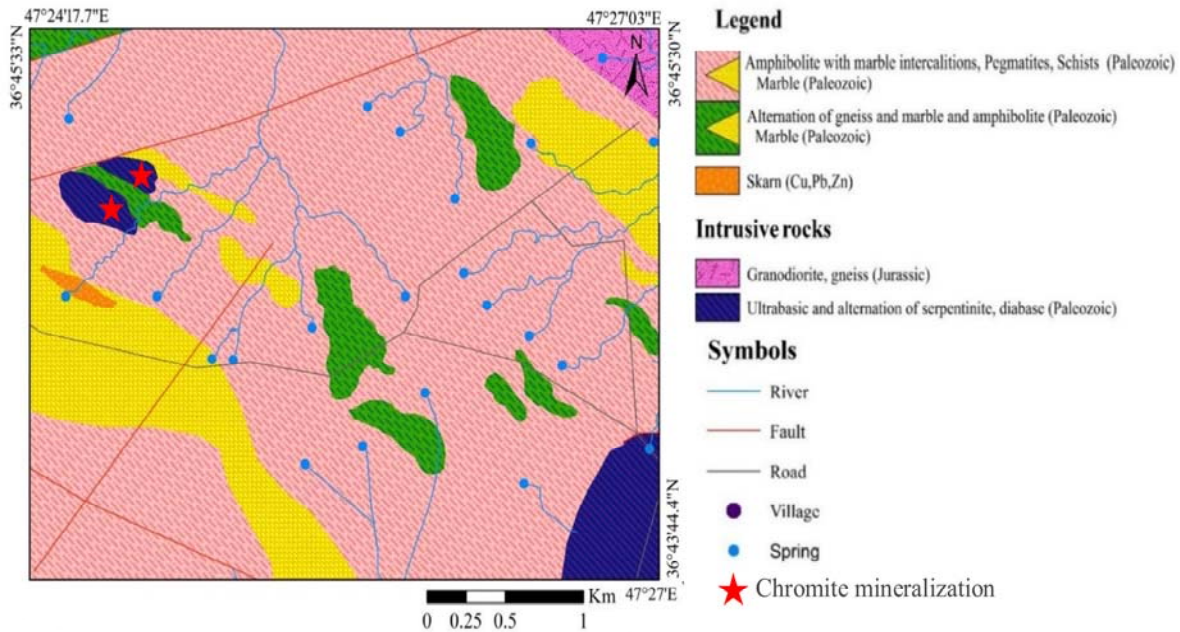
کانه‌زایی کرومیت در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی در داخل واحدهای پریدوتیتی از جمله لرزولیت، هارزبورژیت و دونیت سرپانتینی‌شده روی داده است که این مجموعه در داخل توالی سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین-کامبرین قرار دارند. کانی کرومیت عضوی از گروه اسپینل بوده و یک کانی اولیه در پریدوتیت‌های گویشته‌ای به‌شمار می‌رود. بررسی‌های زمین‌شیمیایی این کانی می‌تواند اطلاعاتی مهم در مورد محیط تشکیل، نوع کانه‌زایی و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی ماگمای مادر در اختیار ما قرار دهد. در این پژوهش سعی بر آن است که کانی‌سازی کرومیت در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی از لحاظ ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌سازی، ساختی و بافتی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی (شیمی کانی کرومیت) مورد بررسی قرار گیرد و منشأ و پتروژنز کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی بررسی شود. در این راستا، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی بر اساس نتایج آنالیزهای الکترون مایکروپروب مورد بررسی قرار گرفته و نمودارهای مهم و مرتبط با شیمی کرومیت و نمودارهای مربوط به محیط تکنوماگمایی آنها ارائه شده است.

### روش مطالعه

با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب (Alavi and Amidi, 1976) و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان

واحد آمفیبولیتی مربوط به زمان پرکامبرین-کامبرین بوده و برگ‌وارگی مشخصی را نشان می‌دهد ( Babakhani and Ghalamghash, 1996). این واحد توسط یک گروه دایک‌های گرانیتی قطع شده است. این دایک‌ها با ضخامت‌های مختلف معمولاً در امتداد برگ‌وارگی آمفیبولیت‌ها قرار دارند.

واحد آمفیبولیت به‌طور گسترده‌ای در محدوده مورد بررسی رخمون‌دارد. این واحد در رخمون صحرایی و نمونه‌دستی رنگ تیره دارد. این سنگ‌ها به‌طور کلی شامل آمفیبولیت و آمفیبول شست هستند که با امتداد شمال‌باختر-جنوب‌خاور و شیب بین ۵۰ تا ۶۰ درجه به سمت شمال‌خاور رخمون دارند.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه قره‌ناز-علم‌کندی برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان (Babakhani and Ghalamghash, 1996) با اعمال تغییرات

Fig. 1. Geological map of the Qaranaz-Alamkandi (scal: 1/20000) from geological map of Takht-e-Soleyman (scale: 1/100000 Babakhani and Ghalamghash, 1996) with some changes



شکل ۲. نمایی از واحدهای سنگی موجود در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی (دید به سمت شمال)

Fig. 2. Outcrops of different rock units in the Qaranaz-Alamkandi area (view to the north)

منطقه مورد بررسی رخنمون دارند که متشکل از سنگ‌های هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت سرپانتینی شده، سرپانتینیت، گابرو، پیروکسینیت و دایک‌های دیابازی هستند. در داخل واحدهای پریدوتیتی یادشده، در برخی بخش‌ها کانه‌زایی کرومیت روی داده است. توده‌های گابرویی، پیروکسینیت‌ها و دایک‌های دیابازی در قسمت جنوب و خارج از منطقه مورد بررسی، رخنمون دارند. سنگ‌های هارزبورژیتی نسبت به دونیت‌ها و لرزولیت‌ها بیشترین رخنمون را در منطقه دارند. بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی بیانگر آن است که این مجموعه (سنگ‌های هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت) به نسبت‌های مختلف تحت تأثیر سرپانتینیتی شدن قرار گرفته‌اند؛ به طوری که در برخی بخش‌ها حجم اصلی سنگ‌ها به سرپانتین تبدیل شده و سرپانتینیت را به وجود آورده است. بخش‌های هارزبورژیتی واحد اولترامافیک منطقه، علاوه بر کانه‌زایی کرومیت، دارای رگه‌های نازک و فراوان سرپانتین (کریزوتیل) درشت‌بلور نیز هستند. همچنین، بخش‌های دونیتی و هارزبورژیتی حاوی بلورهای پراکنده کروم اسپینل هستند. در برخی نقاط، سنگ‌های اولترامافیک به شدت دگرسان شده و به سرپانتینیت، سرپانتین شیبست و تالک‌شیبست تبدیل شده است. گسترش واحدهای اولترامافیک در منطقه زیاد نیست و همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۱) منطقه نیز مشاهده می‌شود، به صورت رخنمون‌های کوچک در منطقه رخنمون دارند. کانه‌زایی در بخش‌های کوچکی از این مجموعه که با علامت ستاره در نقشه (شکل ۱) مشخص شده است، رخنمون دارد.

### سنگ‌شناسی پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی

برای تفکیک واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه و بررسی سنگ‌های میزبان کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی، بررسی‌های سنگ‌شناسی و بافت بر روی ۱۸ مقطع نازک تهیه شده، انجام شد. بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی، سنگ میزبان کانه‌زایی منطقه مربوط به پریدوتیت‌هاست که در گروه دونیت، هارزبورژیت و لرزولیت قرار گرفته و به شدت

واحد گرانیت گنایسی عبارت از توده گرانیتی است که تحت تأثیر فرایندهای دگرگونی-دگرشکلی قرار گرفته و به تشکیل فابریک‌های گنایسی در آن منجر شده است. این واحد بیشتر در بخش شمالی منطقه رخنمون دارد. واحد گرانیت گنایسی در مقیاس ماکروسکوپی به رنگ روشن دیده می‌شود. بافت شاخص در این واحد، بافت چشمی است. در برخی نقاط، رگه‌های کوارتز-فلدسپاتی در داخل این واحد قابل مشاهده هستند. یک دسته واحدهای مرمری نیز در این منطقه رخنمون دارد که دارای سن اواخر پرکامبرین و اوایل پالئوزوئیک (Babakhani and Ghalamghash, 1996) هستند. مرمرها هم به صورت میان‌لایه در بین دیگر واحدهای دگرگونی حضور دارند و هم در ارتفاعات جنوبی منطقه به صورت واحد مجزا با ضخامت قابل توجه مشاهده می‌شوند. برون‌زدهای این واحد در منطقه چشم‌گیر است. این واحد معمولاً با امتداد شمال‌باختر-جنوب‌خاور و شیب بین ۴۰ تا ۵۰ درجه به سمت شمال‌خاور در منطقه مشاهده می‌شوند.

در بین واحدهای دگرگونی منطقه مورد بررسی، سنگ‌های شیستی گسترش زیادی در منطقه داشته و شامل آمفیبول شیست، بیوتیت گارنت شیست و بیوتیت مسکوویت شیست هستند. شیست‌های منطقه مورد بررسی اغلب به رنگ تیره بوده و با امتداد شمال‌باختر-جنوب‌خاور و شیب ۶۰ تا ۶۵ درجه به سمت شمال‌خاور مشاهده می‌شوند. این سنگ‌ها در تناوب با واحد آمفیبولیتی قابل مشاهده هستند. برگ‌وارگی مشخصی در این سنگ‌ها وجود داشته و گاه توسط دایک‌های پگماتیتی و گرانیتی قطع شده‌اند.

در برخی نقاط، دایک‌های پگماتیتی در داخل دیگر واحدهای منطقه مورد بررسی دیده می‌شوند. این مجموعه آذرین اغلب با امتداد شمال‌باختر-جنوب‌خاور و شیب ۵۰ تا ۶۵ درجه به سمت شمال‌خاور در منطقه رخنمون دارد. برون‌زدهای پگماتیت با ضخامتی ۱/۵ متر و طول تا بیش از ۱۰۰ متر مشاهده می‌شوند. علاوه بر واحدهای زمین‌شناسی یادشده، یک دسته توده‌های اولترامافیک در داخل مجموعه دگرگونی پرکامبرین-کامبرین

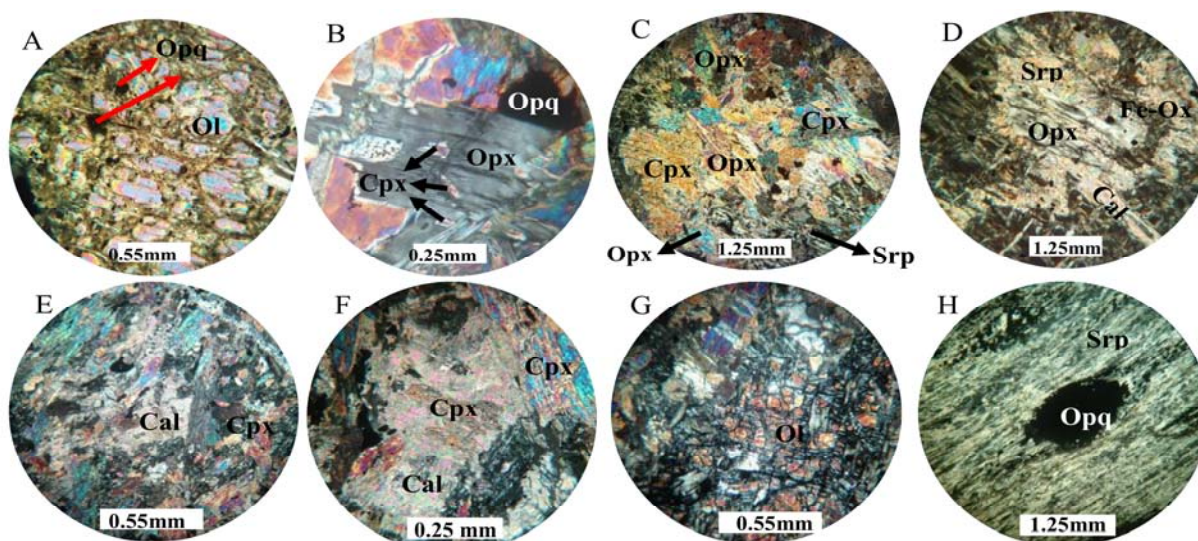
اشاره کرد که در برخی نقاط، تمرکز آنها قابل توجه بوده و عملاً کانسنگ کرومیتی را به وجود آورده‌اند. به‌طور کلی، سه نوع کانی کدر در پریدوتیت‌های منطقه وجود دارد. ۱- کانی‌های کدر اولیه که هم‌زمان با تشکیل الیون به‌صورت دانه‌پراکنده و بلورهای تقریباً درشت تا متوسط و ریز در متن سنگ و همراه با الیون‌ها و سرپانتین وجود دارند. این گروه از کانی‌های کدر اغلب از نوع کروم اسپینل و به مقدار خیلی کمتر مگنتیت هستند (شکل ۳-A و B)، ۲- کانی‌های کدر ثانویه که محصول دگرسانی کانی‌های اولیه مثل الیون و پیروکسن‌ها هستند که در اطراف سرپانتین‌ها تشکیل شده و از نوع اکسید آهن هستند (شکل ۳-D) و ۳- گروه سوم کانی‌های کدر، تأخیری بوده و به‌صورت رگه-رگچه‌ها در این واحدهای سنگی مشاهده می‌شوند. از دیگر کانی‌های ثانویه در پریدوتیت‌های منطقه می‌توان به سرپانتین، تالک، کلسیت و کلریت اشاره کرد. سرپانتین بخش اعظم این سنگ‌ها را تشکیل داده که اغلب از نوع آنتی‌گوریت هستند. همچنین، یک گروه سرپانتین به‌صورت بلورهای ورقه‌ای و رشته‌ای دیده می‌شوند که از نوع کریزوتیل هستند. این گروه از سرپانتین‌ها فراوانی کمتری دارند. در برخی نقاط، تالک نیز در همراهی با بلورهای رشته‌ای کریزوتیل دیده می‌شود. برخی بلورهای پیروکسن (کلینو پیروکسن و ارتوپروکسن) توسط کلسیت و کلریت جایگزین شده‌اند. علاوه بر این، رگچه‌های تأخیری کلسیت و کلریت مجموعه کانی‌های سنگ را در جهات مختلف قطع کرده‌اند. کانی اصلی تشکیل‌دهنده لرزولیت‌ها، الیون است که با فراوانی حدود ۳۶ درصد به‌صورت بلورهای برجسته و جزیره‌ای دیده می‌شوند. ابعاد آنها متغیر بوده و گاه طول آنها به کمتر از ۱ میلی‌متر می‌رسد. بخش عمده الیون‌های اولیه، سرپانتینی شده‌اند (شکل ۳-G). در برخی نمونه‌های لرزولیتی، تمرکز پیروکسن‌ها (کلینوپروکسن و ارتوپروکسن) افزایش قابل توجهی داشته و ترکیب سنگ به سمت الیون پیروکسنیت (الیون وبستریت) میل می‌کند. کانی‌های اصلی در دونیت‌های سرپانتینی شده منطقه علم‌کندی شامل الیون و به‌مقدار خیلی کمتر کلینوپروکسن و ارتوپروکسن هستند که به‌طور عمده در زمینه سرپانتینی شده به‌صورت پراکنده حضور دارند. الیون با فراوانی حدود ۴۲ درصد، حجم کل دونیت‌های سرپانتینی شده را تشکیل می‌دهد.

سرپانتینی شده‌اند. کانی‌های اصلی در هارزبورژیت‌ها، دونیت‌ها و لرزولیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی شامل الیون، ارتوپروکسن و کلینوپروکسن هستند که با درجات مختلفی به کانی‌های ثانویه از جمله سرپانتین، کلسیت و کلریت دگرسان شده و در برخی بخش‌ها تنها بقایایی از آنها به‌صورت جزیره‌ای در زمینه سرپانتین‌ها باقی‌مانده است. در این سنگ‌ها، الیون به‌عنوان کانی اولیه، اغلب به‌صورت برجسته و جزیره‌ای در فضای بین سرپانتین‌ها پراکنده است (شکل ۳-A). پیروکسن موجود در هارزبورژیت‌ها و دونیت‌ها اغلب از نوع ارتوپروکسن و به مقدار کمتر کلینوپروکسن است که در فضای بین سرپانتین‌ها به‌صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار و جزیره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۳-B و C). کلینوپروکسن در لرزولیت‌ها نسبت به هارزبورژیت‌ها نسبتاً بیشتر بوده؛ به‌طوری که مقدار کلینوپروکسن‌ها در حدود ۱۵ درصد و ارتوپروکسن‌ها در حدود ۱۲ درصد است. در برخی موارد، پیروکسن‌ها توسط کلسیت و کلریت جایگزین شده‌اند (شکل ۳-D، E و F). علاوه بر این، رگچه‌های تأخیری کلسیت و کلریت مجموعه کانی‌های سنگ را در جهات مختلف قطع کرده‌اند. کانی اصلی تشکیل‌دهنده لرزولیت‌ها، الیون است که با فراوانی حدود ۳۶ درصد به‌صورت بلورهای برجسته و جزیره‌ای دیده می‌شوند. ابعاد آنها متغیر بوده و گاه طول آنها به کمتر از ۱ میلی‌متر می‌رسد. بخش عمده الیون‌های اولیه، سرپانتینی شده‌اند (شکل ۳-G). در برخی نمونه‌های لرزولیتی، تمرکز پیروکسن‌ها (کلینوپروکسن و ارتوپروکسن) افزایش قابل توجهی داشته و ترکیب سنگ به سمت الیون پیروکسنیت (الیون وبستریت) میل می‌کند. کانی‌های اصلی در دونیت‌های سرپانتینی شده منطقه علم‌کندی شامل الیون و به‌مقدار خیلی کمتر کلینوپروکسن و ارتوپروکسن هستند که به‌طور عمده در زمینه سرپانتینی شده به‌صورت پراکنده حضور دارند. الیون با فراوانی حدود ۴۲ درصد، حجم کل دونیت‌های سرپانتینی شده را تشکیل می‌دهد. از مهم‌ترین کانی‌های فرعی در هارزبورژیت‌ها، دونیت‌ها و لرزولیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی، می‌توان به کانی‌های کدر

سنگ‌ها را در جهات مختلف قطع کرده‌اند. بافت اولیه هارزبورژیت‌ها، دونیت‌ها و لرزولیت‌ها گرانولار است که به دلیل دگرسانی نسبتاً گسترده سرپانتینی، در حال حاضر بافت مش و شبکه‌ای در این سنگ‌ها غالب است. در این بافت، سرپانتین‌ها حالتی شبکه‌مانند دارند که در فضای بین آنها، بلورهای الیون و پیروکسن (اغلب از نوع ارتوپروکسن) پراکنده هستند. بقایای بلورهای الیون و پیروکسن اولیه به‌صورت جزیره‌ای نیز در متن سرپانتین‌ها قابل مشاهده است. بافت اکسلوشن متشکل از تیغه‌های کلینوپروکسن در داخل

دونیت‌ها مشاهده می‌شود که از حاشیه به سرپانتین دگرسان شده‌اند (شکل ۳-D). بافت برشی و دگرشکلی نیز در قسمت‌هایی از پریدوتیت‌ها به چشم می‌خورد. در برخی نقاط، حالت میلونیتی شدن نیز در پریدوتیت‌های سرپانتینی شده قابل مشاهده است که در امتداد جهت‌یابی حاصل از میلونیتی شدن، کانی‌های کدر به صورت عدسی شکل مشخص است (شکل ۳-H).

ارتوپروکسن‌ها نیز در این سنگ‌ها قابل مشاهده است (شکل ۳-B). بافت کومولایی نیز در پریدوتیت‌ها (هارزبورژیت‌ها، دونیت‌ها و لرزولیت‌ها) مشاهده می‌شود که شامل آدکومولا و مزوکومولا است. به این صورت که بلورهای کانی‌های کدر با فراوانی بسیار کم در بین بلورهای الیون، ارتوپروکسن و کلینوپروکسن قرار گرفته‌اند (شکل ۳-C). بافت کروئایی نیز در اطراف برخی بلورهای اولیه موجود در هارزبورژیت‌ها و



**شکل ۳.** تصاویر میکروسکوپی از کانی‌ها و برخی بافت‌های موجود در پریدوتیت‌های سرپانتینی شده منطقه قره‌ناز-علم‌کندی. تصاویر با نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL تهیه شده‌اند. A: بلورهای الیون جزیره‌ای در متن سرپانتین به همراه کانه‌های کدر ریز، B: بافت اکسلوشن که میزبان اصلی ارتوپروکسن بوده و تیغه‌های کلینوپروکسن درون آنها شکل گرفته است، C: بافت کومولایی در پریدوتیت‌ها که بلورهای ارتوپروکسن و کلینوپروکسن در کنار هم قرار گرفته و بلورهای کانی‌های کدر در بین آنها پراکنده است، D: بافت کروئایی بلور ارتوپروکسن که طی فرایند دگرسانی، از اطراف به سرپانتین تبدیل شده است. همچنین در برخی نقاط اکسید آهن و کلسیت‌های رگه-رگه‌ای نیز در تصویر مشاهده می‌شود. E و F: دگرسانی کلسیتی در لرزولیت که در آن کلسیت جایگزین کلینوپروکسن شده است، G: تبدیل الیون‌ها به سرپانتین در سنگ لرزولیت و H: بافت عدسی شکل (میلونیتی شدن) کانی کدر در زمینه‌ای از سرپانتین. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Cpx: کلینوپروکسن، Fe-Ox: اکسید آهن، Ol: الیون، Opq: کانی‌های کدر، Opx: ارتوپروکسن، Srp: سرپانتین).

**Fig. 3.** Photomicrographs of minerals and texture from the serpentinized peridotites in the Qarenaz-Alamkandi area (XPL). A: Olivine crystals within the serpentine matrix associated with small opaque minerals, B: Exsolution texture of clinopyroxene within the orthopyroxene, C: Cumulate texture of peridotites where clinopyroxene and orthopyroxene are together and have disseminated of opaque minerals, D: Corona texture of orthopyroxene which replaced by serpentine. In some cases, there are iron oxide minerals and vein-veinlets of calcite in the picture, E and F: Calcite alteration in the lizardite which clinopyroxene replaced by calcite, G: Serpentinization of olivine in the lizardite, and H: Lenzoid texture (mylonitization) of opaque minerals within the serpentine. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cal: Calcite, Cpx: Clinopyroxene, Fe-Ox: Iron Oxide, Ol: Olivine, Opq: Opaque Minerals, Opx: Orthopyroxene, Srp: Serpentine).

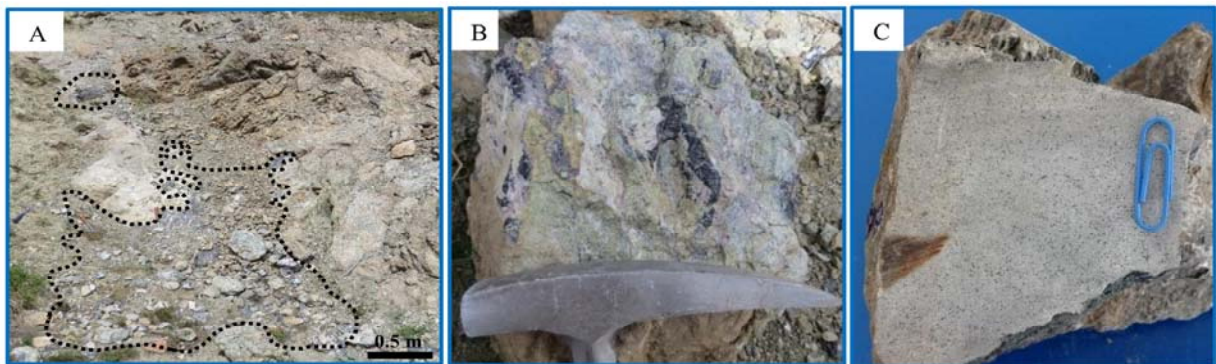


### کانه‌زایی در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی

چنان‌که قبلاً نیز اشاره شد، کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی در داخل یک دسته واحدهای اولترامافیک که گسترش چندانی در منطقه مورد بررسی ندارند، تشکیل شده است؛ به‌طور کلی، گسترش این واحدها در منطقه تخت‌سلیمان کم بوده و فقط در سه بخش (شرقی و شمالی) از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان (Babakhani and Ghalamghash, 1996) قابل مشاهده است. بر اساس پژوهش باباخانی و قلمقاش (Babakhani and Ghalamghash, 1996)، این مجموعه بقایایی از پوسته اقیانوسی پالئوتتیس به‌شمار می‌رود. با توجه به بررسی‌های سن‌سنجی انجام‌شده بر روی این مجموعه، سن حدود ۵۳۰ میلیون سال (داده‌های سن‌سنجی هنوز منتشر نشده است) برای این مجموعه به‌دست آمده است که بیانگر تشکیل مجموعه افیولیتی در این منطقه در طی تکامل اقیانوس پروتوتتیس بوده است. تقریباً تمام سنگ‌های یک توالی افیولیتی (به‌غیر از دایک‌های

صفحه‌ای، گدازه‌های بالشی، پلاژیوگرانیت‌ها و سنگ‌های رادیولاریتی) شامل هارزبورژیت و دونیت همراه با کانه‌زایی کرومیتی، لرزولیتی، سنگ‌های پیروکسینیتی و گابروهای انباشتی در این منطقه مشاهده می‌شود. با این وجود، چون گسترش این مجموعه در منطقه کم است، به همین دلیل تمامی بخش‌های افیولیتی در این منطقه دیده نمی‌شود.

کانه‌زایی کرومیت به‌صورت توده‌ای، عدسی‌های کوچک، رگه-رگچه‌ای و دانه‌پراکنده در داخل واحدهای اولترامافیک با ترکیب دونیت و هارزبورژیت‌های سرپانتینیتی تشکیل شده است (شکل ۴-۴، B و C). کانه‌زایی در این منطقه اغلب به‌صورت عدسی‌هایی با ابعاد مختلف، به‌صورت هم‌شیب تا ناهم‌شیب در واحدهای یادشده، تشکیل شده است. با توجه به گسترش محدود سنگ‌های اولترامافیک در این منطقه، کانه‌زایی کرومیت نیز گسترش محدودی داشته و به‌صورت عدسی‌هایی با طول و عرض حداکثر تا دو متر مشاهده می‌شود.



**شکل ۴.** نمایشی از کانه‌زایی کرومیت در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی. A: کانه‌زایی کرومیت به‌صورت عدسی کوچک (بخش‌های تیره‌رنگ) در سنگ میزبان هارزبورژیت، B: کرومیت به‌صورت رگه-رگچه‌ای (بخش‌های تیره‌رنگ) در سنگ میزبان پریدوتیتی و C: کرومیت به‌صورت دانه‌پراکنده (بخش‌های تیره‌رنگ) در سنگ میزبان دونیت سرپانتینیتی شده

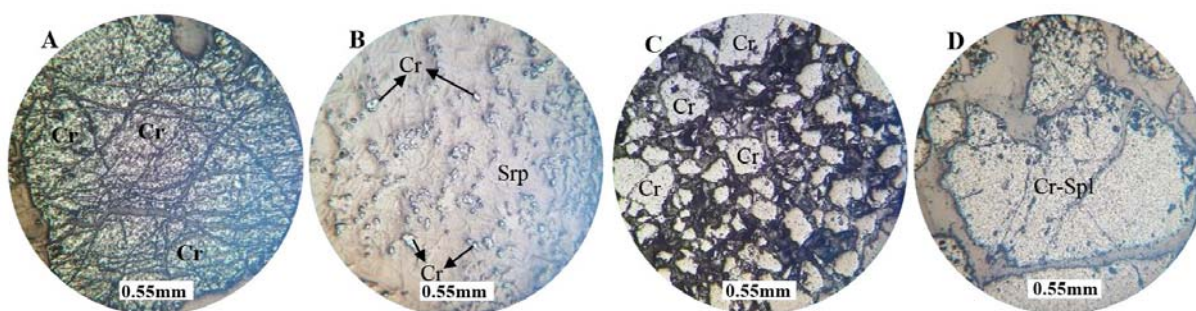
**Fig. 4.** Photographs of chromite mineralization in the Qarenaz-Alamkandi area. A: Lenzoid shape of (the area with black color) within the harzburgite host rock, B: vein-veinlets of chromite (the area with black color) within the peridotite host rock, and C: Disseminated texture of chromite (the area with black color) within the serpentinized dunite host rock

توده‌ای است (شکل ۵-۴). علاوه‌بر بافت توده‌ای، بافت دانه‌پراکنده نیز در این کانسار قابل مشاهده است که بلورهای

از نظر کانه‌نگاری، کانه اصلی در کانسار قره‌ناز-علم‌کندی، کرومیت است که تقریباً بی‌شکل بوده و اغلب دارای بافت

تأثیر فرایند دگرشکلی بر روی آنهاست (شکل ۵-C). در کرومیت‌های توده‌ای، دانه‌ها با اندازه‌ای نسبتاً بزرگ در متنی از سرپانتینیت قرار دارند (شکل ۵-D). در این منطقه به مقدار کم کانی مگنتیت نیز همراه با کانه‌زایی کرومیت در داخل سنگ‌های میزبان کانه‌زایی منطقه قره‌ناز-علم‌کندی مشاهده می‌شود.

کرومیت به صورت دانه پراکنده در متن سنگ‌های پریدوتیتی حضور دارند (شکل ۵-B). کانی‌های کرومیت به صورت دانه‌های افشان نیمه‌خودشکل تا خودشکل در زمینه و بین بلورهای الیوین و ارتوپروکسن حضور دارند. در برخی بخش‌ها این بلورها تجمع یافته و تقریباً تا حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد سنگ را تشکیل داده است. در بیشتر بخش‌ها، کرومیت‌ها خرد شده و بافت برشی یا کاتاکلاستیک را از خود نشان می‌دهند که بیانگر



**شکل ۵.** تصاویری از بافت‌های کانه کرومیت در کانسار کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی. A: کرومیت‌های دارای بافت توده‌ای و بی‌شکل، B: کرومیت‌های دارای بافت دانه‌پراکنده که در زمینه‌ای از سنگ میزبان سرپانتینیتی تشکیل شده‌اند، C: کرومیت‌های توده‌ای که تحت تأثیر فرایند دگرشکلی، خرد شده و بافت کاتاکلاستیک را از خود نشان می‌دهند و D: بلور درشت کروم اسپینل که در نمونه‌های مربوط به کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی دیده می‌شود. علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cr: کرومیت، Cr-spl: کروم اسپینل، Srp: سرپانتین).

**Fig. 5.** Photomicrographs of chromite textures in Qaranaz-Alamkandi chromite deposit. A: Massive and anhedral chromite, B: Disseminated chromite which formed in the serpentinized host rock, C: Massive chromite which brecciated by the deformation affects and show cataclastic texture, and D: Coarse-grain of chrome spinel crystal that has been observed in Gharenaz-Alamkandi chromite samples. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cr: Chromite, Cr-spl: Chrome Spinel, Srp: serpentine).

چنان‌که در شکل B-۷ مشاهده می‌شود، نیکل در زمینه کروم اسپینل به صورت بلورهای ریز مشاهده می‌شود. نتایج آنالیزهای EPMA بر روی کانه‌های کرومیت نشان می‌دهد که در برخی بخش‌ها، طلا نیز در این کانسار به صورت ادخال در داخل کرومیت‌ها وجود دارد (شکل A-۸، B و C).

### توالی همیافتی

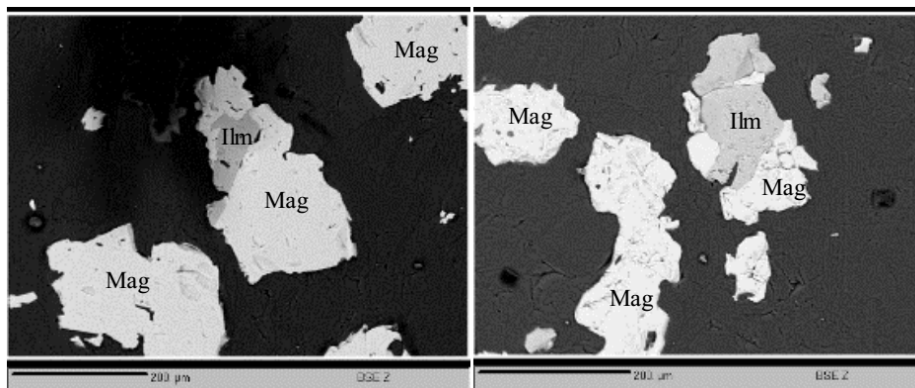
بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی انجام شده، چهار مرحله کانه‌زایی منطقه قره‌ناز-علم‌کندی مشاهده می‌شود (شکل

مگنتیت‌ها اغلب دارای بافت دانه‌پراکنده هستند (شکل ۶). در برخی بخش‌ها، مگنتیت‌ها در حال تبدیل شدن به هماتیت هستند و بافت مارتیتی شدن (El Goresy et al., 1984) را نشان می‌دهند. بر اساس بررسی‌های الکترون مایکروپروب، تیغه‌های ایلمنیت همراه با کانی‌های مگنتیت مشاهده می‌شوند (شکل ۶). در برخی نمونه‌ها، مقادیری عنصر نیکل همراه با کانه‌زایی کرومیت در این منطقه وجود دارد که نتایج آنالیزهای EPMA انجام شده بر روی کانه‌های کرومیت حاوی نیکل و نمودار مربوط به ترکیبات نیکل دار در شکل A-۷ نشان داده شده است.



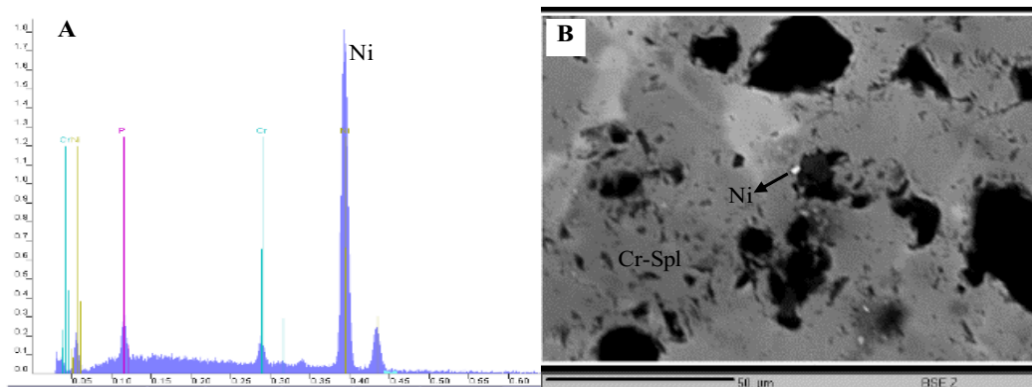
کرومیت، کانی‌های الیوین، ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن نیز تشکیل شده‌اند. در مرحله بعد، کلیه سنگ‌ها و کانه‌ها و کانی‌ها تحت دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند و سرپانتینی شدن در منطقه روی داده است.

۹. اولین مرحله، کانه‌زایی کرومیت است که در این مرحله کانه‌های کرومیت، مگنتیت و مقداری ایلمنیت (در بررسی‌های الکترون مایکروپروب شناسایی شده است) تشکیل شده‌اند. کانه‌زایی در این مرحله اغلب دارای بافت توده‌ای، دانه‌پراکنده و به مقدار کمتر بافت رگه-رگچه‌ای است. هم‌زمان با کانه‌زایی



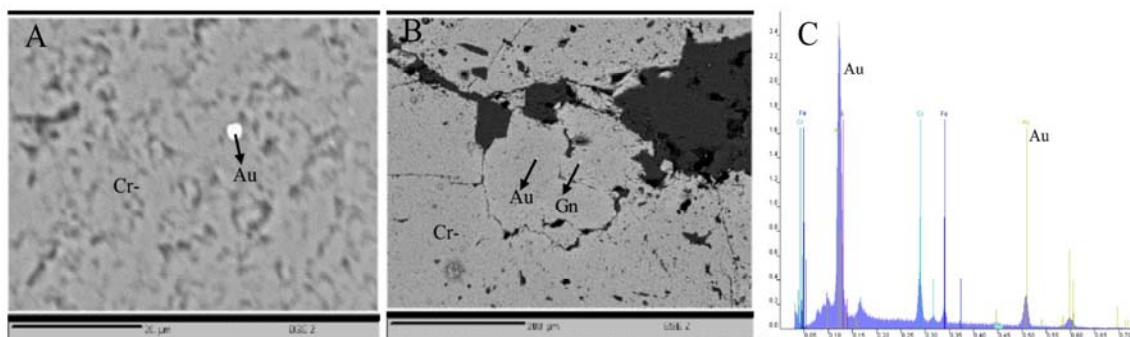
شکل ۶. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (BSE) کانه‌های موجود در نمونه‌های کرومیت کانسار قره‌ناز-علم‌کندی. مگنتیت به صورت دانه‌پراکنده و حضور تیغه‌های ایلمنیت همراه با آن. علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Ilm: ایلمنیت، Mag: مگنتیت).

**Fig. 6.** Backscattered scanning electron microscopy (BSE) images of minerals in chromite Qarnaz-Alamkandi deposit. Disseminated magnetites and occurrence of ilmenite as exsolution within the magnetite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Ilm: Ilmenite, Mag: Magnetite).



شکل ۷. A: نمودار مربوط به حضور نیکل در کانه‌زایی کرومیت منطقه قره‌ناز-علم‌کندی و B: تصویر BSE از حضور نیکل همراه کروم اسپینل‌ها. علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cr-Spl: کروم اسپینل، Ni: نیکل).

**Fig. 7.** A: Diagram of nickel presence in the chromite mineralization of Qarnaz-Alamkandi area, and B: Occurrence of nickel within chrome spinel in the BSE image. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cr-Spl: Chrome Spinel, Ni: Nickel).



شکل ۸. A و B: تصویر ادخال طلا و گالن در داخل کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی و C: نمودار مربوط به حضور طلا در کانه‌زایی کرومیت منطقه قره‌ناز-علم‌کندی. علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Au: طلا، Cr: کرومیت، Gn: گالن).

Fig. 8. A and B: Occurrence of gold and galena as inclusion within the chromite in the Gharenaz- Alamkandi area. C: Diagram of gold in chromite mineralization in the Gharenaz- Alamkandi area. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Au: Gold, Cr: Chromite, Gn: Galena).

است که در طی دگرگونی مجاورتی به همراه گالن، پیریت، کالکوپیریت و طلا تشکیل و در بررسی‌های الکترون مایکروپروب نیز شناسایی شده است. با توجه به اینکه موضوع این پژوهش در مورد کانه‌زایی کرومیت و شیمی آن است؛ لذا در مورد کانه‌زایی اسکارن به همین اندازه بسنده شده است.

آخرین مرحله، سوپرژن و هوازدگی است که در این مرحله اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، کالکوسیت و به مقدار کمتر اسمیت‌زونیت تشکیل شده‌اند. در این مرحله، بافت‌های جانشینی و بازماندی در کانی‌ها روی داده است. وجود اسمیت‌زونیت در این کنسار بیانگر وجود کانی روی از جمله اسفالریت در منطقه

Minerals		Stage	Regional metamorphism	Supergene and weathering
		Mineralization		
Ore Minerals	Chromite	●●●●●●●●		
	Magnetite	●●●●●●●●		
	Ilmenite	●●●●●●●●		
Gangue Minerals	Olivine	●●●●●●●●		
	Othopyroxene	●●●●●●●●		
	Clinopyroxene	●●●●●●●●		
	Serpentine		●●●●●●●●	
Structure and Texture of minerals	Massive	●●●●●●●●		
	Disseminated	●●●●●●●●		
	Laminated	●●●●●●●●		
	Vein-Veinlets	●●●●●●●●		
	Breccia		●●●●●●●●	
	Cataclastic		●●●●●●●●	
	Replacement			●●●●●●●●
	Relict			●●●●●●●●

شکل ۹. توالی همیافتی کنسار کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی

Fig. 9. Paragenetic sequence of the Qarehnaz-Alamkandi chromite deposit

### شیمی کانی کرومیت در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی

در این بخش از پژوهش، ویژگی‌های ژئوشیمیایی کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی با استفاده از نتایج آنالیز الکترون مایکروپروب در نمونه‌های برداشت شده، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، مسیر پیمایش آنالیز الکترون مایکروپروب از نقاط حاشیه‌ای به سمت مرکز بلور و همچنین تغییرات اکسید عناصر مهم در بافت‌های توده‌ای و کاتاکلاستیک کرومیت در قالب نمودار مورد بررسی قرار گرفته‌اند. چنان‌که در بخش روش مطالعه بیان شد، بعد از انجام بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، برای اندازه‌گیری فراوانی اکسید عناصر، بررسی ژئوشیمیایی و کانه‌زایی کرومیت، نمونه‌هایی از کرومیت‌های منطقه، انتخاب شده و در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران، توسط دستگاه EPMA مدل SX100 ساخت شرکت Cameca فرانسه مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج آنالیزهای EPMA انجام شده بر روی کانی کرومیت در جدول ۱ ارائه شده است.

آنالیز نقطه‌ای الکترون مایکروپروب به‌طور مجزا از بخش‌های مختلف کرومیت (از مرکز و حاشیه) انجام شده است (شکل‌های ۱۰-۱، ۱۱-۱ و ۱۲-۱). بر اساس نتایج آنالیزهای به‌دست آمده (جدول ۱) و نمودارهای ترسیم شده از تمامی اکسیدها در شکل‌های ۱۰-۱، ۱۱-۱ و ۱۲-۱، در یک نگاه اجمالی از تمامی آنالیزهای انجام شده کرومیت، مشخص شده است که کرومیت‌های منطقه مورد بررسی غنی از کروم و منیزیم و آهن و فقیر از تیتانیم هستند. چنان‌که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود، تغییرات مقادیر  $Cr_2O_3$ ،  $MgO$  و  $MnO$  در نقاط آنالیز شده خیلی شاخص نیست؛ درحالی‌که بیشترین تغییرات را  $FeO$  و  $Al_2O_3$  نشان می‌دهند و به‌نظر می‌رسد این دو عنصر رفتار مخالف و عکس هم را نشان می‌دهند.

در شکل ۱۰-۱، مسیر نقاط آنالیز شده بر روی بلور درشت کرومیت مشخص شده است. چنان‌که در شکل ۱۰-۱ و C-1 و G مشاهده می‌شود، تغییرات چندانی در مقدار  $SiO_2$  و  $Cr_2O_3$  مشاهده نمی‌شود و در بخش‌هایی که تغییرات در مقادیر  $Cr_2O_3$

و  $SiO_2$  مشاهده می‌شود، این تغییرات کاملاً برعکس هم در این بلور کرومیت است. با توجه به اینکه در فرمول کانی کرومیت،  $SiO_2$  وجود ندارد؛ بنابراین افزایش این اکسید می‌تواند آلودگی از محیط سیلیکاتی اطراف باشد. همچنین، مقدار  $FeO$  از حاشیه‌ها به سمت مرکز کاسته شده و سپس از مرکز به سمت حاشیه افزایش یافته است (شکل ۱۰-۱ D) و برعکس آن، مقدار  $Al_2O_3$  نیز از حاشیه به سمت مرکز افزایش و سپس از مرکز به سمت حاشیه کاهش یافته است (شکل ۱۰-۱ E). مقدار  $MgO$  نیز به‌طور کلی از حاشیه به سمت مرکز دارای روند افزایشی است (شکل ۱۰-۱ F). تغییرات مشاهده شده برای  $MgO$  و  $FeO$  ناشی از جانشینی  $Mg$  به وسیله  $Fe$  در سایت اکتاهدرال و تغییرات  $Al_2O_3$  و  $Cr_2O_3$  مربوط به جانشینی  $Cr$  به وسیله  $Al$  در جایگاه تتراهدرال است. همچنین مقادیر  $Al_2O_3$  رابطه‌ای مستقیم با مقادیر  $TiO_2$  نشان می‌دهند (جدول ۱). بین مقادیر  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  در کانی کرومیت و مذاب اولیه، ارتباط مشخصی وجود داشته؛ به‌طوری‌که مقدار این دو عنصر در طی فرایندهای دگرسانی و هوازدگی تغییر نمی‌کند. بنابراین می‌توان اظهار داشت که این دو عنصر می‌توانند از نشانگرهای خوب برای تعیین ترکیب مذاب اولیه به‌شمار آیند (Kamenetsky et al., 2001).

در شکل ۱۱-۱، مسیر نقاط آنالیز شده بر روی بلورهای کرومیت که تحت فشارهای زمین ساخت، بافت کاتاکلاستیک به خود گرفته‌اند، مشخص شده است. با توجه به نمودار ترسیم شده در شکل ۱۲-۱ C، مقدار  $Cr_2O_3$  از سمت مرکز بلور کرومیت به سمت حاشیه دارای روندی نزولی بوده است و علاوه بر آن، نقاط آنالیز شده در بلورهای درشت و سالم کرومیت نسبت به نقاط آنالیز شده در بخش‌های برشی شده، از مقدار  $Cr_2O_3$  بیشتری برخوردار هستند. چنان‌که در شکل ۱۱-۱ C و E مشاهده می‌شود، روند تغییرات مقدار  $Al_2O_3$  دقیقاً برعکس روند تغییرات مقدار  $Cr_2O_3$  است. با توجه به نمودار شکل ۱۱-۱ D، مقدار  $FeO$  روندی نزولی را در طول مسیر آنالیز شده از سمت مرکز به سمت حاشیه نشان می‌دهد و برعکس. با توجه به نمودار شکل

F-۱۱، مقدار MgO روندی صعودی را در طول مسیر درشت و سالم کرومیت به نقاط آنالیز شده در بخش‌های آنالیز شده، نشان می‌دهد. با توجه به نمودار شکل G-۱۱، مقدار MnO با وجود دامنه تغییرات اندک، در مسیر آنالیز از بلورهای برشی شده، روندی صعودی را نشان داده و همچنین در طول مسیر آنالیز از مرکز به سمت حاشیه روندی نزولی نشان می‌دهد.

**جدول ۱.** نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های کرومیت در کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی. مقادیر برحسب درصد هستند.

**Table 1.** Results of electron microprobe analysis of chromite minerals in the Qarenaz- Alamkandi area. Values in percent.

Position	Core						
	Sample Name	1 /Q23-P2	2 /Q23-P2	3 /Q23-P2	4 /Q23-P2	14 /Q23-P2	15 /Q23-P2
SiO <sub>2</sub>		0.07	0.17	0.06	0.12	0.07	0.17
TiO <sub>2</sub>		0.2	0.18	0.15	0.17	0.15	0.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		10.33	11.08	10.61	10.72	10.05	8.65
FeO		15.99	15.83	16.58	15.86	17.35	18.24
MnO		1.27	1.23	1.2	1.23	1.37	1.49
MgO		13.68	14.02	13.94	13.99	13.46	13.23
CaO		0.02	0	0	0.03	0.02	0
NiO		0.82	0.38	0.11	0.75	0.5	0.47
Na <sub>2</sub> O		0.05	0.03	0	0.02	0.01	0.06
K <sub>2</sub> O		0	0.02	0.01	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0	0	0	0	0	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		57.22	57.16	56.33	55.97	55.76	56.44
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.06	0.07	0.08	0.1	0.09	0.07
Total		99.71	100.17	99.07	98.96	98.83	98.94
<b>Number of ions on the basis of 32 oxygens</b>							
Cr		11.7319	11.5637	11.5003	11.4928	11.5076	11.7206
Fe(iii)		0.9841	0.9242	1.1648	1.0762	1.2863	1.4503
Fe(ii)		2.4835	2.4631	2.4154	2.3683	2.5010	2.5560
Mg		5.2892	5.3485	5.3668	5.4171	5.2383	5.1809
Mn		0.2789	0.2666	0.2624	0.2706	0.3029	0.3315
Al		3.1572	3.3414	3.2290	3.2813	3.0918	2.6777
Si		0.0182	0.0435	0.0155	0.0312	0.0183	0.0447
Ti		0.0390	0.0346	0.0291	0.0332	0.0295	0.0237
V		0.0125	0.0144	0.0166	0.0208	0.0188	0.0147
Ca		0.0056	0.0000	0.0000	0.0083	0.0056	0.0000
Zn		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al		0.788	0.776	0.781	0.778	0.788	0.814
Mg/Mg+Fe(ii)		0.680	0.685	0.690	0.696	0.677	0.670
Fe/Fe+Mg		0.396	0.388	0.400	0.389	0.420	0.436

ادامه جدول ۱. نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های کرومیت در کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی. مقادیر برحسب درصد هستند.

**Table 1 (Continued).** Results of electron microprobe analysis of chromite minerals in the Qarenaz- Alamkandi area. Values in percent.

Position	Core					
	Sample Name	17 /Q21-P2	18 /Q21-P2	19 /Q21-P2	24 /Q21-P2	25 /Q21-P2
SiO <sub>2</sub>	0.07	0.12	0.09	0.32	0.02	0.17
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.67	10.76	11.04	9.71	9.41	10.9
FeO	16.56	16.83	16.56	18.35	17.79	16.2
MnO	1.1	1.06	1.04	1.09	1.23	0.87
MgO	13.64	13.73	14.02	12.13	11.61	13.79
CaO	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0
NiO	0.33	0.8	0	0.38	0.05	0.55
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.01	0.03	0	0	0.03
K <sub>2</sub> O	0	0.01	0.02	0	0	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0	0.03	0	0.03	0.05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.27	56.26	56.37	56.44	57.84	57.78
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09
<b>Total</b>	<b>98.99</b>	<b>99.82</b>	<b>99.47</b>	<b>98.67</b>	<b>98.26</b>	<b>100.65</b>
<b>Number of ions on the basis of 32 oxygens</b>						
Cr	11.5476	11.4899	11.4378	11.7768	12.1559	11.6928
Fe(iii)	1.0670	1.0938	1.0949	0.9538	0.7942	0.8365
Fe(ii)	2.5274	2.5416	2.4591	3.0960	3.1603	2.6310
Mg	5.2785	5.2877	5.3644	4.7729	4.6012	5.2624
Mn	0.2418	0.2319	0.2261	0.2436	0.2769	0.1886
Al	3.2641	3.2758	3.3393	3.0203	2.9481	3.2882
Si	0.0182	0.0310	0.0231	0.0845	0.0053	0.0435
Ti	0.0351	0.0330	0.0347	0.0337	0.0360	0.0385
V	0.0146	0.0124	0.0123	0.0127	0.0192	0.0185
Ca	0.0056	0.0028	0.0082	0.0057	0.0028	0.0000
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.780	0.778	0.774	0.796	0.805	0.781
Mg/Mg+Fe(ii)	0.676	0.675	0.686	0.607	0.593	0.667
Fe/Fe+Mg	0.405	0.407	0.398	0.459	0.462	0.397



ادامه جدول ۱. نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های کرومیت در کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی. مقادیر برحسب درصد هستند.

**Table 1 (Continued).** Results of electron microprobe analysis of chromite minerals in the Qarenaz- Alamkandi area. Values in percent.

Position	Core						
	Sample Name	29 /Q21-P2	30 /Q21-P2	31 /Q21-P2	32 /Q21-P2	33 /Q21-P2	34 /Q21-P2
SiO <sub>2</sub>		0.07	0.07	0.05	0.11	0.07	0.11
TiO <sub>2</sub>		0.19	0.19	0.14	0.19	0.16	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		10.83	10.75	10.16	9.9	11.11	10.09
FeO		16.32	16.81	16.94	16.89	16.28	16.24
MnO		0.93	0.94	0.9	1.03	0.88	0.89
MgO		12.79	13.87	13.22	13.61	13.98	13.21
CaO		0	0.01	0	0.01	0.01	0.03
NiO		0	0.61	0.96	0.3	0.26	0.31
Na <sub>2</sub> O		0.04	0	0.03	0.03	0.01	0
K <sub>2</sub> O		0	0	0	0	0	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0	0	0.01	0	0	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		59.19	57.44	56.66	58.61	57.76	59.62
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.08	0.11	0.08	0.07	0.07	0.09
Total		100.44	100.8	99.15	100.75	100.59	100.78
Number of ions on the basis of 32 oxygens							
Cr		12.0324	11.6039	11.7335	11.8799	11.6323	12.1123
Fe(iii)		0.5597	1.0274	1.0319	0.9847	0.9211	0.6912
Fe(ii)		2.9493	2.5644	2.6785	2.6363	2.5467	2.7984
Mg		4.9029	5.2838	5.1625	5.2021	5.3092	5.0608
Mn		0.2025	0.2034	0.1997	0.2237	0.1899	0.1937
Al		3.2819	3.2373	3.1364	2.9913	3.3353	3.0557
Si		0.0180	0.0179	0.0131	0.0282	0.0178	0.0283
Ti		0.0367	0.0365	0.0276	0.0366	0.0307	0.0329
V		0.0165	0.0225	0.0168	0.0144	0.0143	0.0185
Ca		0.0000	0.0027	0.0000	0.0027	0.0027	0.0083
Zn		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al		0.786	0.782	0.789	0.799	0.777	0.799
Mg/Mg+Fe(ii)		0.624	0.673	0.658	0.664	0.676	0.644
Fe/Fe+Mg		0.417	0.405	0.418	0.410	0.395	0.408

ادامه جدول ۱. نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های کرومیت در کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی. مقادیر برحسب درصد هستند.

**Table 1 (Continued).** Results of electron microprobe analysis of chromite minerals in the Qarenaz- Alamkandi area. Values in percent.

Position	Core					
	Sample Name	5 /Q23-P2	6 /Q23-P2	7 /Q23-P2	8 /Q23-P2	35 /Q21-P2
SiO <sub>2</sub>	0.07	0.04	0.05	0.08	0.01	0.09
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.15	0.16	0.15	0.2	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.14	9.47	10.89	10.49	11.07	9.24
FeO	17.85	17.02	16.37	16.24	16.01	16.09
MnO	1.27	1.32	1.24	1.25	0.96	1.03
MgO	13.48	13.76	13.81	13.94	13.94	12.87
CaO	0.03	0.02	0.05	0.02	0	0
NiO	0.03	0.5	0.34	0	0.36	0.37
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.02	0.01	0.07	0
K <sub>2</sub> O	0	0	0.03	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.01	0.04	0.02	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57.83	57.48	56.3	56.39	57.69	60.82
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.08	0.11	0.09	0.11	0.04
<b>Total</b>	99.97	99.85	99.38	98.7	100.44	100.71
<b>Number of ions on the basis of 32 oxygens</b>						
Cr	11.8134	11.7644	11.4885	11.5482	11.6589	12.4469
Fe(iii)	1.2845	1.2506	1.0882	1.1309	0.9016	0.6248
Fe(ii)	2.5722	2.4339	2.4450	2.3868	2.5207	2.8580
Mg	5.1927	5.3107	5.3141	5.3834	5.3125	4.9668
Mn	0.2779	0.2894	0.2711	0.2742	0.2078	0.2258
Al	2.7833	2.8893	3.3126	3.2024	3.3350	2.8189
Si	0.0181	0.0104	0.0129	0.0207	0.0026	0.0233
Ti	0.0330	0.0292	0.0311	0.0292	0.0385	0.0273
V	0.0166	0.0166	0.0228	0.0187	0.0225	0.0083
Ca	0.0083	0.0055	0.0138	0.0056	0.0000	0.0000
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.809	0.803	0.776	0.783	0.778	0.815
Mg/Mg+Fe(ii)	0.669	0.686	0.685	0.693	0.678	0.635
Fe/Fe+Mg	0.426	0.410	0.399	0.395	0.392	0.412

ادامه جدول ۱. نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های کرومیت در کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز- علم‌کندی. مقادیر بر حسب درصد هستند.

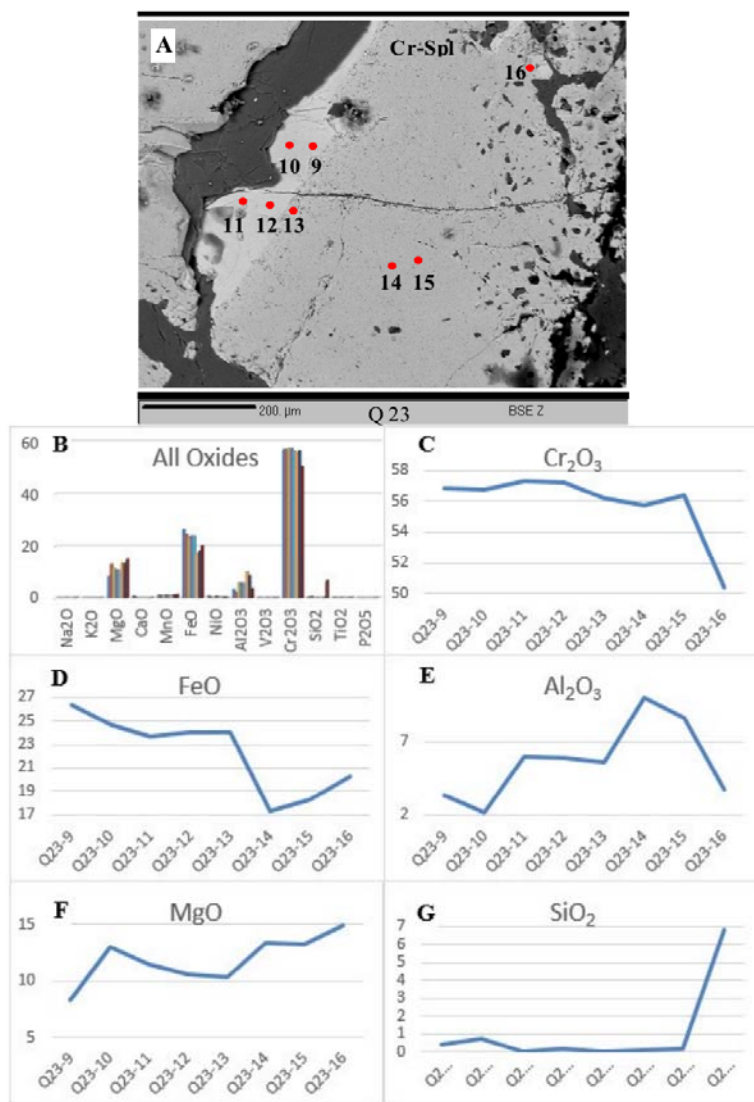
**Table 1 (Continued).** Results of electron microprobe analysis of chromite minerals in the Qarenaz- Alamkandi area. Values in percent.

Position	Rim					
	Sample Name	9 /Q23-P2	10 /Q23-P2	11 /Q23-P2	12 /Q23-P2	13 /Q23-P2
SiO <sub>2</sub>	0.45	0.72	0.04	0.14	0.04	6.81
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.14	0.21	0.21	0.2	0.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.33	2.2	5.99	5.89	5.63	3.74
FeO	26.42	24.62	23.74	24.08	24.03	20.3
MnO	1.41	1.18	1.32	1.38	1.37	1.53
MgO	8.32	13.04	11.54	10.62	10.37	14.97
CaO	0.95	0.14	0.01	0	0	0.14
NiO	0.98	0.25	0.42	0.96	0.45	0.16
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0	0.06	0	0.05
K <sub>2</sub> O	0	0.01	0	0	0.01	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0.01	0	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.85	56.77	57.32	57.21	56.22	50.43
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.08	0.15	0.1	0.13	0.09
<b>Total</b>	99.12	99.16	100.74	100.66	98.45	98.36
<b>Number of ions on the basis of 32 oxygens</b>						
Cr	12.4942	12.0298	11.9676	12.1034	12.1094	10.4021
Fe(iii)	2.0208	2.8156	2.0318	1.8581	1.9507	0.8285
Fe(ii)	4.1206	2.7024	3.2107	3.5301	3.5237	3.6003
Mg	3.4481	5.2107	4.5435	4.2368	4.2120	5.8228
Mn	0.3320	0.2679	0.2952	0.3128	0.3161	0.3381
Al	1.0910	0.6949	1.8643	1.8575	1.8077	1.1500
Si	0.1251	0.1930	0.0106	0.0375	0.0109	1.7768
Ti	0.0585	0.0282	0.0417	0.0423	0.0410	0.0235
V	0.0267	0.0172	0.0318	0.0215	0.0284	0.0188
Ca	0.2829	0.0402	0.0028	0.0000	0.0000	0.0391
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.920	0.945	0.865	0.867	0.870	0.900
Mg/Mg+Fe(ii)	0.456	0.658	0.586	0.545	0.544	0.618
Fe/Fe+Mg	0.640	0.514	0.536	0.560	0.565	0.432

ادامه جدول ۱. نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های کرومیت در کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی. مقادیر برحسب درصد هستند.

**Table 1 (Continued).** Results of electron microprobe analysis of chromite minerals in the Qarenaz- Alamkandi area. Values in percent.

Position	Rim					
	Sample Name	20 /Q21-P2	21 /Q21-P2	22 /Q21-P2	23 /Q21-P2	26 /Q21-P2
SiO <sub>2</sub>	0.08	0	0.08	0	0.11	0.09
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.21	0.18	0.13	0.16	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.47	10.99	10.64	10.03	10.91	10.77
FeO	17.16	16.84	16.96	16.59	17	17.75
MnO	1.15	1.06	1.11	1.27	1.24	1.29
MgO	13.3	14.18	13.68	13.87	13.71	13.74
CaO	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
NiO	0.93	0.54	0.8	0.38	0.57	0.56
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03	0.01
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.02	0	0	0.01	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58.58	56.64	56.32	56.94	55.46	54.86
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.08	0.06	0.07	0.07	0.06
<b>Total</b>	100.99	100.61	99.86	99.35	99.28	99.33
<b>Number of ions on the basis of 32 oxygens</b>						
Cr	11.9608	11.4215	11.5084	11.6625	11.3510	11.2194
Fe(iii)	1.0348	1.1780	1.1269	1.2100	1.1866	1.3682
Fe(ii)	2.6711	2.4137	2.5386	2.3840	2.4936	2.4713
Mg	5.1208	5.3921	5.2713	5.3571	5.2914	5.2989
Mn	0.2515	0.2290	0.2430	0.2787	0.2719	0.2826
Al	2.8823	3.3036	3.2410	3.0624	3.3286	3.2833
Si	0.0207	0.0000	0.0207	0.0000	0.0285	0.0233
Ti	0.0311	0.0403	0.0350	0.0253	0.0312	0.0350
V	0.0186	0.0164	0.0124	0.0145	0.0145	0.0124
Ca	0.0083	0.0055	0.0028	0.0056	0.0028	0.0055
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.806	0.776	0.780	0.792	0.773	0.774
Mg/Mg+Fe(ii)	0.657	0.691	0.675	0.692	0.680	0.682
Fe/Fe+Mg	0.420	0.400	0.410	0.402	0.410	0.420



شکل ۱۰. A: تصویر نقاط آنالیز شده نمونه کروم اسپینل منطقه قره‌ناز- علم‌کندی، B: نمودار تمامی اکسیدها برای نقاط ۹ تا ۱۶ در نمونه Q-23، C، D، E، F و G: نمودارهای مربوط به اکسیدهای عناصر اصلی از جمله MgO، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، FeO، Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و SiO<sub>2</sub> در مرکز و حاشیه بلور کرومیت. علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cr-Spl: کروم اسپینل).

**Fig. 10.** A: Image of analyzed point from chrome spinel sample of Qarenaz- Alamkandi area, B: Diagram of all oxides from point of 9 to 16 in the sample Q-23, C, D, E, F, and G: diagrams of major oxide elements such as Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and SiO<sub>2</sub> in the center and rims of chromite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cr-Spl: Chrome Spinel).

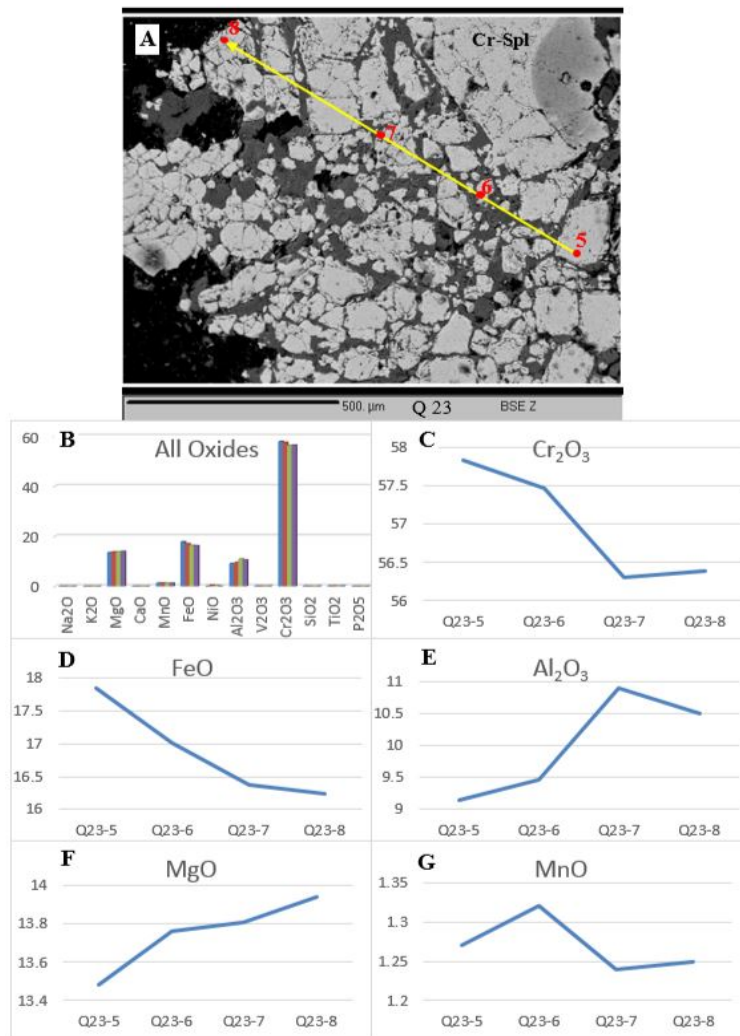
کرومیت افزایش یافته و به طور کل از سمت بلورهای سالم به سمت بلورهای برشی شده، از مقدار Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> کاسته می‌شود. چنان‌که در شکل E-۱۲ مشاهده می‌شود، روند تغییرات مقدار

شکل ۱۲-A مسیر نقاط آنالیز شده از یک بلور کرومیت سالم تا کرومیت دارای بافت کاتاکلاستیک را نشان می‌دهد. چنان‌که در شکل ۱۲-C مشاهده می‌شود مقدار Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> به سمت مرکز بلور



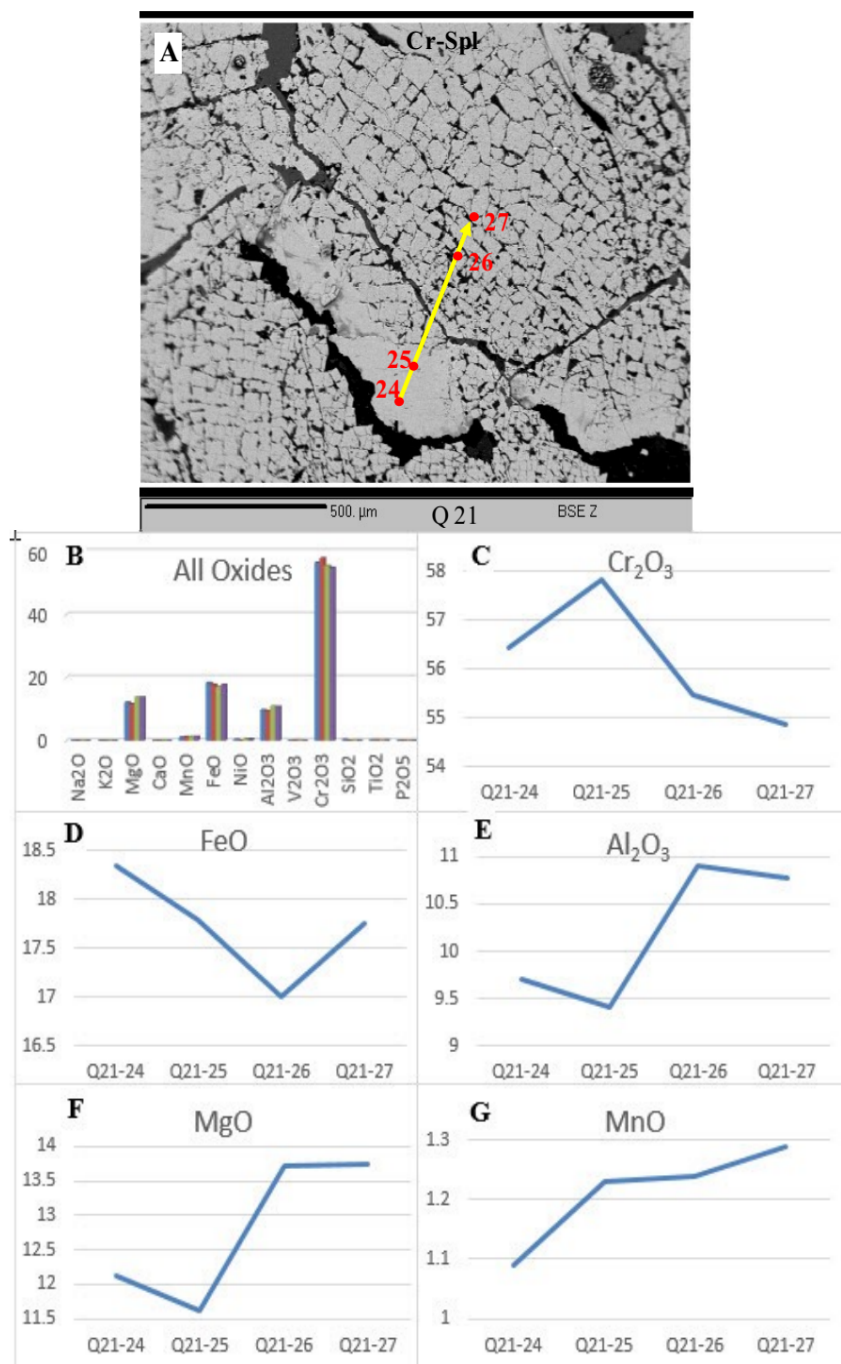
برشی شده کرومیت، مقدار FeO اندکی افزایش می‌یابد. با توجه به نمودار شکل ۱۲-G، مقدار MnO با وجود دامنه تغییرات اندک، در مسیر آنالیز از بخش‌های سالم به سمت نقاط برشی شده و دارای بافت کاتاکلاستیک، روندی صعودی را نشان می‌دهد.

$Al_2O_3$  دقیقاً برعکس روند تغییرات مقدار  $Cr_2O_3$  است. همچنین روند تغییرات مقدار MgO دقیقاً مشابه روند تغییرات  $Al_2O_3$  است (شکل ۱۲-F). با توجه به نمودار شکل ۱۲-D، مقدار FeO روندی نزولی را در طول مسیر آنالیز شده از سمت حاشیه به سمت مرکز نشان می‌دهد و در نقطه آخر در تکه‌های



شکل ۱۱. A: تصویر نقاط آنالیز شده نمونه کروم اسپینل منطقه قره‌ناز-علم‌کندی، B: نمودار تمامی اکسیدها برای نقاط ۵ تا ۸ در نمونه Q-23، C، D، E، F و G: نمودارهای مربوط به اکسیدهای عناصر اصلی از جمله  $Cr_2O_3$ ، FeO،  $Al_2O_3$ ، MgO و MnO در مرکز و حاشیه بلور کرومیت. علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cr-Spl: کروم اسپینل).

**Fig. 11.** A: Image of analyzed point from chrome spinel sample of Qarenaz- Alamkandi area, B: Diagram of all oxides from point of 5 to 8 in the sample Q-23, C, D, E, F, and G: diagrams of major oxide elements such as  $Cr_2O_3$ , FeO,  $Al_2O_3$ , MgO and MnO in the center and rims of chromite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cr-Spl: Chrome Spinel).

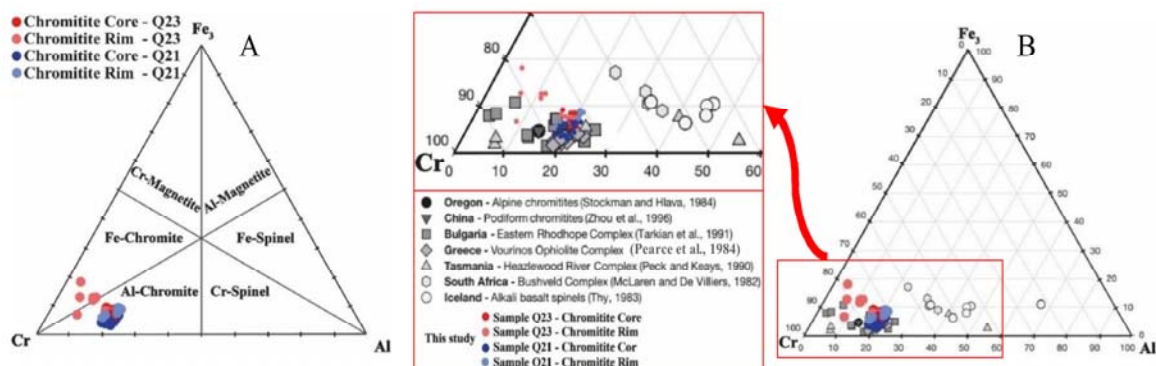


شکل ۱۲. A: تصویر نقاط آنالیز شده نمونه کروم اسپینل منطقه قره‌ناز-علم‌کندی، B: نمودار تمامی اکسیدها برای نقاط ۲۴ تا ۲۷ در نمونه Q-21، C، D، E، F و G: نمودارهای مربوط به اکسیدهای عناصر اصلی از جمله MgO، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، FeO، Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و MnO در مرکز و حاشیه بلور کرومیت. علایم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cr-Spl: کروم اسپینل).

**Fig. 12.** A: Image of analyzed point from chrome spinel sample of Qarenaz- Alamkandi area, B: Diagram of all oxides from point of 24 to 27 in the sample Q-21, C, D, E, F, and G: diagrams of major oxide elements such as Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and MnO in the center and rims of chromite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cr-Spl: Chrome Spinel).

کرومیت‌های این منطقه با دیگر ذخایر کرومیت جهان نشان‌دهنده آن است که کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی شباهت زیادی به کمپلکس رادهاپ شرقی در بلغارستان، کمپلکس افیولیتی وُرنوس در یونان، کرومیت‌های پادیفرم چین و کرومیت‌های آلپی اورگون دارد (شکل ۱۳-B).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آنالیز میکروپروب کانی کرومیت (جدول ۱)، مقادیر Cr در این کانی بین ۱۲/۵-۱۰/۴، Al بین ۳/۳-۰/۷ و  $Fe^{3+}$  بین ۲/۸-۰/۵ بوده و در نمودار سه‌تایی  $Fe^{3+}$ -Al-Cr (Barnes and Roeder, 2001)، در محدوده Al-chromites و تعداد کمی از نقاط در محدوده Fe-chromites قرار می‌گیرند (شکل ۱۳-A). مقایسه شیمی



شکل ۱۳. ترکیب شیمیایی کرومیت‌های موجود در پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی بر روی A: نمودار  $Cr$ - $Al$ - $Fe^{3+}$  بارنز و رودر (Barnes and Roeder, 2001) و B: مقایسه شیمی کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی با برخی از کرومیت‌های جهان در نمودار  $Fe^{3+}$ - $Al$ - $Cr$ . داده‌ها از ستاری و برنان (Sattari and Brenan, 2002) گرفته شده است.

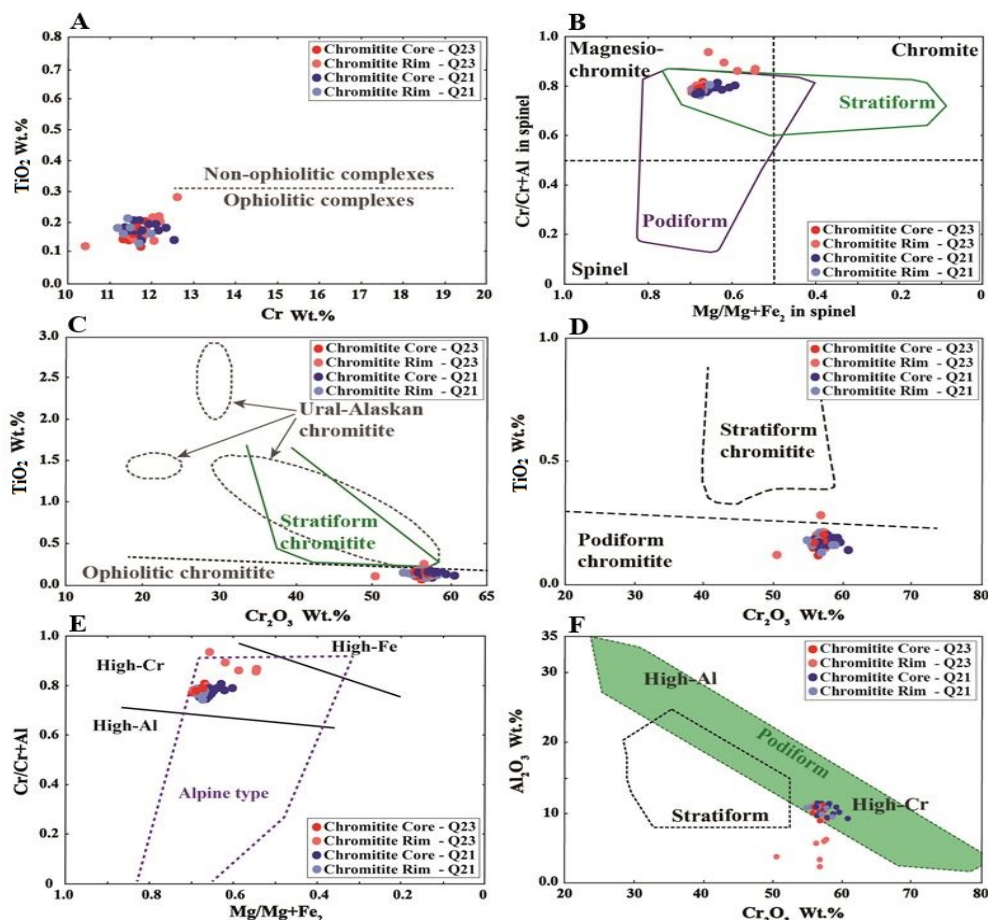
**Fig. 13.** The chemical composition of the chromites in the peridotites of the Qarenaz- Alamkandi area on A: diagram of  $Fe^{3+}$ - $Al$ - $Cr$  (Barnes and Roeder, 2001), and B: Comparison of Qarenaz- Alamkandi chromite with some of the world's chromites in the  $Fe^{3+}$ - $Al$ - $Cr$  diagram. The data are taken from Sattari and Brenan (2002).

درصد وزنی و محتوای  $Cr_2O_3$  بین ۵۰/۴۳ تا ۶۰/۸۲ درصد وزنی، در نمودار  $TiO_2$  در مقابل  $Cr_2O_3$  (Ferrario and Garuti, 1987; Arai et al., 2004)، نمونه‌های کرومیت منطقه مورد بررسی در محدوده افیولیتی و پادیفرم قرار گرفته‌اند (شکل ۱۴-C و D). در نمودار  $Cr_2O_3$  در مقابل  $Al_2O_3$  نمودار  $Cr/Cr+Al$  در مقابل  $Mg/Mg+Fe^{2+}$  (Proenza et al., 1999)، کانه‌زایی کرومیت منطقه علم‌کندی در گستره کرومیت‌های نوع آلپی و غنی از کروم قرار می‌گیرد (شکل ۱۴-E و F). با توجه مقادیر  $TiO_2$  در کرومیت‌های آنالیز شده، می‌توان اظهار داشت که مقادیر  $TiO_2$  در کرومیت‌های منطقه علم‌کندی پایین بوده (میانگین  $TiO_2$  برابر ۰/۱۷ درصد) که این

با توجه به محتوای  $TiO_2$  کانی کرومیت که از ۰/۱۲ تا ۰/۲۸ درصد وزنی تغییر می‌کند، در نمودار تغییرات  $Cr$  در مقابل  $TiO_2$  (Bonavia et al., 1993)، نمونه‌های کرومیت منطقه علم‌کندی در محدوده افیولیتی قرار می‌گیرند (شکل ۱۴-A). در نمودار  $Cr\# = Cr/Cr+Al$  در مقابل  $Mg\# = Mg/Mg+Fe^{2+}$  برای نمونه‌های کرومیتی منطقه مورد بررسی ( $Cr\# < ۰/۷۷۳$  و  $Mg\# < ۰/۴۵۶$ )، چنان‌که در این نمودار مشاهده می‌شود، در محدوده منیزیکرومیت یا کرومیت‌های منیزیم بالا قرار می‌گیرند که از نظر شکل ساختاری می‌تواند نوع پادیفرم و استراتیفرم را دارا باشد (شکل ۱۴-B). همچنین، با توجه به محتوای  $TiO_2$  بین ۰/۱۲ تا ۰/۲۸

کانسارهای کرومیت انبانی دنیا کمتر از ۰/۳ درصد است (Jan and Windley, 1990; Bridges et al., 1995).

از ویژگی‌های کانسارهای کرومیت انبانی نسبت به کانسارهای کرومیت چینه‌سان است؛ به طوری که مقادیر آن در سایر

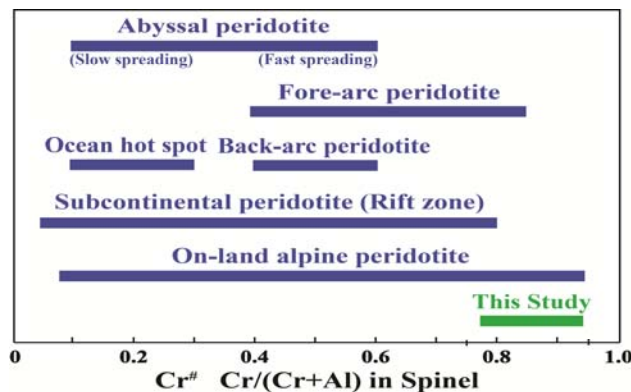


شکل ۱۴. ترکیب شیمیایی کرومیت‌های موجود در پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی بر روی A: نمودار تغییرات Cr در مقابل  $TiO_2$  از بناویا و همکاران (Bonavia et al., 1993)، B: نمودار  $Cr^\#$  در مقابل  $Mg^\#$  از لبلانک و نیکلاس (Leblanc and Nicolas, 1992)، C و D: نمودار  $TiO_2$  در مقابل  $Cr_2O_3$ . مرز بین کرومیت‌های استراتیفرم و پادیفرم از فراریو و گروتی (Ferrario and Garuti, 1987) و آرای و همکاران (Arai et al., 2004) و محدوده Ural-Alaskan از گروتی و همکاران (Garuti et al., 2005)، E: نمودار  $Cr^\#$  در مقابل  $Mg^\#$  از پرونزا و همکاران (Proenza et al., 1999). محدوده آلبی از ایروین (Irvine, 1967) و محدوده‌های انواع کرومیت High-Al، High-Cr، High-Fe از Zhou and Bai (1992)، و F: نمودار درصد وزنی  $Cr_2O_3$  در مقابل  $Al_2O_3$ . محدوده کرومیت‌های پادیفرم و استراتیفرم از آرای و همکاران (Arai et al., 2004) و محدوده کرومیت‌های High-Al، High-Cr از دومنز و همکاران (Dönmez et al., 2014) است.

**Fig. 14.** The chemical composition of chromites in the peridotites of the Qarenaz- Alamkandi area on the A: Cr vs.  $TiO_2$  diagram from Bonavia et al. (1993), B:  $Cr^\#$  versus  $Mg^\#$  diagram from Leblanc and Nicolas (1992), C and D:  $TiO_2$  vs.  $Cr_2O_3$  diagrams. The boundary between stratiform and podiform chromite is from Ferrario and Garuti (1987) and Arai et al. (2004) and the Ural-Alaskan field is from Garuti et al. (2005), E:  $Cr^\#$  versus  $Mg^\#$  diagram from Proenza et al. (1999). The Alpine field is from Irvine (1967) and the high-Al, High-Cr, High-Fe chromite are from Zhou and Bai (1992), and F:  $Cr_2O_3$  vs.  $Al_2O_3$  diagram. The podiform and stratiform field of chromite are from Arai et al. (2004) and the fields of High-Cr, High-Al chromites are from Dönmez et al. (2014).

(Arai et al., 2004)، از نوع High-Cr و پادیفرم تعیین شده‌اند (شکل ۱۴-F).  
با توجه به نتایج به‌دست آمده، کانسار کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی مربوط به افیولیت‌های پرکامبرین-کامبرین (۹) بوده و از دسته ماگمایی بونینیتی که منحصراً در ناحیه پیش‌کمانی کمان ماگمایی نزدیک به ترانشه اقیانوس پروتوتیس به‌وجود آمده، تشکیل شده است (Ahrabian, 2018). کانسار کرومیت قره‌ناز-علم‌کندی پس از فرورانش پوسته اقیانوسی پروتوتیس به زیر ایران مرکزی، در قسمت Fore Arc و در محیط Supra Subduction Zone تشکیل شده است (شکل ۱۵). طبق نتایج به‌دست آمده، کرومیت‌های علم‌کندی از نوع High-Cr ( $Cr\# > 70$ ) و به‌صورت پادیفرم بوده‌اند. این نوع کرومیت‌ها معمولاً در مذاب‌های بونینیتی یافت می‌شوند که در محیط‌های Supra Subduction Zone تشکیل شده‌اند، جایی که گوه گشته‌ای به‌وسیله مذاب/سیال آزادشده از پوسته فرورونده متاسوماتیسم شده است.

کانسارهای کرومیت با مقادیر بالای Cr، دارای نسبت تغییرات Cr/Cr+Al بیشتر از ۰/۶ و Ti پایین و مقادیر عناصر گروه پلاتین بالاتری نسبت به کانسارهای نوع Al بالا هستند؛ درحالی‌که کانسارهای نوع Al بالا حاوی نسبت تغییرات Cr/Cr+Al بین ۰/۴ تا ۰/۶ و Ti بالا و  $Al_2O_3 > 25$  wt.% هستند. کانسارهای کرومیت Cr بالا از ماگمایی با درجه ذوب‌بخشی بالای گشته بالایی حاصل می‌شوند؛ درحالی‌که کانسارهای نوع Al بالا از ماگمایی با درجه ذوب‌بخشی پایین گشته بالایی و همچنین از ذوب‌بخشی گشته حاوی پلاژیوکلاز نیز حاصل می‌شوند (Zhou et al., 1994). بر اساس این تقسیم‌بندی، کانه‌زایی کرومیت علم‌کندی با مقادیر نسبت Cr/Cr+Al بین ۰/۷۷ تا ۰/۹۵ و میانگین ۰/۸ مشابه کانسارهای کرومیت نوع کرم بالاست.  
با توجه به مقادیر  $Cr_2O_3$  بین ۵۰/۴۳ تا ۶۰/۸۲ درصد وزنی و مقادیر  $Al_2O_3$  بین ۲/۲ تا ۱۱/۱۱ درصد وزنی، نمونه‌های کرومیت منطقه علم‌کندی در نمودار  $Cr_2O_3$  در مقابل  $Al_2O_3$



شکل ۱۵. نمودار مقدار  $Cr\#$  کانسارهای کرومیت در موقعیت‌های زمین‌ساختی مختلف از لی (Lee, 1999) و مقایسه آن با کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی

**Fig. 15.** Diagram of  $Cr\#$  content in chromite deposits from different tectonic setting (Lee, 1999) and its comparison with Qarenaz-Alamkandi chromite deposit

سنگی پریدوتیتی این مجموعه شامل دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت و سرپانتینیت است. بررسی‌های میکروسکوپی نمونه‌های پریدوتیتی برداشت‌شده از این منطقه نشان می‌دهد که

### نتیجه‌گیری

یافته‌های به‌دست آمده از بررسی‌های سنگ‌نگاری سنگ میزبان در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی بیانگر آن است که عمده واحدهای



واحدهای دگرگون‌شده پرکامبرین-کامبرین قرار دارد؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که کانه‌زایی کرومیت در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی در زمان پرکامبرین-کامبرین در اثر فرورانش پوسته اقیانوسی پروتوتئیس به زیر ایران و در یک محیط سوپراسابداکشن در بخش شمالی گندوانا تشکیل شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی از نوع High-Cr ( $Cr \# > 70$ ) و به صورت پادیفرم هستند. این نوع کرومیت‌ها معمولاً در مذاب‌های بونینیتی یافت می‌شوند که در محیط‌های سوپراسابداکشن تشکیل شده‌اند، جایی که گوه گشته‌ای به وسیله مذاب/سیال آزاد شده از پوسته فرورونده متاسوماتیسم شده است. ماگمای بونینیتی اولیه کالک‌آلکان حاصل از ذوب گشته متاسوماتیسم شده، در نتیجه سیالات منشأ گرفته از لبه فرورونده در محیط سوپراسابداکشن با مذاب حاصل از گشته تهی شده متاسوماتیسم شده، ترکیب می‌شود. در نهایت، یک ماگمای مخلوط بونینیتی غنی از Cr و Mg به وجود آمده است که در پوسته قاره‌ای و در قسمت Fore Arc پهنه‌های قدیمی ایران، از جمله منطقه مورد بررسی جای گیر شده و کانسار کرومیت نوع پادیفرم غنی از کروم و منیزیم قره‌ناز-علم‌کندی را تشکیل داده است. به طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند کمک بسیار چشم‌گیری از لحاظ زمانی و مکانی در اکتشاف کانسارهای مشابه در این ناحیه و سایر مناطق مشابه در ایران داشته باشد.

### قدردانی

نویسندگان مقاله، مراتب قدردانی و تشکر خود را از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه زنجان و سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) ابراز می‌دارند. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از سردبیر محترم نشریه زمین‌شناسی اقتصادی و داوران محترم این مقاله، به خاطر راهنمایی‌های علمی ارزشمندی که به غنای بیشتر مقاله منجر شده است، قدردانی نمایند.

کانی‌های اصلی این واحدها شامل الیوین (با بافت جزیره‌ای)، ارتوپیروکسن، کلینوپیروکسن (در برخی نمونه‌ها با بافت میلونیتی و در برخی نمونه‌های دیگر به صورت اکسلوشن و بافت کومولایی و کروناپی) است. علاوه بر کانی‌های اصلی، کانی‌های فرعی و ثانویه از جمله کانی‌های کدر، سرپانتین (کریزوتیل، آتی‌گوریت)، تالک و کلسیت نیز در نمونه‌ها وجود دارد. به دلیل آنکه سنگ میزبان کانه‌زایی در منطقه قره‌ناز-علم‌کندی گسترش زیادی ندارد، کانه‌زایی محدود بوده و به صورت عدسی‌هایی با طول نهایت یک تا دو متر و عرض چند سانتی‌متر تا کمتر از یک متر دیده می‌شود. کانه‌زایی اصلی در این منطقه کرومیت است که در بخش‌های اولترامافیک شامل دونیت و هارزبورژیت سرپانتینی شده و سرپانتینیت به صورت دانه پراکنده، عدسی شکل و رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شود. بافت‌های موجود در کانه‌زایی کرومیت منطقه مورد بررسی در مقیاس میکروسکوپی و نمونه دستی شامل بافت دانه پراکنده، عدسی شکل و رگچه‌ای و در مقیاس میکروسکوپی شامل بافت‌های توده‌ای، رگچه‌ای، کاتا کلاستیک و برشی است.

نتایج حاصل از نمودارهای شیمی کانی کروم‌اسپینل‌های منطقه مورد بررسی، بر این دلالت دارد که ذخایر کرومیت منطقه قره‌ناز-علم‌کندی از نوع پادیفرم هستند و از نوع کمپلکس‌های افیولیتی به شمار می‌روند. کروم‌اسپینل‌های منطقه از نوع High-Cr بوده که غنی از Cr و Mg و فقیر از Ti هستند. با استفاده از ترکیب شیمیایی نمونه‌های آنالیز شده موجود در پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی و نمودار سه‌تایی  $Fe^{3+}$  و Al و Cr، اغلب کرومیت‌ها از نوع Al-Chromite و مقدار کمی از آنها از نوع Fe-chromite بوده‌اند. از نظر جایگاه زمین‌ساختی، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز-علم‌کندی از ماگمای دسته بونینیتی بوده‌اند که در محیط زمین‌ساختی supra-subduction zone و در ارتباط با فرورانش تشکیل شده‌اند. همچنین، با توجه به نوع High-Cr کرومیت‌ها، در محیط Fore-arc تشکیل شده‌اند.

با توجه به اینکه کانه‌زایی کرومیت در این منطقه در درون

## References

- Ahmed, A.H., 2013. Highly depleted harzburgite-dunite-chromitite complexes from the Neoproterozoic ophiolite, southeastern Desert, Egypt: A possible recycled upper mantle lithosphere. *Precambrian Research*, 233: 173–192.
- Ahrabian, P., 2018. Geology, Geochemistry and Genesis of chromite mineralization of Gharenaz- Alamkandi area, west of Zanjan, Iran. M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 215 pp. (in Persian with English abstract)
- Alavi, M. and Amidi, M., 1976. Geology Map 1: 250,000 Takab, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)
- Arai, S., Uesugi, J. and Ahmed, A.H., 2004. Upper crustal podiform chromitite from the northern Oman ophiolite as the stratigraphically shallowest chromitite in ophiolite and its implication for Cr concentration. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 147(2): 145–154.
- Babakhani, A. and Ghalamghash, J., 1996. Geology Map 1: 100,000 Takhte Soleiman, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)
- Barnes, S.J. and Roeder, P.L., 2001. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *Journal of Petrology*, 42(12): 2279–2302.
- Bonavia, F.F., Diella, V. and Ferrario, A., 1993. Precambrian podiform chromitites from Kenticha Hill, southern Ethiopia. *Economic Geology*, 88(1): 198–202.
- Bridges, J.C., Prichard, H.M. and Meireles, C.A., 1995. Podiform chromitite-bearing ultramafic rocks from the Bragança Massif, northern Portugal: fragments of island arc mantle? *Geological Magazine*, 132(1): 39–49.
- Dönmez, C., Keskin, S., Günay, K., Çolakoğlu, A. O., Çiftçi, Y., Uysal, İ. and Yıldırım, N., 2014. Chromite and PGE geochemistry of the Elekdağ Ophiolite (Kastamonu, Northern Turkey): Implications for deep magmatic processes in a supra-subduction zone setting. *Ore Geology Reviews*, 57: 216–228.
- Faridzad, M., 2017. Mineral chemistry and geothermobarometry of mantle harzburgites in the Eastern Metamorphic Complex of Khoy ophiolite -NW Iran. *Journal of Economic Geology*, 8(2): 381–398. (in Persian with English abstract)
- Ferrario, A. and Garuti, G., 1988. Platinum-Group Minerals in Chromite-rich Horizons of the Niquelandia Complex (Central Goiás, Brazil). In: H.M. Prichard, P.J. Potts, J.F.W. Bowles and S.J. Cribb (Editors), *Geo-Platinum*. Elsevier Applied Sciences, London, UK, pp. 261–272.
- Garuti, G., Pushkarev, E.V. and Zaccarini, F., 2005. Diversity of chromite-PGE mineralization in ultramafic complexes of the Urals. In: T.O. Törmänen and T.T. Alapieti (Editors), *Platinum group elements from genesis to beneficiation and environmental impact*. Geological survey of Finland, Oulu (Finland), pp. 341–344.
- Ghazi, A., Hassanipak, A., Mahoney, J. and Duncan, R., 2004. Geochemical characteristics,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages and original tectonic setting of the Band-e-Zeyarat/Dar Anar ophiolite, Makran accretionary prism, SE Iran. *Tectonophysics*, 393(1–4): 175–196.
- Ghorbani, M., 2013. *The Economic Geology of Iran: Mineral Deposits and Natural Resources*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 572.
- Gonzalez Jimenez, J.M., Proenza, J.A., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Blanco-Moreno, J.A., RuizSánchez, R. and Griffin, W.L., 2011. High-Cr and high-Al chromitites from the Sagua de Tánamo district, Mayarí-Cristal ophiolitic massif (eastern Cuba): Constraints on their origin from mineralogy and geochemistry of chromian spinel and platinumgroup elements. *Lithos*, 125(1–2): 101–121.
- Hassanipak, A.A. and Ghazi, A.M., 2000. Petrology, geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, northwest Iran: implications for Tethyan tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(1): 109–121.
- Irvine, T.N., 1967. Chromian spinel as a petrogenetic indicator: part 2. Petrologic applications. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 4(1): 71–103.
- Jan, M.Q. and Windley, B.F., 1990. Chromian spinel-silicate chemistry in ultramafic rocks of the Jijal complex, Northwest Pakistan. *Journal of Petrology*, 31(3): 667–715.
- Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J. and Meffre, S., 2001. Factors controlling chemistry of

- magmatic spinel: An empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology*, 42(4): 655–671.
- Leblanc M. and Nicolas A., 1992. Ophiolitic chromitites. *International Geology Review*, 34(7): 653–686.
- Lee, Y.I., 1999. Geotectonic significance of detrital chromian spinel: A review. *Geosciences Journal*, 3(1): 23–29.
- Malek Ghasemi, F. and Karimzadeh Somarin, A., 2005. Petrology and origin of chromite mineralisation in the Khoy Area, NW Iran. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 150(10): 358–366.
- Malpas, J., Robinson, P.T. and Zhou, M.F., 1997. Chromite and ultramafic rock compositional zoning through a paleotransform fault, Poom, New Caledonia: discussion. *Economic Geology*, 92: 502–503.
- Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J.C. and Bodinier, J.L., 1999. Al and Cr rich chromitites from the Mayari-Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba), Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94(4): 547–566.
- Sattari, P. and Brenan, J.M., 2002. Experimental Constraints on the Sulfide- and Chromite-Silicate Melt Partitioning Behavior of Rhenium and Platinum-Group Elements. *Economic Geology*, 97(2): 385–398.
- Shafaii Moghadam, H. and Stern, R.J., 2014. Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia: (I) Paleozoic ophiolites. *Journal of Asian Earth Sciences*, 91: 19–38.
- Shamsipour Dehkordi, R., Sadeghi, M. and Gholami Fesharaki, Z., 2012. Studies on genesis of chromite and PGE in Naein ophiolite melange. *Journal of Economic Geology*, 3(2): 111–125. (in Persian with English abstract)
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 52(7): 1229–1258.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist* 95(1): 185–187.
- Yaghoubpur, A. and Hassannejhad, A.A., 2006. The Spatial Distribution of Some Chromite Deposits in Iran, Using Fry Analysis. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 17(2): 147–152.
- Zhou, M.F. and Bai, W.J., 1992. Chromite deposits in China and their origin. *Mineralium Deposita*, 27(3): 192–199.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T. and Bai, W.J., 1994. Formation of podiform chromitites by melt-rock interaction in the upper mantle. *Mineralium Deposita*, 29(1): 98–101.



## Mineral chemistry and chromite mineralization in the Qaranaz-Alamkandi area, west Zanjan

Parham Ahrabian Fard<sup>1</sup>, Ghasem Nabatian\*<sup>1</sup>, Mir Ali Asghar Mokhtari<sup>1</sup>, Maryam Honarmand<sup>2</sup> and Hossein Kouhestani<sup>1</sup>

1) Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2) Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, 45137-66731, Iran

Submitted: Mar. 03, 2019

Accepted: Sept. 30, 2019

**Keywords:** Mineral chemistry of chromite, Alpine type, podiform chromite, Sanandaj-Sirjan Zone, Qaranaz-Alamkandi, Zanjan

**Introduction** Malek Ghasemi and Karimzadeh Somarin (2005) reported that Chromite deposits in Iran occur in Paleozoic and Mesozoic ophiolite complexes in association with serpentinite and serpentinized peridotites and dunites (Ghazi et al., 2004; Shafaii Moghadam and Stern, 2014). There are more than 74 chromite deposits that have been explored in these complexes and they are mainly of alpine-type (Ghorbani, 2013). These ophiolite complexes are part of the Tethyan belts which link to other Asian ophiolite belts such as Pakistan and Tibet in the east as well as ophiolites in the Mediterranean region such as Turkey, Troodos, Greek, and east Europe in the west (Yaghoubpur and Hassannejhad, 2006; Hassanipak and Ghazi, 2000).

New data in the current research study are used to infer the geology, mineralization, mineralogy, mineral chemistry and origin of the Qaranaz-Alamkandi chromite.

### Materials and methods

After preparing 72 samples from the study area, microscopic studies were carried out on 18 thin sections and 23 polished-thin sections for recognition of the microscopic features of the host rock as well as the mineralogy and texture of the ore body. Then, two chromite samples were analyzed at the Iran Mineral Processing Research Center, Karaj, Iran using electron microprobe and scanning electron microscope (SEM) methods.

### Discussion and Results

The Qaranaz-Alamkandi chromite occurrence is located in the west of the Zanjan province and in the northern part of the Sanandaj-Sirjan zone. This area is composed of ultramafic sequences associated with Precambrian metamorphosed rocks such as amphibolite, marble, granitic gneiss and schist.

According to petrographic studies rock units in the Qaranaz-Alamkandi area consist of serpentinized harzburgite, serpentinized lherzolite, serpentinized dunite, serpentinite, amphibolite, amphibole schist, gneissic granite and mica schist. This study shows that the peridotitic rocks in this region include dunite, harzburgite and lherzolite. Olivine, orthopyroxene and lesser amounts of clinopyroxene associated with secondary minerals (such as serpentine, chlorite and calcite) and opaque minerals (chromite and magnetite) are the main minerals in peridotites.

Mineral chemistry of olivines in the peridotites shows magnesium rich olivine with forsterite composition, slightly tending to chrysolite. The composition of olivines falls in the olivine spinel mantle array. Moreover, the olivines of dunites are comparable with those from the oceanic supra-subduction zone peridotites.

Clinopyroxenes and orthopyroxenes are Fe-Mg-Ca rich. Furthermore, clinopyroxenes show augite composition and are mainly of the calcium-magnesium type. Orthopyroxenes show mainly bronzite and minor samples showing hypersthene

\*Corresponding author Email: gh.nabatian@znu.ac.ir

composition. The composition of clinopyroxenes is similar to those of boninites and arc related magmas. This result and the given fact of the low contents of  $\text{TiO}_2$  and high contents of  $\text{SiO}_2$  in the structural formula of the pyroxenes suggest that the pyroxenes of the study area are comparable with those from the subduction tectonic settings.

Chromite mineralization in the Qaranaz-Alamkandi area has occurred within the ultramafic rocks with serpentized harzburgite and serpentinite composition. Due to the limited expansion of the peridotitic host rocks, chromite mineralization is also limited and it has occurred as lenses with maximum length up to two meters and one meter width. Chromite mineralization has occurred as massive, disseminated, lenticular and vein-veinlets form in this area.

Mineral chemistry of Chrome spinels from the Qaranaz-Alamkandi area indicate that the chromite samples plot within the ophiolite complexes and high-magnesium chromite field (Leblanc and Nicolas, 1992), which classifies them as podiform chromite deposits in terms of mineralization type (Arai et al., 2004).

Chromite mineralization in the Qaranaz-Alamkandi area indicates an Alpine type deposit which is enriched in Cr and Mg and depleted in Ti. The Qaranaz-Alamkandi chromite mineralization has been formed from boninitic magmas which were derived from the subduction process in a supra-subduction zone and fore-arc tectonic settings (Ahrabian, 2018).

#### Acknowledgements

The authors are thankful to the Research Council of University of Zanjan and Iranian Mines & Mining Industries Development & Renovation Organization for financially supporting this study. We also acknowledge valuable comments from editor of Journal of Economic Geology and anonymous reviewers which improved the quality of the manuscript.

#### References

- Ahrabian, P., 2018. Geology, Geochemistry and Genesis of chromite mineralization of Gharenaz-Alamkandi area, west of Zanjan, Iran. M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 215 pp. (in Persian with English abstract)
- Arai, S., Uesugi, J. and Ahmed, A.H., 2004. Upper crustal podiform chromitite from the northern Oman ophiolite as the stratigraphically shallowest chromitite in ophiolite and its implication for Cr concentration. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 147(2): 145–154.
- Ghazi, A., Hassanipak, A., Mahoney, J. and Duncan, R., 2004. Geochemical characteristics,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages and original tectonic setting of the Band-e-Zeyarat/Dar Anar ophiolite, Makran accretionary prism, SE Iran. *Tectonophysics*, 393(1–4): 175–196.
- Ghorbani, M., 2013. The Economic Geology of Iran: Mineral Deposits and Natural Resources. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 572.
- Hassanipak, A.A. and Ghazi, A.M., 2000. Petrology, geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, northwest Iran: implications for Tethyan tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(1): 109–121.
- Leblanc M. and Nicolas A., 1992. Ophiolitic chromitites. *International Geology Review*, 34(7): 653–686.
- Malek Ghasemi, F. and Karimzadeh Somarin, A., 2005. Petrology and origin of chromite mineralisation in the Khoy Area, NW Iran. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 150(10): 358–366.
- Shafaii Moghadam, H. and Stern, R.J., 2014. Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia: (I) Paleozoic ophiolites. *Journal of Asian Earth Sciences*, 91: 19–38.
- Yaghoubpur, A. and Hassannejhad, A.A., 2006. The Spatial Distribution of Some Chromite Deposits in Iran, Using Fry Analysis. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 17(2): 147–152.