

## سنگ شناسی، شیمی کانی و شکل گیری کرومیت های اند و قشلاق، مجموعه ای افیولیتی خوی (شمال غرب ایران)

علی کنعانیان<sup>۱\*</sup>، منصور عطایی<sup>۱</sup>، میر صالح میر محمدی<sup>۲</sup>، علی امامعلی پور<sup>۳</sup>

۱- دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۲- دانشکده مهندسی معدن، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه تهران

۳- گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۰/۱، نسخه نهایی: ۸۸/۱۲/۲۳)

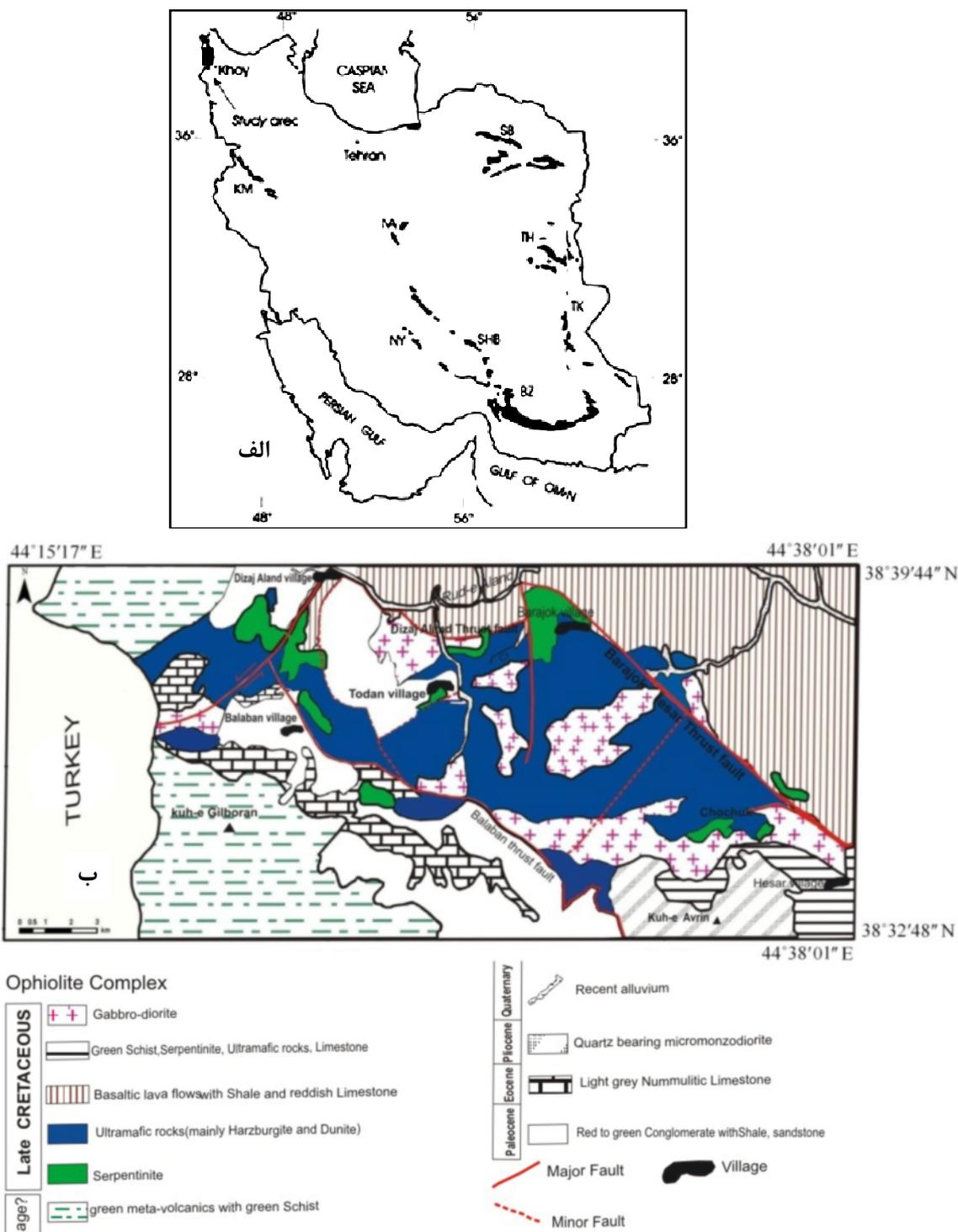
**چکیده:** ذخایر کرومیت مناطق اند (روستاهای برزوک و کوچک) و قشلاق در افیولیت خوی بیشتر به صورت عدسی، لایه ای یا توده های نامنظم و پراکنده با غلاف های دونیتی و سنگ های هارزبورژیتی دربرگرفته شده اند. این کرومیت ها از نظر ترکیب به کرومیت های نوع آلی شباهت داشته و بافت های گرهکی، توده ای، افشان و لایه ای نشان می دهند. داده های حاصل از تجزیه های شیمیایی نقطه ای (EMPA) نشان می دهند که کرومیت ها عدد کروم  $Cr\#[100Cr/(Cr + Al)]$  متفاوت داشته و میانگین آن در کرومیت های موجود در هارزبورژیت ها ۴۵/۱۳، کرومیت های افشان قشلاق و برزوک به ترتیب ۴۰/۵۸ و ۵۸/۱۲ و کرومیت های موجود در کرومیت های روستاهای برزوک و کوچک به ترتیب ۶۶/۷ و ۷۳/۴۳ است. ترکیب کرومیت ها از نظر عدد کروم، عدد منیزیم، مقادیر  $Fe_2O_3$   $Al_2O_3$   $MgO$ ،  $Cr_2O_3$  و  $TiO_2$  و نیز ضرایب همبستگی میان اکسیدهای گوناگون با ترکیب کلی کرومیت های نوع انبانه ای همخوانی دارد. کرومیت های منطقه ای اند از نوع کروم بالا با  $Cr\# > 66\%$  و کرومیت های قشلاق از نوع Al بالا با  $Cr\#$  حدود ۴۰ درصد وزنی هستند. با توجه به مقادیر  $Al_2O_3$   $Cr_2O_3$   $TiO_2$  و  $Al_2O_3$  در نمونه های مورد بررسی به نظر می رسد که کرومیت های منطقه ای اند از یک ماگمای بونینیتی در جایگاه زمین ساختی چندفرورانشی و کرومیت های قشلاق از یک ماگمای تولیتی مشابه مورب تولید شده باشند.

**واژه های کلیدی:** کرومیت های انبانه ای، چندفرورانشی، بونینیت، افیولیت خوی، ایران.

### مقدمه

ورقه ای، گدازه های توده ای و بالشی و سنگ های رسوبی پلاژیک شامل چرت رادیولاریتی تشکیل شده است [۱]. افیولیت خوی هم ارز گروه درونی افیولیت های ایران (شامل نائین، شهرباک، سبزوار، چهل کوره و کهنوج) بوده و در نتیجه ی بسته شدن شاخه ای شمال غربی دریای مزوزوئیک ایجاد شده است که زمانی ریزقاره ای ایران مرکزی را احاطه کرده بود (شکل ۱ الف، [۱، ۲]).

افیولیت خوی در مقیاس زمین ساخت جهانی، در بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا و با گسترشی بالغ بر ۳۹۰۰ کیلومتر مربع نشان دهنده ی بقایای لیتوسفر اقیانوسی نفوتتیس در مزوزوئیک است. مجموعه ای مورد بررسی از پایین به بالا از یک زون دگرگونی قاعده ای مشخص، پریدوتیت های سالم (دونیت و هارزبورژیت) و سرپانتینی شده، گابروها، دایک های



شکل ۱ الف) نقشه پراکندگی افیولیت‌های ایران و موقعیت افیولیت خوی [۲۰۱] ب) نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی که از کنار هم قراردادن نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ خوی و ۱/۱۰۰۰۰۰ دیزج با تغییرات جزئی تهیه شده است [۹، ۱۰].

محیط‌های مختلفی چون جزایر قوسی، حوضه‌های پشت قوسی و پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) پیشنهاد شده است [۳، ۴]. شیمی کانی کرومیت و سیلیکات‌های همراه آنها و نیز

خاستگاه کرومیت‌های انبانه‌ای (podiform) و محیط زمین ساختی تشکیل آنها یکی از موضوعات بحث برانگیز و قابل توجه در زمین‌شناسی است. تاکنون برای شکل‌گیری این کانسارها

بهره‌برداری هستند.

#### منطقه‌ی الند (برژوک و کوچک)

این منطقه از نظر گسترش سنگ‌های اولترامافیک، کرومیتیت‌ها و نیز رخنمون سنگ‌های لیستونیتی دارای اهمیت است. اولترامافیک‌های این ناحیه از هارزبورژیت، هارزبورژیت‌های سرپانتینی شده، سرپانتینیت، دونیت و مقدار کمی پیروکسنیت تشکیل شده‌اند. در ذخایر مورد بررسی، به طور معمول توده‌های کرومیتیتی با پوششی از دونیت در بر گرفته شده‌اند به طوری که بخش دونیتی حدفاصل کرومیتیت‌ها و هارزبورژیت‌ها را تشکیل می‌دهد. بیشتر این پوشش دونیتی به سرپانتینیت تبدیل شده، ولی تشخیص آن از هارزبورژیت سرپانتینی شده با توجه به بافت‌های باقیمانده‌ی متفاوت امکان پذیر است.

#### منطقه‌ی قشلاق

در منطقه‌ی قشلاق (شمال باختر خوی) نیز چند توده‌ی کرومیتیتی به شکل عدسی‌های کشیده با فاصله‌ی اندک از همدیگر یافت می‌شوند. بافت کانسنگ در این منطقه بیشتر گرهکی تا افشان بوده و در مقایسه با کرومیتیت‌های ناحیه‌ی الند، عیار کمتری دارند.

#### روش بررسی

در این پژوهش، از روش سنگ‌نگاری (Petrography) برای بررسی بافت و کانی‌شناسی کرومیتیت‌ها و نیز سنگ‌میزبان آنها استفاده شده است. بدین منظور تعداد ۸۰ مقطع میکروسکوپی (۳۹ مقطع صیقلی و ۴۱ مقطع نازک) تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. ترکیب شیمیایی کرومیتیت‌ها نیز بر اساس تجزیه‌ی شیمیایی نقطه‌ای بلورهای کرومیت به روش ریزکاو الکترونی مورد بررسی قرار گرفته است. تجزیه‌ی شیمیایی نقطه‌ای کرومیت‌ها به تعداد ۳۹ نقطه از ۶ مقطع نازک- صیقلی (Polished thin section) با یک دستگاه ریزکاو الکترونیکی مدل Cameca SX50 با ولتاژ 20 KV و شدت جریان 20 nA در دانشگاه Oklahoma City ایالات متحده‌ی آمریکا صورت گرفته است. از میان این نمونه‌ها، تعداد ۲۰ نقطه به کرومیتیت‌های با بافت توده‌ای (جدول‌های ۱ و ۲)، ۱۶ نقطه به کرومیتیت‌های با بافت افشان و گرهکی (جدول-های ۳ و ۴)، و ۳ نقطه نیز به کرومیت‌های موجود در سنگ‌های هارزبورژیتی نزدیک غلاف‌های دونیتی (جدول ۴) وابسته‌اند.

درجه‌ی تبلورشان معیاری ارزشمند برای شناسایی شرایط تشکیل و ترکیب‌گذاری مادر آنهاست و می‌تواند به عنوان شاخصی برای شناسایی خاستگاه ماگما و تشخیص محیط‌های زمین‌ساختی مختلف استفاده شود [۵-۸]. علیرغم بررسی‌های متالورژی و زمین‌شناسی ناحیه‌ای در خصوص مجموعه‌ی افیولیتی خوی، تاکنون بررسی‌های جامع و در عین حال متمرکز روی شیمی و سنگ‌زایی کرومیت‌های این مجموعه افیولیتی انجام نیافته است. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر و برخلاف یافته‌های پیشین در مورد این مجموعه، ذخایر اقتصادی از کرومیت‌های نوع انبانه‌ای پر عیار (کرومیتیت) از جمله در منطقه الند (روستاهای برژوک و کوچک) و پیرامون آن مورد شناسایی قرار گرفته است، بررسی‌های کانی‌شناختی و تجزیه‌های شیمیایی می‌تواند برای دستیابی به ویژگی‌های شیمیایی کانی کرومیت، و ارتباط آن با سنگ‌های میزبان مفید باشد.

#### زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه‌ی مورد بررسی در شمال باختری ایران و در زون ساختاری البرز- آذربایجان بین طول‌های ۱۵' ۴۴° تا ۳۸' ۴۴° شرقی و عرض‌های ۳۲' ۳۸° تا ۳۹' ۳۸° شمالی قرار گرفته است. (شکل ۱ ب، [۹، ۱۰]). تاکنون نزدیک به ۱۰ رخداد کرومیتیتی در گستره‌ی افیولیتی ناحیه‌ی خوی شناسایی شده‌اند. این سنگ‌های بازی (شامل هارزبورژیت، دونیت و اندکی پیروکسنیت) که بیشترشان سرپانتینی شده‌اند، به تنهایی گسترشی بیش از ۲۵۰ کیلومتر مربع از افیولیت خوی را به خود اختصاص داده‌اند. گابرو و گدازه‌های بازالتی با ساخت بالشی در دو سوی رودخانه‌ی الند گسترش دارند. دایک‌های رودنژیته‌ی از دیگر واحدهای سنگی این منطقه‌اند. سنگ‌های ائوسن شامل سنگ آهک، مارن و کنگلومرا به سن لوتسین به طور ناهم شیب روی اولترامافیک‌ها جای گرفته‌اند [۱۱].

توده‌های کرومیتیتی به صورت صفحه‌ای، عدسی‌شکل و پراکنده (disseminated) درون هارزبورژیت‌های گوشته‌ای جای دارند و تاکنون هارزبورژیت‌های زون انتقالی گوشته-پوسته و نهشته‌های کرومیت احتمالی همراه آنها در افیولیت خوی شناسایی نشده‌اند [۱۲]. بیشتر این رخدادها کوچک بوده و ذخیره‌ی اندکی دارند و در حال حاضر تنها کانسارهای الند (برژوک و کوچک) و قشلاق با چند ده هزار تن ذخیره قابل

جدول ۱ نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی کرومیت در کرومیت‌های برژوک.

|   | Kh-1   | kh-2   | Kh-3   | Kh-4   | Kh-5   | Kh-6   | Kh-7   | Kh-8   | Kh-9  | Kh-10  |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۳   | ۰/۰۲   | ۰/۰۱   | ۰/۰۲   | ۰/۰۳   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   |
| TiO <sub>2</sub>  | ۰/۱۴   | ۰/۱۴   | ۰/۱۲   | ۰/۱۳   | ۰/۱۳   | ۰/۱۴   | ۰/۱۵   | ۰/۱۴   | ۰/۱۵  | ۰/۱۲   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۱۷,۲۶  | ۱۷,۲۶  | ۱۷,۴۴  | ۱۷,۳۱  | ۱۷,۴۵  | ۱۷,۳۴  | ۱۷,۳۷  | ۱۷,۵۸  | ۱۷,۴۷ | ۱۷,۵۷  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۵۱,۹۸  | ۵۲,۲۰  | ۵۱,۹۱  | ۵۲,۴۰  | ۵۲,۲۳  | ۵۲,۳۹  | ۵۲,۱۷  | ۵۲,۱۹  | ۵۱,۷۶ | ۵۲,۲۸  |
| FeO*  | ۱۵,۸۴  | ۱۵,۸۲  | ۱۵,۸۷  | ۱۵,۳۷  | ۱۵,۰۲  | ۱۵,۲۸  | ۱۵,۴۴  | ۱۵,۱۲  | ۱۵,۴۰ | ۱۵,۴۹  |
| MnO   | ۰/۰۸   | ۰/۰۴   | ۰/۰۷   | ۰/۰۷   | ۰/۰۴   | ۰/۰۵   | ۰/۰۳   | ۰/۰۸   | ۰/۰۶  | ۰/۰۶   |
| NiO   | ۰/۱۳   | ۰/۱۰   | ۰/۱۰   | ۰/۱۴   | ۰/۱۷   | ۰/۱۸   | ۰/۱۲   | ۰/۱۲   | ۰/۱۴  | ۰/۱۱   |
| MgO   | ۱۴,۷۸  | ۱۴,۸۰  | ۱۴,۸۰  | ۱۵,۰۶  | ۱۵,۰۹  | ۱۵,۲۷  | ۱۵,۰۳  | ۱۵,۲۶  | ۱۴,۹۸ | ۱۴,۹۵  |
| total   | ۱۰۰,۲۱ | ۱۰۰,۳۶ | ۱۰۰,۳۳ | ۱۰۰,۵۱ | ۱۰۰,۱۴ | ۱۰۰,۶۷ | ۱۰۰,۳۴ | ۱۰۰,۵۱ | ۹۹,۹۶ | ۱۰۰,۵۸ |
| کاتیون‌ها بر اساس ۴ اکسیژن و Fe <sup>3+</sup> بر اساس معادله [۱۳] محاسبه شده است. |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |
| Al  | ۰,۶۲   | ۰,۶۲   | ۰,۶۳   | ۰,۶۲   | ۰,۶۳   | ۰,۶۲   | ۰,۶۳   | ۰,۶۳   | ۰,۶۳  | ۰,۶۳   |
| Cr  | ۱,۲۷   | ۱,۲۷   | ۱,۲۶   | ۱,۲۷   | ۱,۲۷   | ۱,۲۷   | ۱,۲۷   | ۱,۲۶   | ۱,۲۶  | ۱,۲۷   |
| Fe <sup>3+</sup>  | ۰/۰۹   | ۰/۰۹   | ۰/۰۹   | ۰/۰۹   | ۰/۰۸   | ۰/۰۹   | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   | ۰/۰۹  | ۰/۰۸   |
| Fe <sup>2+</sup>  | ۰/۳۱   | ۰/۳۱   | ۰/۳۱   | ۰/۳۰   | ۰/۳۰   | ۰/۲۹   | ۰/۳۱   | ۰/۲۹   | ۰/۳۰  | ۰/۳۱   |
| Mg  | ۰,۶۸   | ۰,۶۸   | ۰,۶۸   | ۰,۶۹   | ۰,۶۹   | ۰,۶۹   | ۰,۶۹   | ۰,۶۹   | ۰,۶۹  | ۰,۶۸   |
| Mg# <sup>1</sup>  | ۶۸,۳۰  | ۶۸,۲۰  | ۶۸,۲۰  | ۶۹,۳۰  | ۶۹,۶۰  | ۷۰,۱۰  | ۶۹,۰۰  | ۷۰,۰۰  | ۶۹,۲۰ | ۶۸,۷۰  |
| Cr# <sup>2</sup>  | ۶۶,۹۰  | ۶۷,۰۰  | ۶۶,۶۰  | ۶۷,۰۰  | ۶۶,۸۰  | ۶۷,۰۰  | ۶۶,۸۰  | ۶۶,۶۰  | ۶۶,۵۰ | ۶۶,۶۰  |
| Fe <sup>3+</sup> # <sup>3</sup>   | ۴,۶۶   | ۴,۵۳   | ۴,۵۹   | ۴,۴۹   | ۴,۲۱   | ۴,۷۲   | ۴,۴۳   | ۴,۴۶   | ۴,۵۴  | ۴,۲۹   |

1= Mg# = [100 Mg / (Mg + Fe<sup>2+</sup>)], 2= Cr# = [100 Cr / (Cr + Al)], 3= Fe<sup>3+</sup># = [100 Fe<sup>3+</sup> / (Fe<sup>3+</sup> + Al + Cr)]

جدول ۲ نتایج آنالیز ریزکوالکترونی کانی کرومیت در کرومیت‌های روستای کوچک.

|   | Kh-24  | Kh-25  | Kh-26  | Kh-27  | Kh-28 | Kh-29  | Kh-30 | Kh-31 | Kh-32  | Kh-33 |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>  | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۲   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱  | ۰/۰۱   | ۰/۰۲  | ۰/۰۲  | ۰/۰۱   | ۰/۰۲  |
| TiO <sub>2</sub>  | ۰/۲۹   | ۰/۲۷   | ۰/۲۷   | ۰/۲۹   | ۰/۳۱  | ۰/۳۰   | ۰/۲۷  | ۰/۳۲  | ۰/۲۸   | ۰/۲۷  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۱۳,۴۳  | ۱۳,۲۴  | ۱۳,۳۸  | ۱۳,۲۶  | ۱۳,۱۸ | ۱۳,۰۶  | ۱۳,۲۱ | ۱۲,۸۷ | ۱۲,۹۸  | ۱۳,۲۲ |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۵۴,۶۲  | ۵۴,۵۴  | ۵۴,۵۵  | ۵۴,۵۴  | ۵۴,۲۰ | ۵۴,۶۲  | ۵۴,۲۳ | ۵۴,۷۰ | ۵۴,۷۵  | ۵۳,۵۴ |
| FeO*  | ۱۸,۱۱  | ۱۸,۳۹  | ۱۸,۱۸  | ۱۸,۱۰  | ۱۸,۲۳ | ۱۸,۴۰  | ۱۸,۱۹ | ۱۸,۰۴ | ۱۸,۳۱  | ۱۸,۱۱ |
| MnO   | ۰/۱۱   | ۰/۱۱   | ۰/۰۹   | ۰/۰۹   | ۰/۰۸  | ۰/۱۱   | ۰/۱۴  | ۰/۰۹  | ۰/۱۲   | ۰/۰۹  |
| NiO   | ۰/۱۴   | ۰/۱۵   | ۰/۱۳   | ۰/۰۹   | ۰/۱۳  | ۰/۱۲   | ۰/۱۰  | ۰/۱۴  | ۰/۱۱   | ۰/۱۰  |
| MgO   | ۱۳,۵۷  | ۱۳,۵۸  | ۱۳,۶۵  | ۱۳,۸۰  | ۱۳,۶۴ | ۱۳,۶۷  | ۱۳,۶۷ | ۱۳,۶۶ | ۱۳,۵۵  | ۱۳,۷۲ |
| total   | ۱۰۰,۲۷ | ۱۰۰,۲۸ | ۱۰۰,۲۷ | ۱۰۰,۱۸ | ۹۹,۷۷ | ۱۰۰,۲۹ | ۹۹,۸۳ | ۹۹,۸۳ | ۱۰۰,۱۲ | ۹۹,۰۷ |
| کاتیون‌ها بر اساس ۴ اکسیژن و Fe <sup>3+</sup> بر اساس معادله [۱۳] محاسبه شده است. |        |        |        |        |       |        |       |       |        |       |
| Al  | ۰,۵۰   | ۰,۴۹   | ۰,۴۹   | ۰,۴۹   | ۰,۴۹  | ۰,۴۸   | ۰,۴۹  | ۰,۴۸  | ۰,۴۸   | ۰,۴۹  |
| Cr  | ۱,۳۶   | ۱,۳۶   | ۱,۳۶   | ۱,۳۶   | ۱,۳۶  | ۱,۳۶   | ۱,۳۶  | ۱,۳۷  | ۱,۳۷   | ۱,۳۵  |
| Fe <sup>3+</sup>  | ۰/۱۱   | ۰/۱۲   | ۰/۱۲   | ۰/۱۲   | ۰/۱۲  | ۰/۱۳   | ۰/۱۲  | ۰/۱۲  | ۰/۱۲   | ۰/۱۳  |
| Fe <sup>2+</sup>  | ۰/۳۶   | ۰/۳۵   | ۰/۳۵   | ۰/۳۵   | ۰/۳۵  | ۰/۳۵   | ۰/۳۵  | ۰/۳۵  | ۰/۳۶   | ۰/۳۴  |
| Mg  | ۰,۶۴   | ۰,۶۴   | ۰,۶۴   | ۰,۶۵   | ۰,۶۴  | ۰,۶۴   | ۰,۶۴  | ۰,۶۴  | ۰,۶۴   | ۰,۶۵  |
| Mg# <sup>1</sup>  | ۶۳,۹۰  | ۶۴,۱۰  | ۶۴,۳۰  | ۶۴,۹۰  | ۶۴,۵۰ | ۶۴,۵۰  | ۶۴,۶۰ | ۶۴,۶۰ | ۶۴,۰۰  | ۶۵,۲۰ |
| Cr# <sup>2</sup>  | ۷۳,۲۰  | ۷۳,۴۰  | ۷۳,۲۰  | ۷۳,۴۰  | ۷۳,۴۰ | ۷۳,۷۰  | ۷۳,۴۰ | ۷۴,۰۰ | ۷۳,۹۰  | ۷۳,۱۰ |
| Fe <sup>3+</sup> # <sup>3</sup>   | ۵,۹۶   | ۶,۴۵   | ۶,۲۲   | ۶,۴۲   | ۶,۴۸  | ۶,۶۲   | ۶,۵۱  | ۶,۳۳  | ۶,۳۶   | ۶,۸۲  |

۱، ۲ و ۳ مشابه جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۳ نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی کرومیت در کرومیت‌های افشان قشلاق.

|  | Gh-1   | Gh-2  | Gh-3   | Gh-4   | Gh-5   | Gh-6   | Gh-7   | Gh-8   |
|--|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱  | ۰/۰۰   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   |
| TiO <sub>2</sub>   | ۰/۱۵   | ۰/۱۴  | ۰/۱۴   | ۰/۱۲   | ۰/۱۸   | ۰/۱۴   | ۰/۱۳   | ۰/۱۵   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | ۳۳/۹۶  | ۳۴/۱۱ | ۳۳/۹۷  | ۳۳/۷۰  | ۳۴/۲۱  | ۳۳/۹۵  | ۳۴/۰۰  | ۳۴/۰۱  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | ۳۴/۳۵  | ۳۴/۸۵ | ۳۴/۸۵  | ۳۴/۷۲  | ۳۴/۴۵  | ۳۴/۴۵  | ۳۴/۳۴  | ۳۴/۷۸  |
| FeO  | ۱۳/۱۵  | ۱۳/۲۲ | ۱۲/۹۲  | ۱۳/۱۳  | ۱۳/۱۳  | ۱۳/۳۶  | ۱۳/۴۹  | ۱۳/۴۲  |
| MnO  | ۰/۰۵   | ۰/۰۷  | ۰/۰۵   | ۰/۰۶   | ۰/۰۵   | ۰/۰۵   | ۰/۰۴   | ۰/۰۷   |
| NiO  | ۰/۲۳   | ۰/۲۱  | ۰/۲۳   | ۰/۲۳   | ۰/۱۹   | ۰/۲۳   | ۰/۲۲   | ۰/۲۱   |
| MgO  | ۱۸/۳۳  | ۱۶/۷۶ | ۱۸/۴۵  | ۱۸/۲۶  | ۱۸/۳۷  | ۱۷/۹۲  | ۱۷/۹۷  | ۱۸/۲۰  |
| total  | ۱۰۰/۲۳ | ۹۹/۳۷ | ۱۰۰/۶۱ | ۱۰۰/۲۳ | ۱۰۰/۵۸ | ۱۰۰/۰۹ | ۱۰۰/۲۰ | ۱۰۰/۸۵ |
| کاتیون‌ها بر اساس ۴ اکسیژن و Fe <sup>3+</sup> بر اساس معادله [۱۳] محاسبه شده است |        |       |        |        |        |        |        |        |
| Al   | ۱/۱۳   | ۱/۱۵  | ۱/۱۳   | ۱/۱۲   | ۱/۱۳   | ۱/۱۳   | ۱/۱۳   | ۱/۱۳   |
| Cr   | ۰/۷۶   | ۰/۷۹  | ۰/۷۷   | ۰/۷۷   | ۰/۷۶   | ۰/۷۷   | ۰/۷۷   | ۰/۷۷   |
| Fe <sup>3+</sup>   | ۰/۰۸   | ۰/۰۴  | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   |
| Fe <sup>2+</sup>   | ۰/۲۲   | ۰/۲۷  | ۰/۲۲   | ۰/۲۲   | ۰/۲۲   | ۰/۲۳   | ۰/۲۳   | ۰/۲۳   |
| Mg   | ۰/۷۷   | ۰/۷۲  | ۰/۷۷   | ۰/۷۷   | ۰/۷۷   | ۰/۷۶   | ۰/۷۶   | ۰/۷۶   |
| Mg# <sup>1</sup>   | ۷۷/۷۰  | ۷۲/۲۰ | ۷۷/۹۰  | ۷۷/۶۰  | ۷۷/۵۰  | ۷۶/۳۰  | ۷۶/۴۰  | ۷۶/۹۰  |
| Cr# <sup>2</sup>   | ۴۰/۴۰  | ۴۰/۷۰ | ۴۰/۸۰  | ۴۰/۹۰  | ۴۰/۳۰  | ۴۰/۵۰  | ۴۰/۴۰  | ۴۰/۷۰  |
| Fe <sup>3+</sup> # <sup>3</sup>  | ۴/۴۸   | ۲/۰۹  | ۴/۲۶   | ۴/۴۲   | ۴/۲۶   | ۴/۰۹   | ۴/۲۵   | ۴/۳۲   |

۲،۱ و ۳ مشابه جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۴ نتایج آنالیز ریز پردازش الکترونی کانی کرومیت در کرومیت‌های افشان برژوک. سه نمونه آخر به کرومیت‌های موجود وابسته‌اند در هارزبوریت‌ها می‌باشد.

|  | Kh-13  | Kh-14 | Kh-15 | Kh-16  | Kh-17 | Kh-18 | Kh-19  | Kh-20  | Hz-1  | Hz-2   | Hz-3   |
|--|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>   | ۰/۰۲   | ۰/۰۳  | ۰/۰۱  | ۰/۰۰   | ۰/۰۱  | ۰/۰۳  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱  | ۰/۰۱   | ۰/۰۲   |
| TiO <sub>2</sub>   | ۰/۴۳   | ۰/۴۰  | ۰/۴۴  | ۰/۴۵   | ۰/۴۲  | ۰/۴۳  | ۰/۴۴   | ۰/۴۱   | ۰/۴۰  | ۰/۴۳   | ۰/۴۸   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | ۲۱/۱۷  | ۲۱/۴۷ | ۲۰/۹۳ | ۲۰/۹۶  | ۲۱/۲۷ | ۲۱/۳۵ | ۲۱/۳۰  | ۲۱/۰۷  | ۲۸/۱۱ | ۲۸/۰۸  | ۲۷/۹۲  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | ۴۳/۷۴  | ۴۳/۲۳ | ۴۳/۷۵ | ۴۴/۰۵  | ۴۲/۹۵ | ۴۳/۵۳ | ۴۳/۸۵  | ۴۴/۵۳  | ۳۴/۰۵ | ۳۴/۵۶  | ۳۴/۶۳  |
| FeO*   | ۲۰/۲۶  | ۱۹/۹۰ | ۲۰/۰۷ | ۲۰/۳۶  | ۲۰/۳۳ | ۲۰/۱۳ | ۲۰/۰۸  | ۲۰/۱۰  | ۲۴/۶۰ | ۲۴/۷۰  | ۲۴/۷۰  |
| MnO  | ۰/۱۱   | ۰/۱۳  | ۰/۱۰  | ۰/۱۲   | ۰/۱۱  | ۰/۱۰  | ۰/۱۰   | ۰/۱۰   | ۰/۱۵  | ۰/۱۶   | ۰/۱۸   |
| NiO  | ۰/۱۵   | ۰/۱۶  | ۰/۱۵  | ۰/۲۰   | ۰/۲۰  | ۰/۱۹  | ۰/۲۰   | ۰/۱۹   | ۰/۱۰  | ۰/۱۲   | ۰/۱۴   |
| MgO  | ۱۴/۴۴  | ۱۴/۵۶ | ۱۴/۳۳ | ۱۴/۱۹  | ۱۴/۳۳ | ۱۲/۹۶ | ۱۴/۴۹  | ۱۴/۴۶  | ۱۱/۷۰ | ۱۱/۸۳  | ۱۱/۶۲  |
| total  | ۱۰۰/۳۰ | ۹۹/۸۸ | ۹۹/۷۹ | ۱۰۰/۳۳ | ۹۹/۶۲ | ۹۸/۷۳ | ۱۰۰/۴۵ | ۱۰۰/۸۸ | ۹۹/۰۰ | ۱۰۰/۰۰ | ۱۰۰/۰۰ |
| کاتیون‌ها بر اساس ۴ اکسیژن و Fe <sup>3+</sup> بر اساس معادله [۱۳] محاسبه شده است |        |       |       |        |       |       |        |        |       |        |        |
| Al   | ۰/۷۵   | ۰/۷۷  | ۰/۷۵  | ۰/۷۵   | ۰/۷۶  | ۰/۷۸  | ۰/۷۶   | ۰/۷۵   | ۱/۰۰  | ۱/۰۰   | ۰/۹۹   |
| Cr   | ۱/۰۵   | ۱/۰۴  | ۱/۰۵  | ۱/۰۶   | ۱/۰۴  | ۱/۰۷  | ۱/۰۵   | ۱/۰۶   | ۰/۸۱  | ۰/۸۲   | ۰/۸۳   |
| Fe <sup>3+</sup>   | ۰/۱۶   | ۰/۱۶  | ۰/۱۶  | ۰/۱۶   | ۰/۱۷  | ۰/۱۲  | ۰/۱۶   | ۰/۱۶   | ۰/۱۵  | ۰/۱۵   | ۰/۱۴   |
| Fe <sup>2+</sup>   | ۰/۳۴   | ۰/۳۴  | ۰/۳۵  | ۰/۳۵   | ۰/۳۴  | ۰/۴۰  | ۰/۳۴   | ۰/۳۴   | ۰/۴۷  | ۰/۴۷   | ۰/۴۷   |
| Mg   | ۰/۶۵   | ۰/۶۶  | ۰/۶۵  | ۰/۶۴   | ۰/۶۵  | ۰/۶۰  | ۰/۶۵   | ۰/۶۵   | ۰/۵۳  | ۰/۵۳   | ۰/۵۳   |
| Mg# <sup>1</sup>   | ۶۵/۳۰  | ۶۶/۱۰ | ۶۵/۲۰ | ۶۴/۴۰  | ۶۵/۳۰ | ۶۰/۰۰ | ۶۵/۵۰  | ۶۵/۲۰  | ۵۳/۰۰ | ۵۳/۱۰  | ۵۲/۴۰  |
| Cr# <sup>2</sup>   | ۵۸/۱۰  | ۵۷/۵۰ | ۵۸/۴۰ | ۵۸/۵۰  | ۵۷/۵۰ | ۵۷/۸۰ | ۵۸/۰۰  | ۵۸/۶۰  | ۴۴/۸۰ | ۴۵/۲۰  | ۴۵/۴۰  |
| Fe <sup>3+</sup> # <sup>3</sup>  | ۸/۴۵   | ۸/۴۴  | ۸/۳۰  | ۸/۲۴   | ۸/۷۴  | ۶/۱۹  | ۸/۲۸   | ۸/۱۲   | ۷/۸۰  | ۷/۷۷   | ۷/۵۴   |

۲،۱ و ۳ مشابه جدول ۱ می‌باشد.

## سنگ نگاری

ذخایر کرومیتی بیشتر خاستگاه ماگمایی داشته و با فرایندهای تبلور و ته نشینی از ماگماها وابستگی مستقیم دارند. یکی از مهمترین کلیدهای پی جویی کانسارهای کرومیت، بررسی بافت و ساخت‌های موجود در این کانسارهاست. به طور کلی بافت و ساخت‌های موجود را می‌توان به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم کرد [۱۱]. بافت و ساخت‌های اولیه، بافت‌هایی هستند که همزمان با تشکیل کانسار، با خاستگاه ماگمایی به وجود آمده‌اند. این بافت‌ها تحت تاثیر فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک که پس از تشکیل کانسارهای کرومیت رخ می‌دهند، دستخوش تغییرات زیادی شده و به گروه بافت و ساخت‌های ثانویه تبدیل می‌شوند. از مهمترین بافت و ساخت‌های اولیه در کرومیت‌های خوی می‌توان به انواع افشان، گرھکی، توده‌ای و لایه‌ای (نواری) و از بافت و ساخت‌های ثانویه به انواع کششی، کاتاکلاستیک و میلونیتی اشاره کرد.

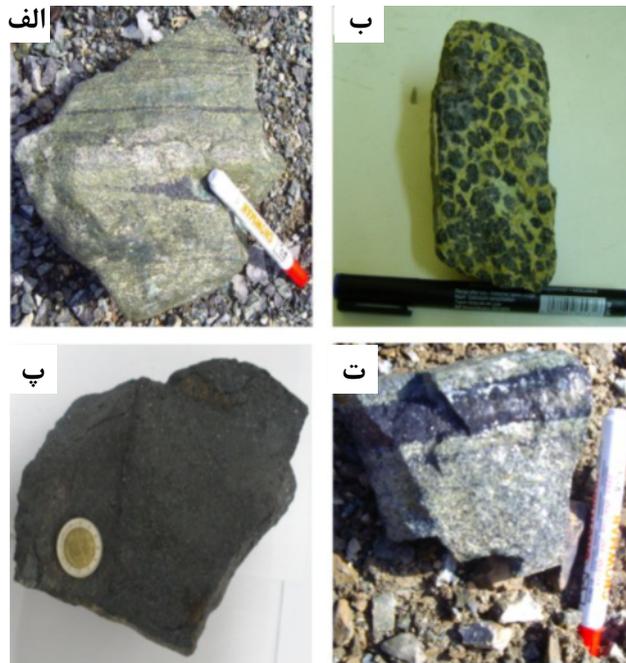
در کرومیت‌های افشان، ۸۰-۲۵ درصد سنگ یا نمونه از دانه‌های کرومیت تشکیل شده به طوری که این دانه‌ها به صورت یکنواخت بین کانی‌های سیلیکاتی (بیشتر الیون و کمتر ارتوپروکسن) پراکنده‌اند (شکل ۲ الف). ابعاد دانه‌های کرومیت در این کانسنگ‌ها بیشتر در گستره‌ی ۲۰۰ تا ۴۰۰ میکرون است. کانی‌های سیلیکاتی در اندازه‌های گوناگون بسیار ریز (۱۰ تا ۳۰ میکرون) تا درشت (حدود ۰/۱ تا ۰/۵ میلی متر) و نیز به صورت میانبرهای بی‌شکل درون بلورهای کرومیت دیده می‌شوند. اگرچه این کانی‌ها با درجه‌های مختلف به سرپانتین تبدیل شده‌اند ولی با توجه به صورت شبه ریخته‌های برج مانده، به نظر می‌رسد الیون فاز اصلی طی سرپانتینی شدن بوده است. به طور کلی از کرومیت‌های افشان به کرومیت‌های گرھکی (شکل ۲ ب) و سپس به کرومیت‌های توده‌ای (شکل ۲ پ) میزان کرومیت بیشتر شده و اندازه‌ی دانه‌ها بزرگتر می‌شود. بافت توده‌ای از فراوان‌ترین بافت‌های اولیه‌ی ماگمایی در کرومیت‌های منطقه است. این بافت از انباشته شدن دانه‌های کم و بیش درشت کرومیت تشکیل شده است که مقادیر کمی از کانی‌های سیلیکاتی و غیر سیلیکاتی (شامل مگنتیت و پیروتیت) را در خود جای داده است. تبلور و ته نشینی بلورهای کرومیت (بیش از ۹۰ درصد از حجم سنگ)، سبب انباشت لایه‌های سرشار از کرومیت می‌شود که در این صورت سنگ حاصل کرومیتیت خوانده می‌شود [۱۴]. در کانسنگ‌های توده‌ای، بلورهای درشت دانه کرومیت با بافت موزاییکی فشرده بیش از ۸۰٪ سطح مقطع را تشکیل می‌دهند. ابعاد این بلورها از ۱ تا ۳۰ میلی‌متر متغیر است. دگرشکلی‌های پس از تبلور کرومیت‌ها

همچون فرآیندهای سرپانتینی شدن، موجب ترک‌هایی در دانه‌های کرومیت شده و این ترک‌ها با سرپانتین پر شده‌اند (پدیده‌ی گسیختن). ابعاد رگچه‌های سرپانتین همراه با دانه‌های کرومیت متغیر بوده و از چند میکرون تا در مواردی تا حدود ۵۰ میکرون تغییر می‌کنند. بافت و ساخت نواری از دیگر بافت‌های اولیه‌ی ماگمایی در کرومیت‌های ناحیه‌ی خوی است (شکل ۲ ت). این بافت از تکرار لایه‌های کرومیتیت با کانی‌های سیلیکاتی به دست می‌آید. در این حالت فازهای اکسیدی و سیلیکاتی از همدیگر جدا شده و تشکیل لایه‌های مجزا را می‌دهند. در بیشتر موارد، میان لایه‌های سرشار از کرومیت، بافت افشان نشان می‌دهند. بنابراین به نظر می‌رسد که بر هم‌کنش گدازه-سنگ، جدایش و تبلور کرومیت و اختلاط ماگمایی منجر به نوسانهای زیادی در ترکیب گدازه می‌شود که هم کرومیت‌های توده‌ای و نیز کرومیت‌های افشان را تولید می‌کند و هم فازهای لایه‌ای موجود در داخل مجموعه-های انبانه‌ای را به وجود می‌آورد [۷]. بافت‌های کاتاکلاستی، میلونیتی و گسیختگی از بافت‌های ثانویه است که به فراوانی در کرومیت‌های ناحیه مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۳ الف و ب). این بافت‌ها بطور کلی به فرایند سرپانتینی 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. بافت جدایشی یا کششی از بافت‌های ثانویه به ویژه در کرومیتیت‌های با بافت گرھکی و افشان است.

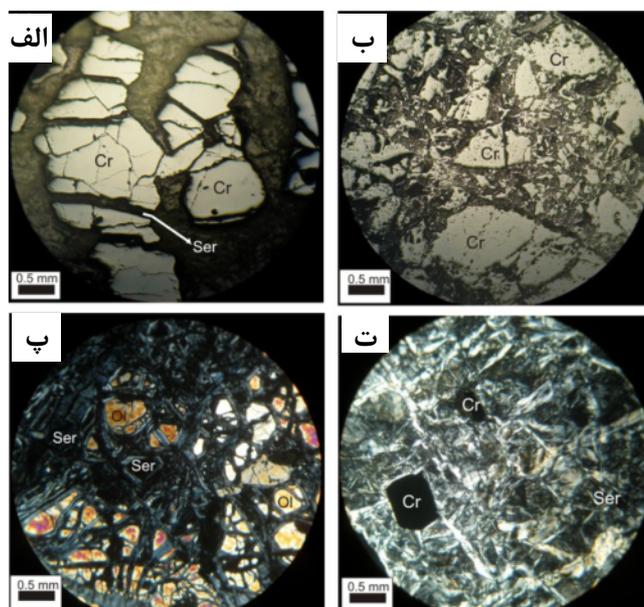
رخدادهای کرومیتی منطقه‌ی الوند همراه با پوشش دونیتی و سنگ میزبان هارزبورژیتی تحت تاثیر فرایند سرپانتینی شدن قرار گرفته‌اند. در مقاطع نازک، بافت غالب سنگ‌های میزبان غربالی و شبکه‌ای است، به گونه‌ای که بقایای کوچکی از الیون اولیه به صورت سالم در زمینه‌ای از سرپانتین به شکل جزیره‌ای حفظ شده‌اند (شکل ۳ پ). از نظر مجموعه کانیایی، هارزبورژیت‌ها شامل الیون (بطور عمده سرپانتینی شده)، ارتوپروکسن (بیشتر به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل-دار) و اندکی کلینوپروکسن است. کانی پیروتیت و کرومیت نیز به عنوان کانی‌های فرعی حضور دارند. ابعاد بلورهای ارتوپروکسن و الیون حداکثر سه میلی متر بوده، ولی ابعاد بلورهای ارتوپروکسن (از نوع برونزیت، [۱۱]) در برخی موارد به یک سانتیمتر نیز می‌رسد. فراوانی کانی‌های الیون و ارتوپروکسن در این سنگ‌ها به ترتیب ۷۰-۶۵ و ۲۵-۲۰ درصد و مقدار کلینوپروکسن کمتر از سه درصد است. در مواردی که فرایند سرپانتینی شدن گسترش کامل یافته، اثری

از کرومیت‌های دگرسان هستند. در برخی از نمونه‌ها، دانه‌های کرومیت به شکل جدا از هم به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با کانی‌های سوزنی یا رشته‌ای سرپانتین به طور کامل دربرگرفته شده‌اند (شکل ۳ ت).

از الیوین به چشم نمی‌خورد و کل سنگ از سرپانتین (بیشتر آنتیگوریت) تشکیل شده است. در برخی موارد نیز رگچه‌های کربناتی (منیزیت) در سنگ یافت می‌شود. کرومیت و سرپانتین کانی‌های اصلی و هماتیت و مگنتیت کانی‌های ثانویه و حاصل



شکل ۲ بافت‌های اولیه در نمونه‌های دستی (الف) بافت افشان (پراکنده) که در بعضی جاها به بافت نواری تبدیل شده است (ب) بافت گرهکی (نودولار) (پ) بافت توده‌ای (متراکم) (ت) بافت نواری در کانسنگ کرومیت و تبدیل لایه‌های کرومیت به لایه‌های سیلیکاتی.



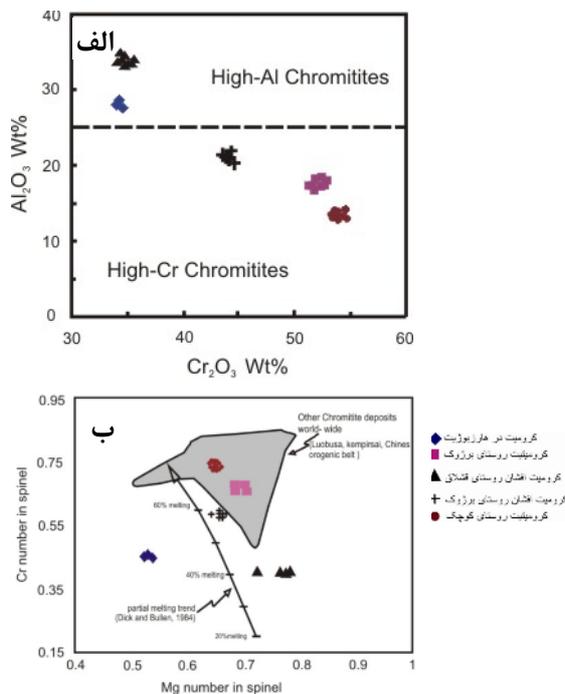
شکل ۳ (الف) گسترش شکستگی‌های ریز در دانه‌های کرومیت (Cr) ناشی از بافت کششی که در بیشتر موارد با سرپانتین (Ser) پر شده‌اند (Pull Apart Texture)، نور بازتابی. (ب) بافت ثانویه کاناکلاستی در کرومیت‌های با بافت توده‌ای، نور بازتابی. (پ) بافت غربالی ناشی از گسترش فرآیند سرپانتینی شدن در بلورهای الیوین (Ol)، نور عبوری. (ت) بلورهای یوهدرال کرومیت در یک زمینه سرپانتینی شده از سنگ هارزبورژیت، نور عبوری.

**ترکیب شیمیایی**

برای بررسی ترکیب شیمیایی کرومیتیت‌ها تعداد ۳۹ نقطه کرومیت از ۶ مقطع نازک-صیقلی به روش ریزپردازشی تجزیه-ی شیمیایی نقطه‌ای شدند. از این میان تعداد ۳۱ مورد به کرومیت‌های منطقه‌ای الوند و ۸ مورد نیز به کرومیت‌های منطقه‌ی قشلاق تعلق داشتند. برپایه‌ی نتایج به دست آمده مقدار  $Cr_2O_3$  کرومیت‌های منطقه‌ی الوند در گستره‌ی ۵۴٫۷۵-۵۱٫۲ درصد وزنی تغییر می‌کند. میانگین  $Al_2O_3$  در کرومیت‌های منطقه‌ی الوند ۱۷٫۳۹ و در کرومیت‌های منطقه‌ی قشلاق حدود ۳۴٫۶۰ درصد وزنی است.  $FeO$  در کرومیت‌های الوند بین ۱۱٫۶۲-۱۵٫۴۲ درصد وزنی و  $Fe_2O_3$  آنها بین ۸٫۷۹-۳٫۶۲ درصد وزنی تغییر می‌کند (جدول‌های ۴-۱). میانگین  $Cr\#$  و  $Mg\#$  در کرومیت‌های الوند (برژوک و کوچک) به ترتیب ۶۶٫۱۱ و ۶۶٫۱۸ است.

لبلانک و ویولیتی [۱۵] با در نظر گرفتن محتوای  $Cr_2O_3$  و  $Al_2O_3$  در ترکیب کرومیتیت‌های انبانی، آنها را به انواع کروم بالا ( $Cr_2O_3 = ۴۵-۶۰\%$ ) و آلومینیم بالا ( $Al_2O_3 > ۲۵\%$ ) رده-بندی کردند. با توجه به میزان  $Cr_2O_3$  کرومیت‌های منطقه‌ی الوند (روستاهای برژوک و کوچک)، (۵۴٫۷۵-۵۱٫۲ درصد وزنی) و نیز عدد کروم آنها (با میانگین ۶۶٫۱۱ درصد) می‌توان گفت که این کرومیت‌ها از نوع کروم بالا هستند. برخلاف آن، کرومیت‌های منطقه‌ی قشلاق و میانبارهای کرومیت در کانی-

های هارزبورژیت‌ها دارای مقادیر بالایی از  $Al_2O_3$  بوده و از این رو از نوع آلومینیم بالا به شمار می‌آیند (شکل ۴ الف). ژو و همکاران [۶] تشکیل کانسارهای کرومیت انبانه‌ای را نتیجه‌ی ذوب بخشی گوشته‌ی بالایی دانسته‌اند. این پژوهشگران معتقدند که کرومیتیت‌های غنی از کروم از ماگماهایی به وجود آمده‌اند که این ماگماها از ذوب بخشی با درجه‌ی بالایی گوشته‌ی بالایی حاصل شده‌اند، درحالی‌که کرومیتیت‌های غنی از آلومینیوم وابسته به ماگماهایی هستند که از ذوب بخشی با درجه‌ی پایین گوشته‌ی بالایی به وجود آمده‌اند. چنانکه در نمودار  $Cr\#$  نسبت به  $Mg\#$  مشاهده می‌شود (شکل ۴ ب) هرچقدر درجه‌ی ذوب بخشی بیشتر می‌شود میزان  $Cr_2O_3$  و  $Cr\#$  افزایش می‌یابد.  $Cr\#$  همبستگی مثبتی با درجه‌ی ذوب بخشی دارد به گونه‌ای که کرومیت‌ها با افزایش درجه‌ی تهی‌شدگی سرشار از کروم هستند [۱۶، ۱۷]. (شکل ۴ ب) نشان می‌دهد که کرومیتیت‌های منطقه‌ی قشلاق درمقایسه با کرومیتیت‌های منطقه‌ی الوند در درجات پایین‌تری از ذوب بخشی ایجاد شده‌اند در این نمودار نیز مقایسه‌ای بین این کرومیتیت‌ها و کرومیتیت‌های دیگر جهان صورت گرفته است که کرومیتیت‌های الوند (برژوک و روستای کوچک) از نوع کروم بالا محسوب می‌شوند و با کرومیت‌های دیگر جهان هم-خوانی دارند، این نمودار نیز تایید دیگری بر ویژگی کروم بالای نمونه‌های مورد بررسی است (شکل ۴ ب).



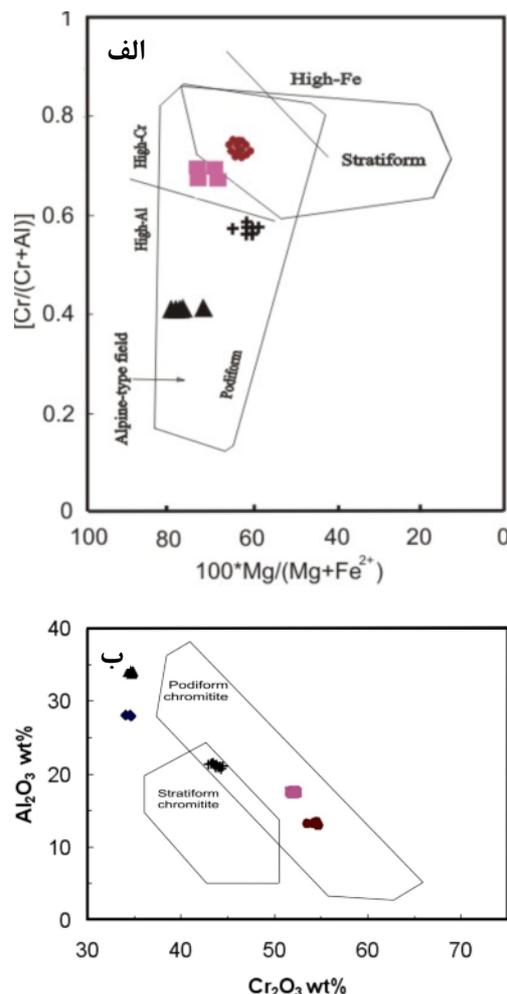
شکل ۴ موقعیت کرومیت‌های مورد بررسی (الف) در نمودار  $Al_2O_3$  نسبت به  $Cr_2O_3$  [۱۵]. (ب) در نمودار  $Cr\#$  نسبت به  $Mg\#$  و ارتباط آن با پریدوتیت‌های گوشته‌ای [۱۸].

اتمی  $Al^{+3}$  به جای  $Cr^{+3}$  در شبکه‌ی ساختاری کرومیت‌هاست، چنانکه با افزایش مقادیر  $Cr^{+3}$  از مقادیر  $Al^{+3}$  کاسته می‌شود و برعکس (شکل ۵ ب، [۱۹]).

به طور کلی کرومیت‌های با کروم بالا نسبت به کرومیت‌های آلومینیوم بالا بیشتر از تیتانیوم تهی شده‌اند که این امر می‌تواند نشانه‌ی خروج بیشتر تیتانیوم در طول ذوب بخشی با درجه‌ی بالاتر گوشته‌ی بالایی باشد [۲۱، ۲۰]. مقادیر  $TiO_2$  در کرومیت‌های مناطق آند و قشلاق پایین (میانگین  $TiO_2$  برابر ۰/۲۶ درصد) است، پایین بودن مقدار  $TiO_2$  یکی از ویژگی‌های کرومیت‌های انبانی و وجه تمایز آنها با انواع چینه‌سان است، به طوری که مقدار آن در کرومیت‌های انبانی نقاط دیگر دنیا کمتر از ۰/۳ درصد گزارش شده است. برخی از کرومیت‌ها مانند کرومیت‌های روستای کوچک دارای  $TiO_2$  نسبتا بالایی است که به واکنش بین گوشته و ماگما نسبت داده می‌شود.

در نمودار عدد کروم نسبت به عدد منیزیم (شکل ۵ الف) ترکیب کرومیت‌های روستای کوچک در گستره‌ی کرومیت‌های چینه‌سان (Stratiform) و انبانه‌ای و کرومیت‌های روستای برژوک، کرومیت‌های افشان قشلاق و برژوک در گستره‌ی کرومیت‌های انبانه‌ای قرار می‌گیرند. همچنین کرومیت‌های موجود در هارزبورژیت‌ها از نوع Residual بوده و انبانی نیستند. بنابراین نمودار همه‌ی کرومیت‌های موجود در افیولیت‌های خوی در گستره‌ی کرومیت‌های نوع آلی قرار می‌گیرند. همچنین در این نمودار رده‌بندی ترکیب کرومیت‌ها بر اساس مقدار  $Cr\#$  و  $Mg\#$  به سه رده‌ی آلومینیوم بالا، کروم بالا و آهن بالا آورده شده‌اند [۸] که گفته‌های بالا را تایید می‌کند (شکل ۵ الف).

کرومیت‌های منطقه‌ی آند (برژوک و کوچک) در نمودار  $Cr_2O_3$  نسبت به  $Al_2O_3$  نیز در گستره‌ی کرومیت‌های انبانه‌ای قرار می‌گیرند. در این نمودار بین محتوای  $Al_2O_3$  و  $Cr_2O_3$  همبستگی منفی وجود دارد، چنین ارتباطی گویای جانمایی



شکل ۵ ترکیب کرومیت‌های افیولیت خوی الف) در نمودار  $Cr\#$  نسبت به  $Mg\#$  [۱۸] و مقایسه ترکیب کرومیت‌ها با انواع کرومیت‌های  $Al$ ،  $Cr$  و  $Fe$  بالا بر اساس نمودار [۶]، ب) در نمودار  $Al_2O_3$  نسبت به  $Cr_2O_3$  [۱۹]، علائم مشابه شکل ۴ هستند.

### محیط تشکیل کرومیت‌ها

شیمی کانی کرومیت و سیلیکات‌های همراه آنها و نیز درجه‌ی تبلورشان معیاری ارزشمند برای شناسایی شرایط تشکیل و ترکیب گدازه‌ی مادر آنهاست و می‌تواند به عنوان شاخصی برای شناسایی خاستگاه ماگما و تشخیص محیط‌های زمین ساختی مختلف استفاده شود. با توجه به نمودار  $TiO_2$  نسبت به  $[Cr/(Cr + Al)]$ ، کرومیت‌های Cr بالا (کرومیتیت‌های منطقه الند) در گستره‌ی بونینیتی جای گرفته‌اند در حالیکه کرومیت‌های Al بالا (کرومیت‌های افشان قشلاق و برژوک و کرومیت‌های موجود در هارزبورژیت‌ها) در گستره‌ی مورب قرار گرفته‌اند (شکل ۶ الف). ویژگی‌های ماگماهای بونینیتی  $SiO_2$  بالا (بیش از ۵۵ درصد)، MgO بالا (بیش از ۹ درصد) و  $TiO_2$  پایین (کمتر از ۳ درصد) است که معمولاً در فشار پایین (کمتر از ۵۰ کیلو متر) و در محیط‌های بالای زون فرورانش ایجاد می‌شوند [۲۴].

بررسی‌های کرومیت‌های انبانه‌ای در افیولیت‌های گوناگون نظیر تروودوس (قبرس) و عمان، گویای آن است که دانه‌های کرومیت این انبانه‌ها در بردارنده‌ی کانی‌ها و آبگون‌های سرشار از مواد فرار و قلیایی‌اند. فراوانی آبگون‌های درگیر و کانی‌های آبدار در دانه‌های کرومیت نشانه‌ی آن است که ماگمای مادر آنها، در بردارنده‌ی آب بالایی بوده است و در حقیقت بیانگر این است که چنین کرومیت‌هایی در مناطق بالای زون فرورانش پدید آمده‌اند [۶]. در زیر جزایر قوسی به دلیل بالا بودن میزان مواد فرار وارد شده از لبه‌ی فرورونده به داخل گوه‌ی گوشته‌ای، درجه‌ی ذوب بخشی بالاست. در چنین شرایطی کرومیت با کروم بالا تشکیل خواهد شد. در مراکز گسترش با سرعت کم، نظیر حوضه‌های پشت قوسی، شرایط دیگری حاکم است. در برخی از حوضه‌های پشت قوس، گوشته از نوع MORB بوده و با گوشته میان اقیانوسی یکسان است. بنابراین به همین دلیل است که در اکثر حوضه‌های پشت قوس، بازالت‌هایی همانند اکثر پشته‌های میان اقیانوسی ایجاد شد و در نتیجه درجه‌ی ذوب بخشی پایین‌تر است. درجات پایین، ذوب بخشی ماگمایی به وجود می‌آورد که از آن کرومیت‌های آلومینیوم بالا تبلور خواهند یافت [۳].

ترکیب کرومیتیت‌های الند در نمودار تغییرات  $TiO_2$  نسبت به  $Al_2O_3$  که برای تمایز گستره‌های زون چندفرورانشی

(SSZ) از پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) ارائه شده است، در گستره‌ی زون چندفرورانشی قرار می‌گیرند. کرومیت‌های افشان برژوک و کرومیت‌های داخل هارزبورژیت‌ها و کرومیت‌های افشان قشلاق در گستره‌ی همپوشی بین زون چندفرورانشی و مورب قرار می‌گیرند. در این نمودار، ترکیب کرومیت‌ها با اسپینل‌های حوضه‌های پشت قوسی، جریان بازالت‌های قاره‌ای (LIP)، بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB)، بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) و سری جزایر کمائی نیز مقایسه شده‌اند (شکل ۶ ب).

### برداشت

۱- شواهد صحرایی (مثل شکل، ساخت و بافت) و ترکیب شیمیایی کرومیت‌ها نشان می‌دهد که ذخایر ناحیه‌ی خوی از نوع کرومیت‌های انبانی بوده و ترکیب آنها مشابه کرومیت‌های نوع آلیی است.

۲- به طور معمول توده‌های کرومیتیتی ناحیه را پوششی دونیتی سرپانتینی شده در برگرفته و این بخش خود به وسیله‌ی سنگ‌های با ترکیب هارزبورژیتی احاطه شده است.

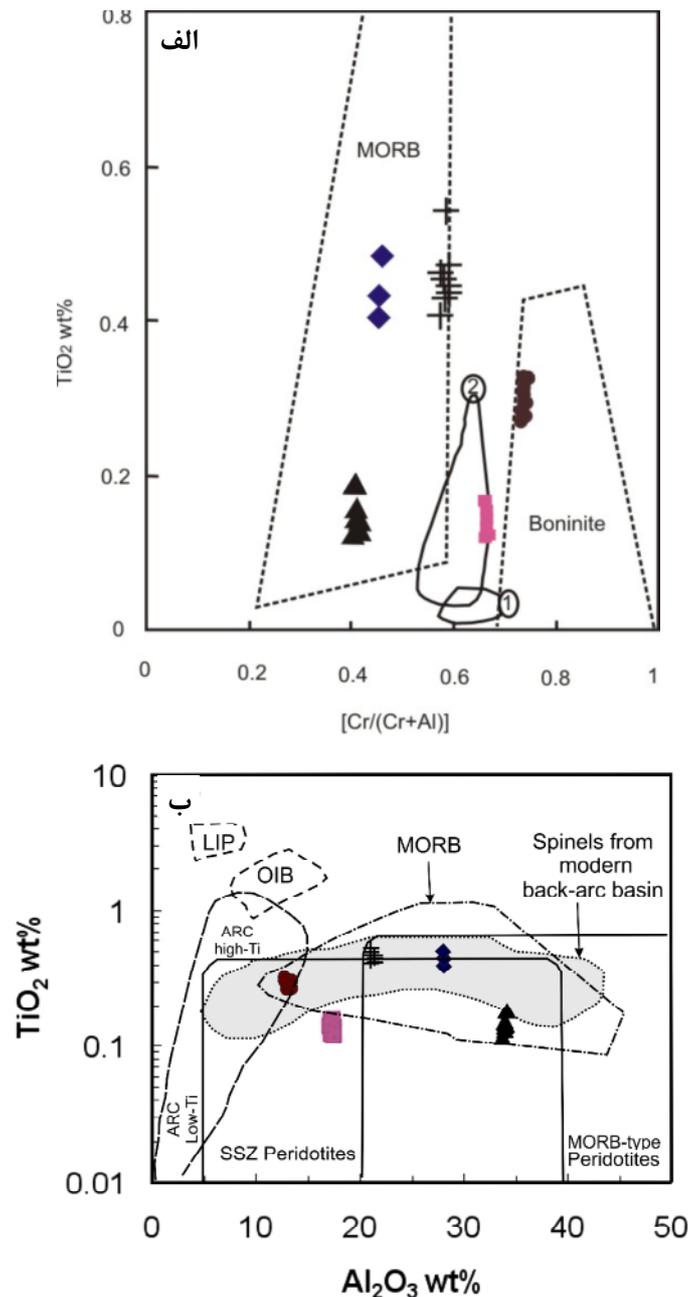
۳- از مهمترین بافت و ساخت‌های اولیه کرومیت‌های خوی را می‌توان به انواع افشان، گره‌کی، توده‌ای و لایه‌ای (نواری) و بافت و ساخت‌های ثانویه به انواع کششی، کاتاکلاستیک و میلونیتی نسبت داد.

۴- افزایش میزان کروم در کرومیت‌ها ارتباط مستقیمی با درجه‌ی گداخت بخشی دارد، به گونه‌ای که کرومیت‌های با کروم بالا نسبت به کرومیت‌های با آلومینیوم بالا دارای خاستگاه گوشته‌ای تهی شده‌تری هستند.

۵- کرومیت‌های منطقه‌ی الند از نوع Cr بالا بوده و از یک ماگمای بونینیتی و در محیط چندفرورانشی تولید شده‌اند، در حالیکه کرومیت‌های قشلاق از نوع Al بالا بوده و از یک ماگمای تولئیتی مشابه مورب تولید شده‌اند. کرومیت‌های موجود در هارزبورژیت‌ها حاصل آلودگی ماگمایی هستند.

### تشکر و قدردانی

بخشی از هزینه‌های این پژوهش از محل اعتبار حوزه‌ی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران در قالب طرح پژوهشی کانی شناسی و پیدایش کرومیت برژوک در مجموعه‌ی افیولیتی خوی به شماره‌ی ۶۱۰۵۰۲۶/ک۶/۰۱۴ تامین شده است که بدین وسیله از آن معاونت محترم تقدیر و تشکر می‌شود.



شکل ۶ الف) نمودار  $TiO_2$  (wt%) نسبت به  $[Cr/(Cr+Al)]$  [۲۲] و مقایسه آن با کرومیت‌های افیولیت‌های ترودوس (۱) و کرومیت‌های انبانه‌ای پوسته بالایی افیولیت عمان (۲) [۲۳]. ب) نمودار  $TiO_2$  نسبت به  $Al_2O_3$  [۲۵، ۲۴]. علائم مشابه شکل ۴ هستند.

#### مراجع

investigations on the Khoy ophiolites and related formations, NW Iran", Journal of Asian Earth Sciences 23(2004) 507-535.  
 [3] Zhou M.F., Sun M., Keays R.R., Kerrich R.W., "Controls on platinum-group elemental distributions of podiform chromitites: a case study of high-Cr and high-Al chromitites from Chinese orogenic belts", Geochimica et Cosmochimica Acta 62(1998) 677-688.

[1] Hassanipak A.A., Ghazi A.M., "Petrology, geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, northwest Iran; implications for Tethyan tectonics", Journal of Asian Earth Sciences 18(2000) 109-121.  
 [2] Khalatbari-jafari M., Juteau T., Bellon H., Whitechurch H., Cotton Jo., Emami H., "New geological, geochronological and geochemical

- Pods in ophiolite peridotites*", *Economic . Geology* 78 (1983) 293-301.
- [16] Dike H.J. B., Bullen T., "Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine - type pridotites and spatially associated lavas", *Contribution to Mineralogy and Petrology* 86 (1984) 54-76.
- [17] Ismail S.A., Mirza T.M., Carr P.F., "Platinum-group elements geochemistry in podiform chromitites and associated peridotites of the Mawat ophiolite, northeastern Iraq", *Journal of Asian Earth Sciences*(2009) 1-11.
- [18] Büchl A., Brüggmann G., Batanova V.G., "Formation of podiform chromitite deposits: implications from PGE abundances and Os isotopic compositions of chromites from the Troodos complex, Cyprus", *Chemical Geology* 208(2004) 217– 232.
- [19] Bonavia F.F., Diella V., Ferrario A., "Precambrian podiform chromitites from Kenticha Hill, southern Ethiopia", *Economic Geology* 88(1993) 198–202.
- [20] Jan M.Q., Windley B.F., "Chromian spinel-silicate chemistry in ultramafic rocks of the Jijal complex, Northwest Pakistan", *Journal of Petrology* 31(1990) 666-715.
- [21] Bridges J.C., Prichard H.M., Meireles C.A., "Podiform chromitite-bearing ultramafic rocks from the Bragança Massif, northern Portugal: fragments of island arc mantle?", *Geological Magazine* 132(1995) 39-49.
- [22] Arai S., "Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry", *Mineralogical Magazine* 56(1992)173-184.
- [23] Tseng C.Y., Yang H., Wu H.Q., Zuo G .C., "The silicate mineral inclusion in the chromian spinel from the Dongcaohe ophiolite, north Qilian mountains, northwestern China: record of syntexis of lower oceanic crust" *Canadian Mineralogist* 45(2007) 793-808.
- [24] Sisir K., Mondal., Edward M. Ripley., Chusi Li., Robert Frei., "The genesis of Archaean chromitites from the Nuasahi and Sukinda massifs in the Singhbhum Craton, India", *Precambrian Research* 148(2006) 45-66.
- [25] Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S., "Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks", *Journal of Petrology* 42(2001) 655-671.
- [4] Rollinson H., "The geochemistry of mantle chromitites from the northern part of the Oman ophiolite: inferred parental melt compositions", *Contribution to Mineralogy and Petrology* 156 (2008) 273- 288.
- [5] Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpel E., "Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite", *Journal of Petrology* 38(1997) 1419-1458.
- [6] Zhou M.F., Robinson P.T., Bai W.j., "Formation of podiform chromitites by melt/ rock interaction in the upper mantle", *Mineralium Deposita* 29(1994) 98-101.
- [7] Zhou M.F., Robinson P.T., Malpas J., Zijin L., "Podiform Chromitites in the Luobusa ophiolite (southern Tibet): Implications for melt-rock interaction and chromite segregation in the upper mantle", *Journal of Petrology* 37(1996) 3-21.
- [8] Zhou M.F., Bai W.j., "Chromite deposits in China and their origin", *Mineralium Deposita* 27(1992) 192-199.
- [۹] رادفر ج.، و همکاران، "نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خوی"، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۲).
- [۱۰] امینی ب.، و همکاران، "نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ /ادیزج"، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۲).
- [۱۱] امامعلی پور ع.، "متالوژنی افیولیت خوی با نگرشی ویژه بر انباشته‌های سولفور در آتشفشانی‌های زیردریایی قزل داش خوی"، رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۰)، ص ۴۶۶-۱.
- [۱۲] امامعلی پور ع.، "بررسی کانی شناسی کانی‌های فرعی و کمیاب همراه با نهشته‌های کرومیت ناحیه خوی"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره چهارم (۱۳۸۷)، ص ۵۶۰-۵۷۰.
- [13] Droop G.T.R., "A general equation for estimating Fe<sup>3+</sup> concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria", *Mineralogical Magazine* 51(1987) 431-435.
- [14] Irvine T.N., "Origin of chromite layers in Maskox intrusion and other stratiform intrusions: A new interpretation", *Geology* 5 (1977) 273-277.
- [15] Leblanc M., Violette J.F., "Distribution of aluminum - rich and chromium - rich chromite