

بررسی های کانی شناسی - ژئوشیمیایی ذخایر کرومیت چاه یابو و چشمه پلنگ با نگرشی بر کاربرد صنعتی آنها

خسرو ابراهیمی*، سعیده غلامی

گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۱۵، نسخه نهایی: ۸۹/۳/۱۹)

چکیده: مناطق مورد بررسی بخشی از زون افیولیت ملانژ سبزوار را تشکیل می دهند. مجموعه ای افیولیتی شمال شرق ایران از دیدگاه زمین شناسی و پتانسیل های معدنی دارای اهمیت است. مهم ترین واحدهای زمین شناسی منطقه ی چاه یابو به مجموعه ای افیولیتی با سن کرتاسه فوقانی وابسته است که شامل پریدوتیت های سرپانتینی شده، گابرو، دایک های دیابازی و سنگ های آتشفشانی دگرسان شده دوران سوم به ویژه ائوسن است. در منطقه ی چشمه پلنگ واحدهای سنگ شناسی مشابه چاه یابو رخمون دارند با این تفاوت که واحدهای سنگی دونیت با گسترش کمتر و هارزبورژیت با گسترش بیشتری قابل مشاهده است. بررسی های میکروسکوپی بلوک های صیقلی کانسنگ کرومیت مناطق مورد بررسی نشان می دهد که بافت آن ها به دو گروه اولیه و ثانویه قابل تقسیم است. بافت های غالب اولیه در منطقه ی چاه یابو و چشمه پلنگ، متراکم، نواری، انتشاری، مشبک و پوست پلنگی است. در صورتی که بافت های کاتاکلاستیکی و کششی از بافت های ثانویه مهم است. بررسی های ژئوشیمیایی نشان می دهد که کرومیت های منطقه ی چاه یابو و چشمه پلنگ به ترتیب با میانگین مقادیر ۵۳/۱۵٪ و ۴۲/۹۳٪ اکسید کروم (Cr_2O_3)، ۶/۱۵٪ و ۸/۹۲٪ اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، ۱۵/۹۲٪ و ۲۲/۴۲٪ اکسید منیزیم (MgO) و ۰/۱۴٪ و ۰/۱۹٪ اکسید تیتان (TiO_2) شکل گرفته اند. نسبت $[Cr/(Cr + Al)]$ در کرومیت های منطقه ی چاه یابو و چشمه پلنگ به ترتیب بیشتر از ۰/۹۱ و ۰/۷۶ است که نشان دهنده ی کانسارهای کرومیت نوع کروم بالا و آلومینیوم پایین است. مقادیر بالای Cr_2O_3 و MgO و نیز مقادیر پایین Al_2O_3 و TiO_2 کرومیت های مناطق مورد بررسی با موقعیت چینه نگاشتی عمیق کرومیت ها در دنباله ی افیولیتی (پریدوتیت های زمین ساختی) همخوانی دارد که احتمالاً خاستگاه ماگمایی هر دو کانسار گوشته ی فوقانی بوده است. با توجه به استاندارد ویژگی های شیمیایی لازم کرومیت به منظور استفاده در صنایع فروکروم ($Cr_2O_3 > 46\%$) و $(Cr/Fe > 3)$ و شیمیایی ($Cr_2O_3 > 44\%$ و $Cr/Fe > 1.5$)، کانسنگ کرومیت استخراج شده از ذخایر معدنی چاه یابو و چشمه پلنگ می تواند در صنایع فلزی و شیمیایی کاربرد داشته باشد.

واژه های کلیدی: افیولیت سبزوار؛ چاه یابو؛ چشمه پلنگ؛ صنایع فلزی؛ شیمیایی.

مقدمه

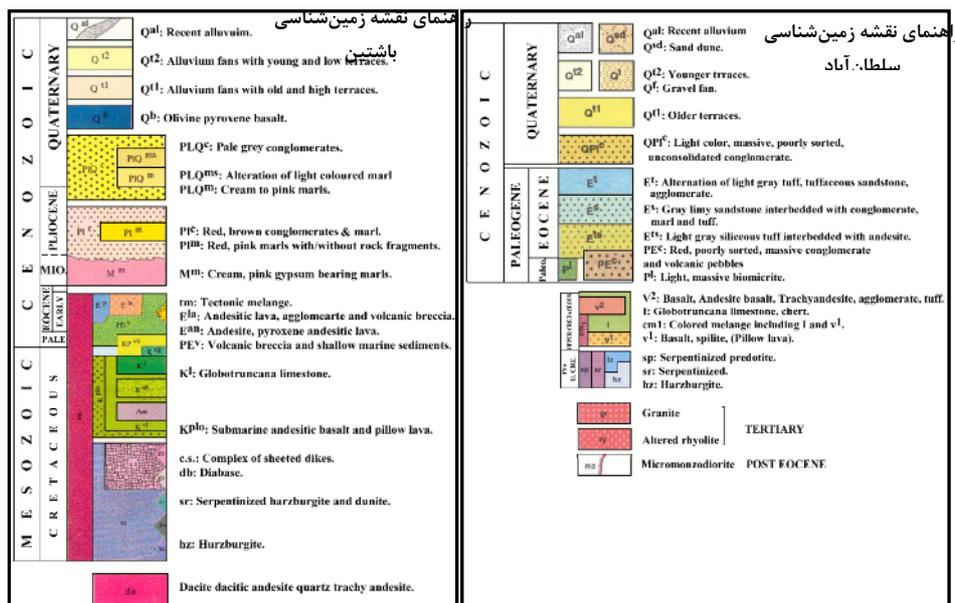
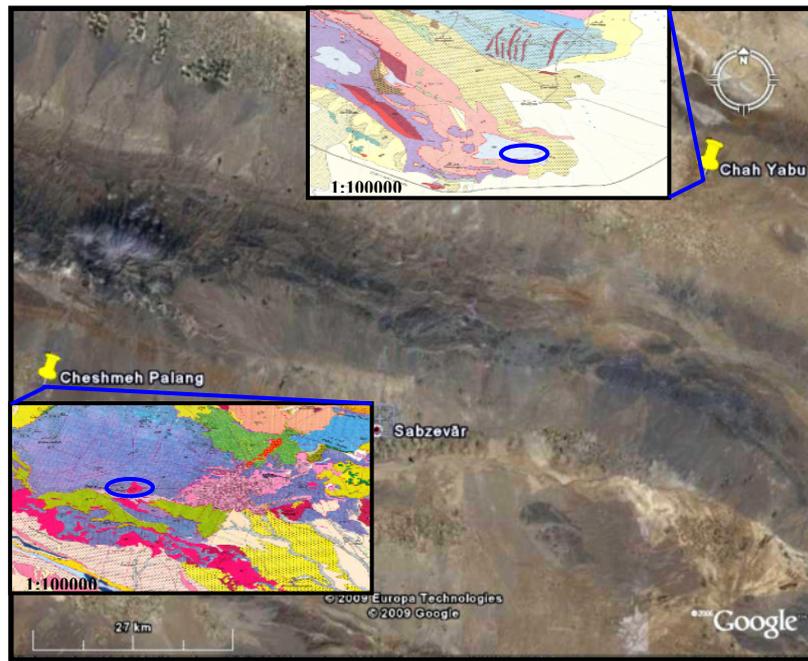
در فاصله ی ۴۵ کیلومتری شمال غربی سبزوار و بین طول جغرافیایی ۱۷°، ۵۷° و ۲۰°، ۵۷° و عرض جغرافیایی ۲۵°، ۳۶° و ۲۸°، ۳۶° در نقشه ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ باشتین قرار گرفته است (شکل ۱). مناطق مورد بررسی بخش هایی از کمربند افیولیتی سبزوار است و در حاشیه ی شمالی خزرده قرار دارد.

منطقه ی چاه یابو در فاصله ی ۵۳ کیلومتری شمال شرقی سبزوار و بین طول های جغرافیایی ۱۵°، ۵۸° الی ۳۰°، ۵۸° و عرض های جغرافیایی ۰۵°، ۳۶° الی ۱۵°، ۳۶° در نقشه ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان آباد و منطقه ی چشمه پلنگ سبزوار

* نویسنده مسئول، تلفن: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱)، پست الکترونیکی: khebrahimi@ferdowsi.um.ac.ir

باگسترش بیشتری قابل مشاهده است [۲]. علی رغم اینکه کرومیت‌های افیولیتی در مقایسه با کرومیت‌های چینه‌سان اغلب کوچک‌اند ولی بیش از نیمی از فرآورده‌های معدنی کرومیت دنیا را فراهم کرده‌اند [۳]. در این کار پژوهشی ویژگی‌های سنگ‌شناسی، ژئوشیمیایی، خاستگاه و موارد مصرف کرومیت‌های مناطق چاه‌پابو و چشمه‌پلنگ مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

ایران مرکزی قرار می‌گیرند. مهم‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه‌ی چاه‌پابو به مجموعه‌ی افیولیتی با سن کرتاسه فوقانی وابسته است که شامل پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، گابرو، دایک‌های دیابازی و سنگ‌های آتشفشانی دگرسان ائوسن است [۱]. در منطقه‌ی چشمه‌پلنگ سبزواری واحدهای سنگ‌شناسی مشابه چاه‌پابو رخمون دارند با این تفاوت که واحد سنگ‌شناسی دونیت با گسترش کمتر و هارزبورژیت



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی مناطق معدنی چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ روی تصویر ماهواره‌ای Google Earth و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ باشتین و سلطان‌آباد.

سنگ‌شناختی مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ

مهم‌ترین واحدهای سنگ‌شناختی منطقه‌ی چاه‌یابو به مجموعه‌ی افیولیتی سبزوار با سن کرتاسه فوقانی وابسته است که عبارتند از: پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، دونیت، متاگابرو، دایک‌های دیابازی و سنگ‌های آتشفشانی دگرسان شده دوران سوم (اسپلیت) که در پاره‌ای نقاط با برخورد گسلی با آهک‌های چرتی همراهی می‌شوند.

پریدوتیت‌های سرپانتینی شده منطقه‌ی چاه‌یابو عبارتند از واحدهای سنگی سرپانتینیت، هارزبورژیت و لرزولیت. غلاف‌های دونیتی که عدسی‌های کرومیتی را در برگرفته‌اند، اغلب دگرسان و به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند. دگرسانی سرپانتینی تقریباً ۶۰ درصد حجم مجموعه سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. بررسی مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهد که کرومیت‌های منطقه چاه‌یابو بیشتر بافت انتشاری دارند (شکل ۲).

هارزبورژیت‌های تکتونیک شده حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد بیرون‌زدگی‌های منطقه‌ی چاه‌یابو را تشکیل می‌دهد، که اغلب دگرسان شده‌اند و بیشتر از ۷۰ درصد آن‌ها به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند. کریزوتیل بیشترین حجم کانی‌های نوع سرپانتین را در این سنگ‌ها تشکیل می‌دهد. لرزولیت با رنگ سبز تیره متمایل به سیاه به صورت محدود در نواحی جنوبی ذخیره‌ی معدنی چاه‌یابو قابل مشاهده است.

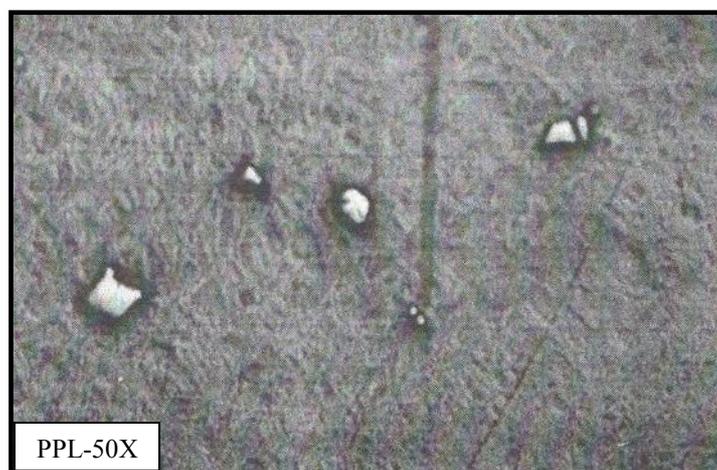
گابرو با رنگ خاکستری روشن تا تیره در بخش غربی منطقه‌ی چاه‌یابو و به صورت خیلی محدود قابل مشاهده است. بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی

آن‌ها را پلاژیوکلازهای کلسیکی (معمولاً لابرادوریت) و کلینوپیروکسن (اوژیت) تشکیل می‌دهد که در بعضی از بخش‌ها کانی‌های کدر و آمفیبول نیز به‌عنوان کانی فرعی آن‌ها را همراهی می‌کنند. بررسی مجموعه فرابازی منطقه‌ی چاه‌یابو نشان می‌دهد که کانسنگ کرومیت این ناحیه معمولاً درون هارزبورژیت‌ها یافت می‌شوند که اغلب با غلافی دونیتی احاطه شده‌اند. توده‌های لرزولیتی منطقه‌ی چاه‌یابو اغلب فاقد کانه‌زائی کرومیت‌اند.

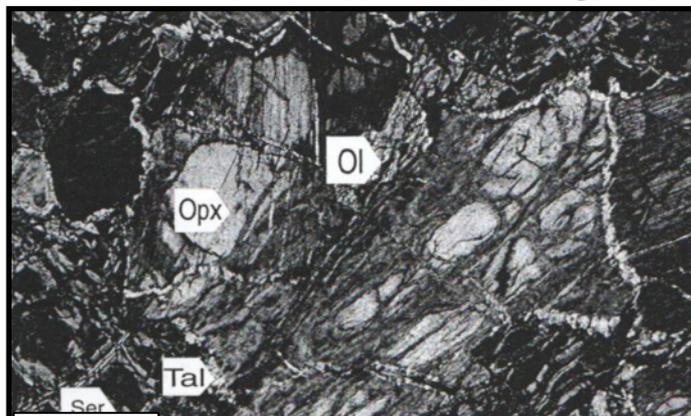
در بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی منطقه‌ی چشمه‌پلنگ واحدهای سنگی زیر قابل شناسایی‌اند:

دونیت از گسترش کمتری در مقایسه با منطقه‌ی چاه‌یابو برخوردار است. در سطوح هوازده به رنگ زرد نخودی دیده می‌شود، در سطح تازه به رنگ سبز تیره و درشت دانه است و در محل شکستگی‌ها به شدت سرپانتینی شده است.

در منطقه‌ی چشمه‌پلنگ واحدهای سنگی هارزبورژیتی با گسترش بیشتری نسبت به چاه‌یابو قابل مشاهده است که درون آنها رشته‌ای از دایک‌هایی با ترکیب میکروگابرو و دیابازی نفوذ کرده است. هارزبورژیت‌ها در سطوح هوازده به رنگ نارنجی-قهوه‌ای است و در سطح تازه به رنگ قهوه‌ای تیره است. بررسی مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی این واحدهای سنگی شامل الیوین، اورتوپیروکسن و کانی‌های فرعی کلینوپیروکسن و کروم اسپینل است. بافت‌های پورفیروپلاست و مشبک بافت غالب هارزبورژیت‌های منطقه‌ی چشمه‌پلنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۳).



شکل ۲ تصویر میکروسکوپی نور عبوری ازافت انتشاری کانسنگ کرومیت در منطقه چاه‌بابو و چشمه‌پلنگ.

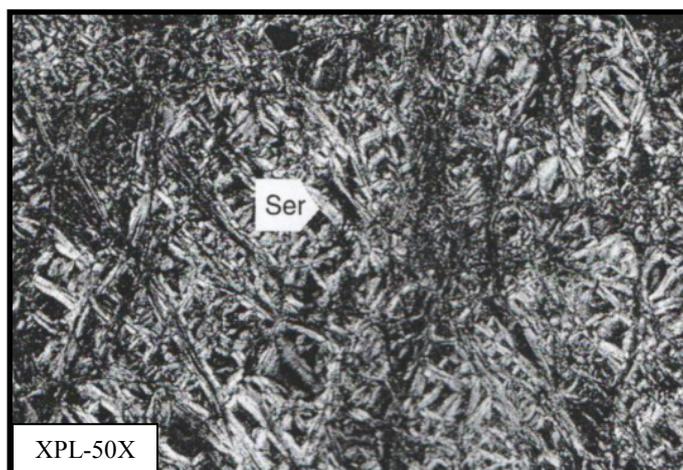


شکل ۳ تصویر میکروسکوپی نور عبوری از هارزبورژیته منطقه چاه‌بابو با بافت پیریدوتیت و بلاست (Tal=Talc, Ol= Olivine, Opx= Orthopyroxene, Ser= Serpentine)

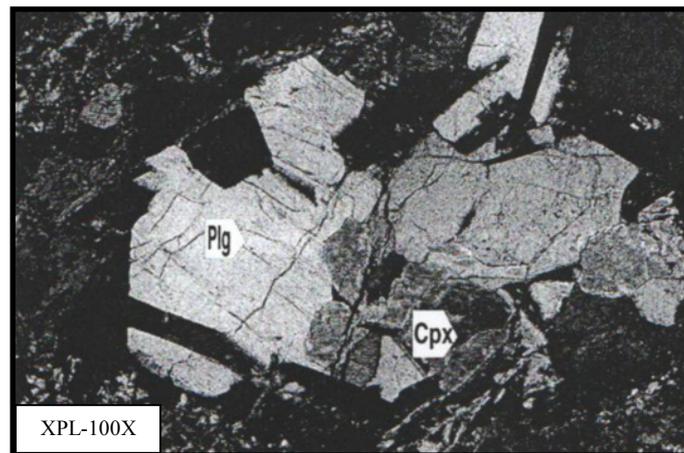
دیده می‌شوند. ستبرای این دایک‌ها حدود ۰٫۵ تا ۲ متر و طول آن‌ها حدود ۵۰ تا ۳۵۰ متر است. تشکیل و نفوذ این دایک‌ها در توده‌های افیولیتی تأخیری بوده و پس از جای‌گیری افیولیت‌ها در محل شکستگی‌ها و نقاط ضعیف تزریق شده‌اند. سنگ‌های گابروئیدی از گسترش کمی در منطقه‌ی چشمه‌پلنگ برخوردار است که در سطوح هوازده به رنگ سبز متمایل به قهوه‌ای و در محل شکستگی‌های تازه به رنگ سبز تا سبز روشن دیده می‌شوند. بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که پلاژیوکلازها بیشترین مقدار حجم سنگ را اشغال کرده‌اند و به‌صورت بلورهای درشت با حاشیه‌ی مشخص دیده می‌شوند. کلینوپیروکسن‌های با ابعاد بزرگ که گاهی قطر آن‌ها به ۳ میلی‌متر می‌رسد نیز قابل مشاهده‌اند (شکل ۵).

سرپانتینیت‌ها که در طول صفحات گسل و شکستگی‌ها به فراوانی گسترش دارند به رنگ سبز روشن، سبز تیره و سبز متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند. این واحد از دگرسانی پریدوتیت‌ها در اثر پدیده‌ی سرپانتینی شدن به وجود آمده است. بافت سرپانتینیت‌های منطقه از نوع شبکه‌ای (غربالی) است (شکل ۴).

در منطقه چشمه‌پلنگ مانند منطقه‌ی چاه‌بابو توده‌های کرومیتی همراهی نزدیکی با سنگ‌های دونیتی و هارزبورژیته دارند. کرومیتیت‌های چشمه‌پلنگ با غلاف‌های دونیتی به ضخامت چند سانتیمتر تا چند متر پوشیده شده‌اند. دایک‌های دیابازی در واحدهای پریدوتیتی تزریق شده‌اند و به‌رنگ‌های نخودی، خاکستری مایل به سبز و خاکستری روشن



شکل ۴ تصویر میکروسکوپی نور عبوری از یک نمونه پریدوتیت منطقه‌ی چشمه‌پلنگ که کاملاً به سرپانتین تبدیل شده است. (Ser = Serpentine)



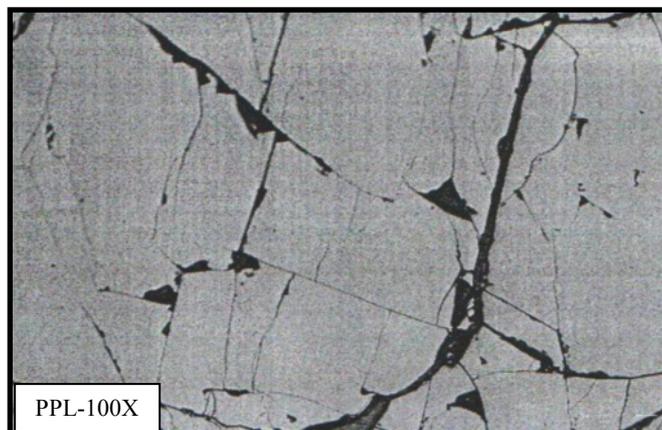
شکل ۵ تصویر میکروسکوپی نور عبوری از پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن با اندازه‌های درشت در واحد سنگی گابرو
(Plg = Plagioclase, Cpx = Clinopyroxene)

بافت متراکم: این بافت بیشتر معرف اکثریت کانسنگ کرومیت منطقه‌ی چاه‌یابو است. در منطقه چشمه‌پلنگ نیز بافت توده‌ای یا متراکم به فراوانی یافت می‌شود. در واقع این بافت انبوهی از دانه‌های درشت کرومیت است که با مقدار کمی سیلیکات‌های اولیه (الیوین) و ثانویه (سرپانتین) در بر گرفته شده‌اند. نمونه‌های حاوی این بافت از عیار بالایی برخوردار است که ناشی از تبلور تنهای کرومیت است (شکل ۶).

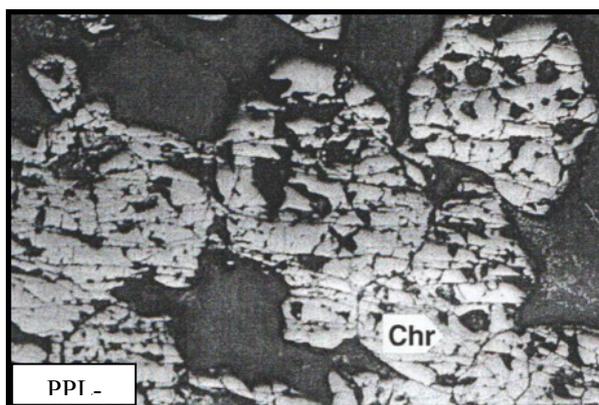
بافت دانه‌ای یا گرانولار: این بافت در منطقه‌ی چاه‌یابو شامل دانه‌های بیضی یا کروی شکل کرومیت است. دانه‌های کرومیت در منطقه‌ی چشمه‌پلنگ به صورت بیضی و گرد شده و گاهی زاویه‌دار در زمینه‌ای از سرپانتین و باقیمانده‌های الیوین دیده می‌شوند. دانه‌های کرومیتی بیشتر دارای شکستگی‌های فراوان و اندازه‌های متفاوت تا قطر بیش از ۳/۵ سانتیمتراند (شکل ۷).

بافت و ساخت کرومیت‌های مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ

با توجه به خاستگاه ماگمایی ذخایر کرومیت و نیز تغییر و پس از شکل‌گیری اولیه آن‌ها در اثر فرایندهای زمین‌ساختی و نازمین ساختی ناشی از جایگزینی و دگرسانی افیولیت‌ها، بافت‌های اولیه و ثانویه را برای کرومیت‌ها به وجود می‌آورد. بررسی نمونه‌های دستی و میکروسکوپی کرومیت‌های ذخایر معدنی چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ نیز نشان می‌دهند که ساختار و بافت‌های کرومیت‌های یاد شده را می‌توان به دو گروه مهم بافت‌های اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی کرد. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که منطقه‌ی چاه‌یابو از تنوع بافت اولیه بیشتری برخوردار است و کرومیت‌های منطقه چشمه‌پلنگ فقط در چند مورد بافتی با کرومیت چاه‌یابو شباهت دارند. بافت‌های اولیه مشترک کرومیت مناطق مورد بررسی را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:



شکل ۶ تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی از بافت توده‌ای کرومیت‌های منطقه چشمه‌پلنگ.



شکل ۷ تصویر میکروسکوپی نور بازتابی دانه‌های بیضی شکل کرومیت در زمینه سیلیکاتی، منطقه چشمه‌پلنگ. در این نمونه بافت گره‌ای طی فرایند زمین‌ساختی به بافت کاناکلاستیکی تبدیل شده است. (Chr = Chromite).

(شکل ۸).

۲- بافت نواری و پوست پلنگی از دیگر بافت‌های شایع منطقه‌ی چاه‌یابو اند که در منطقه‌ی چشمه‌پلنگ مشاهده نمی‌شوند.

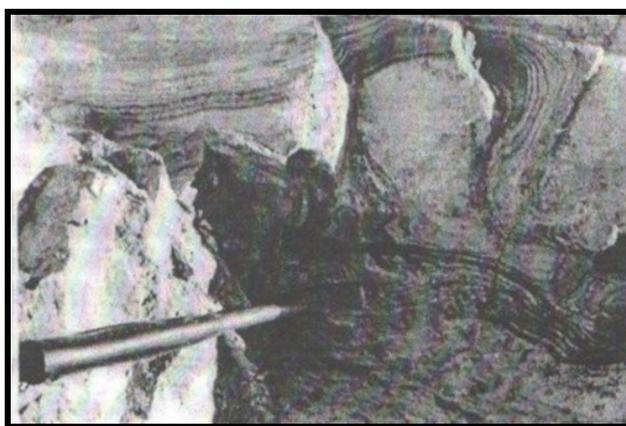
۳- بافت خوشه‌انگوری: در کرومیت‌های چاه‌یابو به‌صورت گره‌های کرومیتی است که اغلب در اندازه‌های ۱ تا ۵ میلیمتر، در زمینه‌ای سیلیکاتی (اغلب الیوین - سرپانتین) قرار گرفته‌اند و معمولاً بلورهای برونزیت یا پلاژیوکلاز شکستگی‌های ریز و فراوان کرومیت‌ها را پر کرده‌اند. در بافت خوشه‌انگوری، گره‌ها اغلب به‌صورت در هم قفل شده یا دانه‌های بی‌شکل مشاهده می‌شوند. گره‌های کرومیت در این بافت می‌توانند الیوین و یا مقدار کمتری پیروکسن را در برگیرند.

۴- بافت مشبک: در این بافت دانه‌های کم و بیش ریز کرومیت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار به‌طور بخشی یا کلی فضای بین دانه‌های درشت و رشد یافته‌ی سیلیکاتی را پر می‌کنند (شکل ۹). این بافت را می‌توان تنها در کرومیت‌های چشمه‌پلنگ مشاهده کرد.

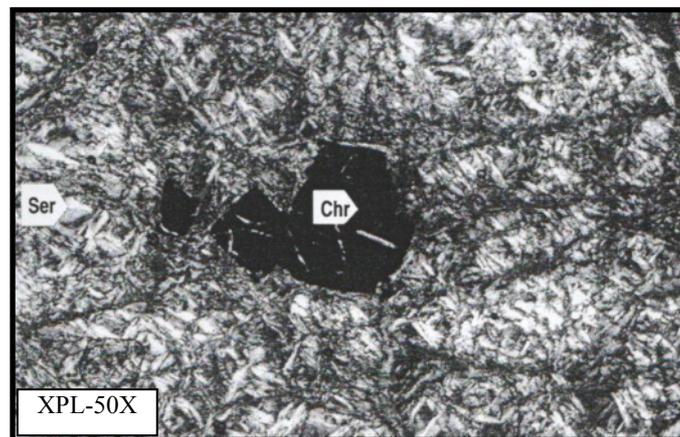
بافت افشان، انتشاری یا پراکنده: این بافت در واقع نشانگر حالت بینابینی از دونیت و کرومیت پوست پلنگی است و دانه‌های اغلب منفرد و پراکنده کرومیت را در زمینه دونیت سرپانتینیتی شده نشان می‌دهد. این بافت در منطقه‌ی چاه‌یابو در نمونه‌های برداشت شده از مرز سنگ دیواره و کرومیت‌های پوست پلنگی قابل مشاهده است و نیز به‌صورت فراوان در منطقه چشمه‌پلنگ دیده می‌شود که نزدیک به توده‌ی معدنی به‌صورت دانه‌های منفرد کرومیت یا اجتماعی از چند بلور خود ریخت تا ساب‌اتومورف است.

از میان بافت‌های اولیه‌ی بررسی شده‌ی دیگر در مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ، برخی بافت‌ها تنها در یکی از دو منطقه‌ی یاد شده قابل مشاهده است و در منطقه‌ی دیگر دیده نمی‌شوند. این بافت‌ها عبارتند از:

۱- بافت لایه‌ای با مرز تدریجی با سنگ میزبان: ویژگی آن تغییرات انبوهی معکوس دانه‌های کرومیت از توده به سمت سنگ میزبان است. این بافت منحصر به منطقه‌ی چاه‌یابو است



شکل ۸ تصویر ماکروسکوپی از بافت لایه‌ای کرومیت در منطقه‌ی چاه‌یابو.



شکل ۹ تصویر میکروسکوپی نور عبوری از بافت مشبک سرپانتینیت منطقه‌ی چشمه‌پلنگ بلور کرومیت به‌صورت پورفیری در زمینه‌ی سرپانتینی قرار دارد. (Chr = Chromite, Ser = Serpentine).

سرانجام قطعه قطعه شدن دانه‌های کرومیت می‌شود (شکل ۱۲).

۲- بافت میلوئیتی: در زون‌های گسلی و برشی با افزایش فشار و نیروهای وارد بر کانی‌ها بافت کاتاکلاستیک تبدیل به بافت میلوئیتی شده که در آن دانه‌های درشت کرومیت در زون‌های برشی خرد، به قطعات ریزتری تقسیم شده‌اند. این قطعات خرد شده به‌وسیله کانی‌های سیلیکاتی همراه به هم متصل و منظره‌ای برشی شکل را نشان می‌دهند (شکل ۱۳).

۳- بافت برشی: این بافت شامل قطعات کوچک و بزرگ زاویه-دار از کرومیت‌هایی با بافت‌های مختلف و قطعاتی از سنگ‌های در برگیرنده است که با سیمان که عموماً سرپانتینی است بهم متصل شده‌اند. بین این قطعات کرومیت‌های توده‌ای، پراکنده و گره مانند هم یافت می‌شوند (شکل ۱۴).

ژئوشیمی کرومیت‌های مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ

ذخایر معدنی کرومیت مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ به دلیل قرار گرفتن در کمربند افیولیتی سبزوار و زمین‌ساختی فعال منطقه که بیشتر واحدهای سنگی را بهم ریخته است، نمونه‌برداری دقیق‌تری را می‌طلبید. در مجموع از اغلب واحدهای کرومیتی، دونیتی، سرپانتینیت‌ها، هارزبورژیت‌ها و نیز از مرز تدریجی کرومیتیت‌ها با سنگ‌های میزبان نمونه‌برداری شد. روش برداشت کانالی در همه‌ی نمونه‌های برجا انجام شد. فقط دو نمونه کانسنگ کرومیت که از انبارهای استخراج شده منطقه برداشت شده بود به روش تکه‌ای انتخاب شدند. به‌دلیل آنکه اغلب کانسارهای عمیق و فاقد رخنمون کرومیت در

بافت‌های ثانویه کرومیت‌های مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ

ساختارها و بافت‌های ثانویه در اثر تنش‌ها، کرنش‌ها و تغییر شکل‌های گوناگون به وجود آمده در اثر پدیده‌های زمین‌ساختی و نازمین‌ساختی حاصل می‌شوند.

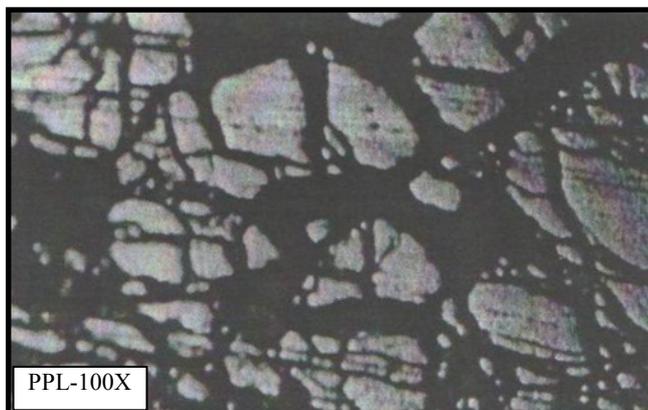
۱- بافت کاتاکلاستیک: از مجموع بافت‌های ثانویه، بافت کاتاکلاستیک در منطقه‌ی چاه‌یابو به فراوانی مشاهده می‌شود. در طول زمان و بر اثر حرکت‌های زمین‌ساختی کرومیت‌های چاه‌یابو بافت کاتاکلاستیک به خود گرفته‌اند. تغییر شکل‌های پسا ماگمایی که روی کرومیت‌ها اثر کرده و بافت‌های توده‌ای را تبدیل به بافت کاتاکلاستیک کرده است (شکل ۱۰). این بافت در منطقه‌ی چشمه‌پلنگ به‌صورت دانه‌های خرد شده با شکستگی فراوان است که به همراه با بافت‌های دیگر مانند بافت گره مانند دیده می‌شوند (شکل ۱۱).

پس از بررسی‌های دقیق میکروسکوپی مشخص شد که در منطقه‌ی چشمه‌پلنگ بافت‌های ثانویه دیگری نیز قابل جدایش است که عبارتند از:

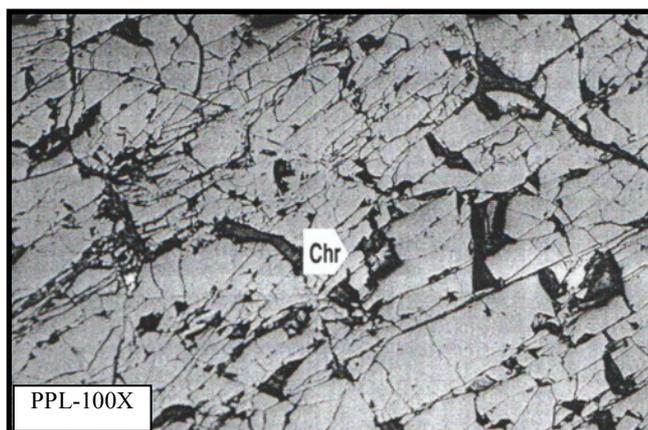
۱- بافت کششی: تبدیل کانی‌های نخستین سیلیکاتی در بر گیرنده‌ی بلورهای کرومیت از جمله الیوین به کانی‌های ثانویه-ای مانند سرپانتین، کاهش چگالی و افزایش حجم محیط پیرامون دانه‌های کرومیت را به وجود می‌آورد. این امر سبب کاهش فشار و ایجاد حالت انبساطی در پیرامون بلورهای کرومیت شده و باعث کشیده شدن این بلورها، تشکیل ترک‌ها و شکاف‌های ناشی از کشش و نفوذ سرپانتین در ترک‌ها و

کرومیت و سنگ‌های میزبان مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ که به روش‌های فلوئورسانی پرتو ایکس (XRF) و جذب اتمی (AAS) آنالیز شدند در جدول‌های ۱ الی ۳ ارائه شدند.

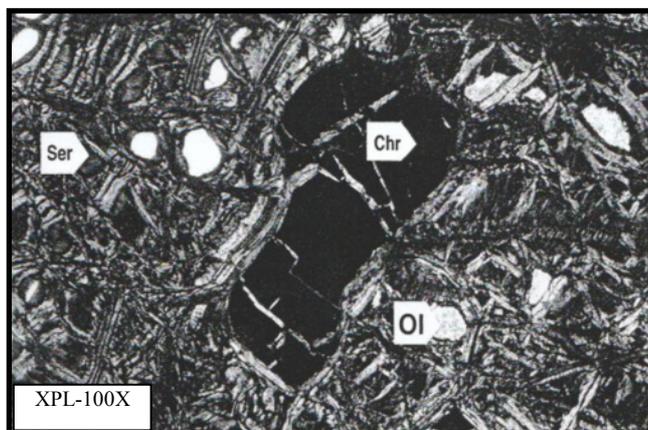
پیرامون خود هاله‌های ژئوشیمیایی ایجاد نمی‌کنند، روش‌های ژئوشیمیایی متداول در پی جویی این توده‌های معدنی چندان مؤثر نیستند [۳]. روند تغییرات عناصر موجود در کانسنگ



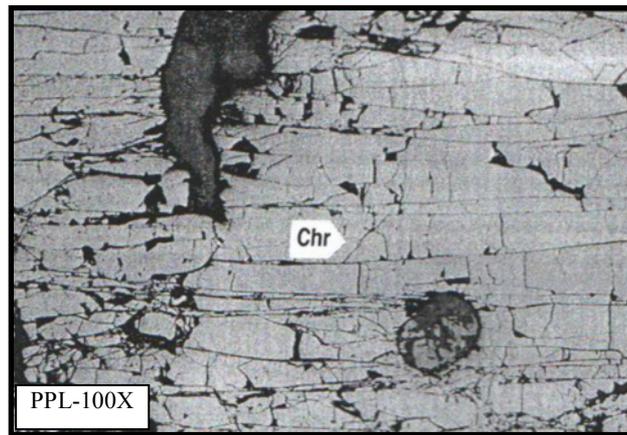
شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپی نور بازتابی از بافت کاتاکلاستیک کرومیت در منطقه‌ی چاه یابو.



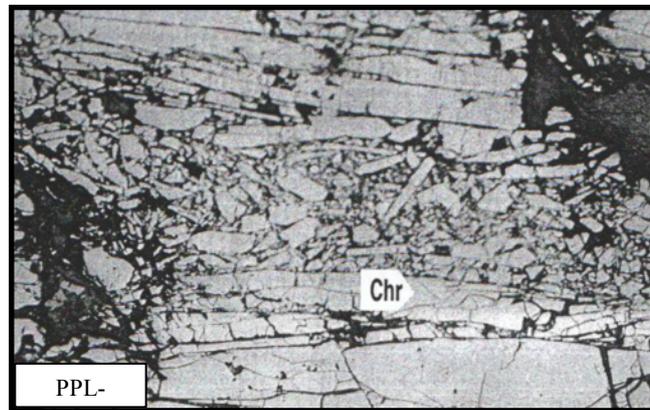
شکل ۱۱ تصویر میکروسکوپی نور بازتابی از بافت کاتاکلاستیک کرومیت‌های منطقه‌ی چشمه‌پلنگ در اثر فرایند زمین‌ساختی بافت‌های توده‌ای اولیه به بافت ثانویه کاتاکلاستیک تبدیل شده‌اند. (Chr = Chromite)



شکل ۱۲ تصویر میکروسکوپی نور عبوری از بافت کششی کرومیت‌های منطقه‌ی چشمه‌پلنگ بلور کرومیت در اثر فرایند سرپانتینی شدن به شکل دمبل در آمده است. (Chr = Chromite, Ol = Olivine, Ser = Serpentine)



شکل ۱۳ تصویر میکروسکوپی نور بازتابی از بافت میلونیتی تحت تأثیر خردشدگی شدید در مناطق گسلی ایجاد شده است. (Chr = Chromite)



شکل ۱۴ تصویر میکروسکوپی نور بازتابی از بافت برشی دانه‌های زاویه‌دار کرومیت (Chr = Chromite)

جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیایی کانسنگ کرومیت چاه یابو (بر حسب درصد وزنی).

Sample	۱	۲	۳	۴	میانگین
SiO ₂	۱۲٫۱	۹٫۳۰۰	۸٫۰۰	۵٫۲۰۰	۸٫۶۵
TiO ₂	۰٫۰۸۰	۰٫۱۲۷	۰٫۱۷	۰٫۱۸۰	۰٫۱۳۹
Al ₂ O ₃	۵٫۴۰	۵٫۸۰۰	۶٫۷۰۰	۶٫۷۰۰	۶٫۱۵
Cr ₂ O ₃	۴۸٫۴	۵۳٫۹	۵۳٫۷	۵۶٫۶	۵۳٫۱۵
TFeO	۱۶	۱۵٫۴۰۰	۱۵٫۴۰۰	۱۵٫۷۰۰	۱۵٫۶۲
MnO	۰٫۲۱۰	۰٫۱۶۰	۰٫۱۷۰	۰٫۱۷۰	۰٫۱۷۸
MgO	۱۹٫۵	۱۴٫۵۰۰	۱۴٫۹۰۰	۱۴٫۸۰۰	۱۵٫۹۲۵
CaO	۰٫۲۸۰	۰٫۰۵۳	۰٫۰۵۹	۰٫۰۲۷	۰٫۱۰۵
Na ₂ O	۰٫۰۸۴	۰٫۱۵۰	۰٫۱۵۰	۰٫۰۹۷	۰٫۱۲۰
K ₂ O	۰٫۰۵۱	۰٫۱۰۲	۰٫۱۱۲	۰٫۰۷۴	۰٫۰۸
P ₂ O ₅	۰٫۰۱۹	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۹	۰٫۰۱۵	۰٫۰۲۲
Al	۱٫۴۳	۱٫۵۳	۱٫۷۷	۱٫۷۷	۱٫۶۲
Cr	۱۶٫۵۵	۱۸٫۴	۱۸٫۳	۱۹٫۳	۱۸٫۲
Mg	۱۱٫۷	۸٫۷	۸٫۹۴	۸٫۸۸	۹٫۵۵
Cr/Cr+Al	۰٫۹۲	۰٫۹۲	۰٫۹۱	۰٫۹۱۵	۰٫۹۱۸

جدول ۲ نتایج آنالیز شیمیایی کرومیت‌های پوست‌پلنگی و سنگ دیواره‌ی چاه‌یابو (بر حسب درصد وزنی).

Sample	Cha ₁ (Cr)	Cha ₂ (Cr)	Cha ₃ (Dunite)	Cha ₄ (Harzburgite)	Cha ₅ (Gabbro)
Cr ₂ O ₃	۱۸٫۷	۳۲٫۱	۰٫۶	۰٫۷۸	۰٫۱
TFeO	۶٫۸	۲۳٫۱۴	۴٫۳	۱٫۱	۶٫۸
NiO	۰٫۵۷	n.d	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۱۹
MnO	۰٫۰۱	n.d	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۱۹
MgO	۳۷٫۲	۱۹٫۱۶	۳۵٫۳	۳۰٫۸	۵٫۳
CaO	۰٫۲۹	۰٫۲۲۴	۰٫۱۶۸	۰٫۲۲۴	۱٫۶۸
Cr	۶٫۴	۱۰٫۹	۰٫۱۹	۰٫۲۷	۰٫۰۵
Mg	۲۲٫۳	۱۱٫۵	۲۱٫۲	۱۸٫۵	۳٫۲
Mn	۷٫۷	n.d	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۱۵
Ni	۰٫۴۵	n.d	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۰۶
Ca	۰٫۰۲	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۱۶	۱٫۲
Co	۰٫۰۰۷۲	۰٫۰۲۸	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵
Zn	۰٫۰۰۹	۰٫۰۶	۰٫۰۰۰۹	۰٫۰۲	۰٫۰۶
Cu	n.d	۰٫۰۵	n.d	n.d	n.d

جدول ۳ نتایج آنالیز شیمیایی کرومیت‌های توده‌ای چشمه پلنگ سبزواری (بر حسب درصد وزنی).

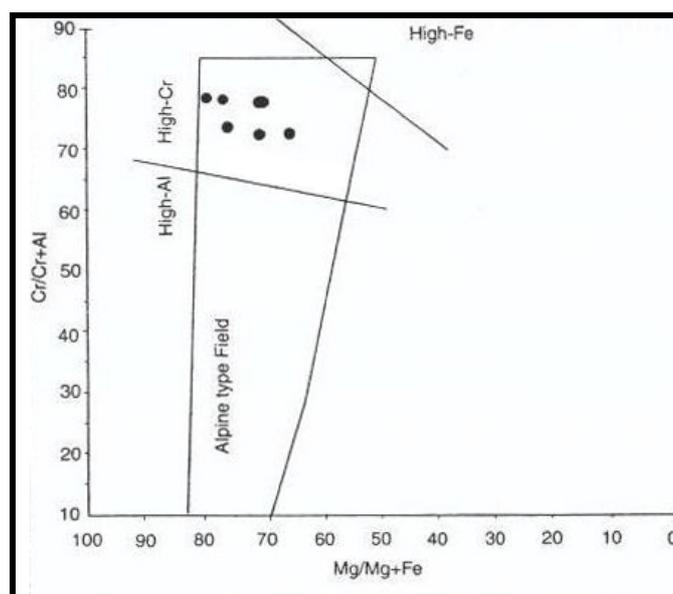
Sample	Che ₁	Che ₂	Che ₃	Che ₄	Che ₅	Che ₆	Che ₇	Che ₈
SiO ₂	۱۰۵۰	۸۹۰	۱۳۲۰	۱۱۱۰	۹۰۰	۲۸۰	۴۷۰	۶۶۰
TiO ₂	۰٫۱۷	۰٫۲۵	۰٫۲۱	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۵
Al ₂ O ₃	۷۲۰	۴۹۰	۶۷۰	۸۸۰	۷۴۰	۱۲۰۰	۱۱۲۰	۹۲۰
Fe ₂ O ₃	۱۲۴۰	۱۵۸۰	۱۳۴۰	۱۵۳۰	۱۴۳۰	۱۴۳۰	۱۷۹۰	۱۶۴۰
Cr ₂ O ₃	۴۱۲۰	۴۷۷۰	۳۷۴۰	۴۰۵۰	۴۰۱۰	۴۶۴۰	۴۴۷۰	۴۵۵۰
NiO	۰٫۱۹	۰٫۳۱	۰٫۲۸	۰٫۲۵	۰٫۱۸	۰٫۲۳	۰٫۲۶	۰٫۲۸
MnO	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۴
MgO	۲۳۷۰	۲۰۸۰	۲۵۵۰	۲۰۹۰	۲۶۶۰	۲۲۹۰	۱۹۳۰	۱۹۷۰
CaO	۲۵۷	۰٫۴۶	۰٫۶۹	۲٫۱۱	۰٫۲۹	۰٫۴۱	۰٫۹۰	۱٫۳۵
Na ₂ O	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۱۲
V ₂ O ₅	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۱۲	۰٫۰۹
ZnO	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۶
Co ₃ O ₄	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳

نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی کانسنگ کرومیت و سنگ میزبان ذخایر معدنی چاه‌یابو و چشمه پلنگ کانسارهای کرومیت را می‌توان بر مبنای شرایط تشکیل و ژنز به دو گروه نوع بوشولد یا چینه‌سان (Stratiform) و نوع آلپی یا نیامی (Podiform) تقسیم کرد. کرومیت‌های نوع نیامی به واسطه‌ی نسبت بالای Cr/Fe (سنگ معدن متالورژیکی) و یا نسبت بالای Al/Fe (سنگ معدن دیرگداز) در مقایسه با کرومیت ذخایر کرومیتی نوع چینه‌سان اقتصادی‌ترند [۵،۴]. ذخایر معدنی کرومیت کمرند افیولیتی سبزواری از نوع نیامی است. کانسارهای کرومیت نیامی به دو دسته کانسارهای

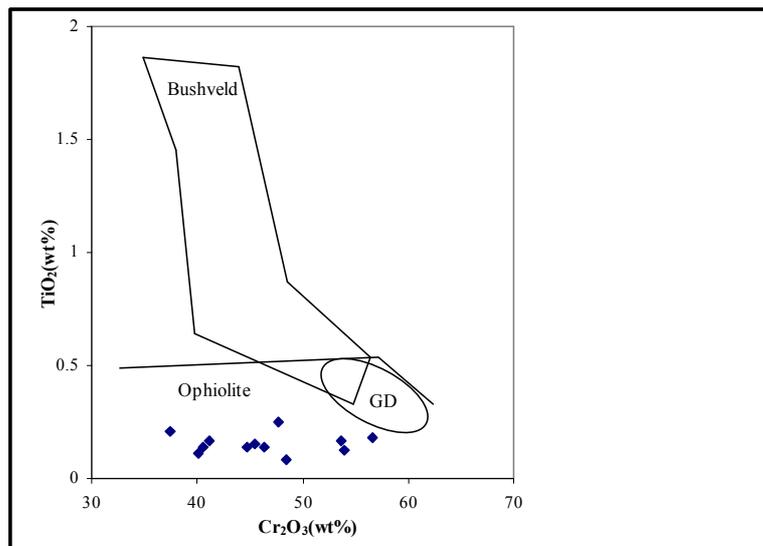
نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی کانسنگ کرومیت و سنگ میزبان ذخایر معدنی چاه‌یابو و چشمه پلنگ کانسارهای کرومیت را می‌توان بر مبنای شرایط تشکیل و ژنز به دو گروه نوع بوشولد یا چینه‌سان (Stratiform) و نوع آلپی یا نیامی (Podiform) تقسیم کرد. کرومیت‌های نوع نیامی به

تهی شده تشکیل می‌شود [۱۳-۱۶]. کرومیت‌های منطقه‌ی چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ به ترتیب دارای میانگین مقادیر اکسید کروم (Cr_2O_3) ۵۳/۱۵٪ و ۴۲/۹۳٪ هستند که در گستره‌ی کرومیت‌های با خاستگاه MORB (۲۰٪ تا ۵۴٪) [۱۷] قرار می‌گیرند. بررسی‌های ژئوشیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی و فرعی موجود در کانسنگ‌های کرومیت چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ نشانگر وجود مقادیر Cr_2O_3 بین ۳۷/۴ تا ۵۶/۶ درصد وزنی (میانگین ۴۶/۳۴ wt%)، مقادیر Al_2O_3 از ۴/۹ تا ۱۲ درصد وزنی (با میانگین ۷/۶۶ wt%)، میانگین FeO برابر ۱۴/۸ درصد وزنی و Fe_2O_3 برابر ۰/۴۸ درصد وزنی کانسنگ را تشکیل می‌دهد که بر اساس آن ذخایر معدنی یاد شده با نسبت مقادیر $Cr/Cr + Al$ از ۰/۸۳ تا ۰/۹۳ (با میانگین ۰/۸۸) و با توجه به نمودار نسبت $Cr/Cr + Al$ نسبت به $Mg/Mg + Fe^{2+}$ [۱۸]، کانسنگ‌های کرومیتی مناطق مورد بررسی در گستره‌ی کرومیت‌های نوع آلپی غنی از کروم قرار می‌گیرند (شکل ۱۵). با توجه به نمودار TiO_2 نسبت به Cr_2O_3 [۲۰، ۱۹] که روی آن گستره‌ی کانسنگ‌های کرومیت نوع بوشولد، افیولیتی و گریت دایک (GD) مشخص شده است و ترسیم نتایج ژئوشیمیایی نمونه‌های مورد بررسی حاکی از قرارگیری ذخایر معدنی کرومیت چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ در گستره‌ی کانسنگ‌های کرومیت افیولیتی نوع آلپ است (شکل ۱۶).

کرومیت نوع Cr بالا و Al بالا قابل تقسیم‌اند [۶]. کانسنگ‌های کرومیت Cr بالا دارای نسبت تغییرات $Cr/Cr + Al$ بیشتر از ۰/۶ و درصد Ti پایین بوده و مقادیر عناصر IPGE (عناصر گروه پلاتین) بالاتری را نسبت به کانسنگ‌های نوع Al بالا نشان می‌دهند. کانسنگ‌های نوع Al بالا حاوی نسبت تغییرات $Cr/Cr + Al$ بین ۰/۴ تا ۰/۶ و $Al_2O_3 > 25\%$ درصد تیتان بالای هستند. طبق [۷] مقادیر Al_2O_3 و TiO_2 کرومیت به گدازه‌ی مادر وابسته‌اند، بنابراین شاخص‌های خوب محیط زمین‌ساختی هستند. ممکن است کانسنگ‌های کرومیت نوع Al بالا از ماگمایی با درجه‌ی ذوب بخشی پایین جبهه‌ی بالایی تشکیل شده باشند، در حالی که ذخایر کرومیت نوع Cr بالا از ماگمایی با درجه‌ی ذوب بخشی بالای جبهه‌ی بالایی حاصل شده‌اند [۶]. کرومیت مدت‌ها به‌عنوان شاخص پتروژنتیکی استفاده می‌شده است [۹، ۸] و تصور می‌شود ترکیب آن بیشتر به گدازه‌ی اولیه وابسته باشد، به این دلیل که کرومیت فاز آغازین تبلور است [۱۰-۱۲]. کرومیت‌های محیط‌های زمین‌ساختی متفاوت ویژگی مشخصی از Cr دارند که تفاوت در ترکیب ماگما را بازتاب می‌دهد. کرومیت با کروم بالا می‌تواند از گدازه‌ی با درجه‌ی بالای ذوب و یا از واکنش گدازه با گوشته شدیداً تهی شده تشکیل شود، در حالی که کرومیت با کروم پایین از گدازه‌ی با درجه‌ی ذوب پایین و یا از واکنش با گوشته‌ی کمتر



شکل ۱۵ ترسیم نتایج آنالیزهای شیمیایی ذخایر معدنی کرومیت چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ در نمودار نسبت $Cr/Cr + Al$ نسبت به $Mg/Mg + Fe^{2+}$.



شکل ۱۶ نتایج آنالیزهای شیمیایی ذخایر معدنی کرومیت چاه یابو و چشمه پلنگ در نمودار Cr_2O_3 نسبت به TiO_2 .

واکنشی میان گدازه‌ی اولیه و پریدوتیت گوشته توضیح می‌دهند [۲۷-۳۱]. مدل‌هایی شامل آمیختگی ماگما و/یا غیر قابل اختلاط بودن گدازه‌های غنی و فقیر از Si یا میان گدازه‌ی سیلیکاتی و فاز شاره نیز پیشنهاد شده است [۳۲-۳۴]. گفته می‌شود که کانه کرومیت متالورژیکی (غنی از Cr) در مرحله‌ی دوم یعنی ماگماهای زون بونینیتی یا ابر فرورانش تشکیل و باعث ته‌نشینی بیشتر از خاستگاه گوشته‌ای شده و در نهایت تشکیل گدازه‌ی غنی از Cr را می‌دهد [۳۵، ۳۶]. گدازه‌های بونینیتی اولیه ($MgO > 10 \text{ wt\%}$) با حدود 1500 ppm - 1000 ppm (Cr) [۳۷-۴۷] در مقایسه به گدازه‌های بازالتی اولیه دیگر مشتق شده از گوشته با حدود 500 ppm - 200 ppm (Cr) [۴۸، ۴۹] به غنی بودن از Cr معروفند. بنابراین با توجه به درصد Cr_2O_3 و MgO بالا و نیز TiO_2 و Al_2O_3 پایین موجود در ترکیب شیمیایی کرومیت‌های منطقه‌ی چاه یابو می‌توان گفت کرومیت این کانسار با موقعیت چینه نگاشتی عمیق کرومیت‌ها در دنباله‌ی افیولیتی (پریدوتیت‌های تکتونیک شده) همخوانی دارد و نشان می‌دهد که ماگمای مادر احتمالاً از نوع گدازه‌ی تولیتی Mg بالا و Ti پایین بوده است. از طرفی با توجه به درصد پایین Al_2O_3 موجود در کرومیت‌های منطقه‌ی چشمه پلنگ، احتمالاً این کانسار نیز در مناطق گسترش یابنده-ی پشت قوس و محیط‌های ریفتی شکل نگرفته است.

در نمونه Cha_4 (جدول ۲) که از هارزبورژیت‌های منطقه‌ی چاه یابو برداشت شده است، مقدار کروم (Cr) به 2700 ppm می‌رسد که این نسبت معادل نسبت کروم موجود در پریدوتیت‌های گوشته‌ی فوقانی است و نشان می‌دهد که هارزبورژیت‌های منطقه‌ی چاه یابو به پریدوتیت‌های گوشته فوقانی وابسته است. مقدار Cr در نمونه‌ی Cha_5 (جدول ۲) که از گابروهای منطقه برداشت شده است به 500 ppm کاهش می‌یابد.

علاوه بر این، مقادیر ناچیز و یا عدم وجود پلاژیوکلاز در پریدوتیت‌های منطقه‌ی چاه یابو همراه با نسبت بالای $Cr/Cr + Al$ نشان‌دهنده‌ی آن است که ماگمای مادر کرومیت‌های منطقه احتمالاً از یک ناحیه‌ی ته‌ی از Al ریشه گرفته است. اصولاً کرومیت‌های دارای مقدار Al بالا در مناطق گسترش یابنده‌ی پشت قوس و محیط‌های ریفتی یافت می‌شوند [۲۱]. بنابراین مقدار بالای این نسبت در کرومیت‌های مناطق مورد بررسی، عدم تشکیل کرومیت‌های چاه یابو را در اینگونه مناطق مسجل می‌سازد.

ساز و کار تشکیل کرومیت پادیفرم گوشته هنوز مورد بحث و بررسی است. مدل‌های اولیه تبلور بخشی و ته‌نشینی بلور در داخل گدازه‌ی اولیه در حال چرخش و به طور پیوسته موجود در مجراهای ماگمایی در گوشته را شامل می‌شود [۲۲-۲۶]. مدل‌های اخیر کرومیت‌های پادیفرم را به‌عنوان محصول

کاربردهای صنعتی کرومیت‌های مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ بشرح زیر خلاصه می‌شوند: شرط لازم برای امکان استفاده از کرومیت در صنایع متالورژی به‌منظور تولید فروکروم مقدار بالای Cr_2O_3 در کانه‌ی کرومیت (۴۶ درصد یا بالاتر) است و از طرف دیگر می‌بایست نسبت Cr/Fe حداقل ۳ به ۱ باشد [۵۴]. برای کاربرد کرومیت در صنایع شیمیایی می‌بایست مقدار Cr_2O_3 در کانه‌ی کرومیت (۴۴ درصد یا بالاتر) و نسبت Cr/Fe بیشتر از ۱/۵ باشد. بنابراین کرومیت‌های معادن چاه‌یابو با میانگین محتوای اکسید کروم ۵۳/۱۵ درصد و نسبت بالای کروم به آهن (میانگین ۹) می‌توانند کاربردهای متالورژیکی و شیمیایی داشته باشند.

با توجه به میانگین Cr_2O_3 (۴۲/۳۹) و نسبت Cr/Fe ۲/۷ تا ۳/۱ و مقادیر پایین Al_2O_3 (کمتر از ۱۲ درصد وزنی) در ماده معدنی کرومیت چشمه‌پلنگ، کرومیت یاد شده نیز برای کاربردهای متالورژی و شیمیایی قابل استفاده است. شرط لازم برای استفاده از کرومیت در تولید فراورده‌های دیرگداز مقدار آلومینا ۲۵ تا ۳۰٪ است که در مورد کرومیت‌های چاه‌یابو به دلیل پایین بودن مقدار آن امکان تولید فراورده‌های دیرگداز با کیفیت بالا منتفی است.

برداشت

مهم‌ترین واحدهای سنگ‌شناختی منطقه‌ی چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ سبزوار به مجموعه‌ی افیولیتی سبزوار با سن کوتاه فوقانی وابسته است که شامل پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، دونیت، متاگابرو، دابک‌های دیابازی و سنگ‌های آتشفشانی دگرسان شده است.

در منطقه‌ی چشمه‌پلنگ و چاه‌یابو توده‌های کرومیتی همراهی نزدیکی با توده‌های سنگی دونیتی و هارزبورژیتهی دارند. ساختار و بافت کرومیت‌های مناطق یاد شده را می‌توان به دو گروه مهم بافت‌های اولیه و ثانویه تقسیم کرد. از میان بافت‌های اولیه، بافت‌های متراکم، دانه‌ای و افشان در کانسنگ‌های کرومیت هر دو منطقه‌ی بررسی شده قابل مشاهده است. بافت لایه‌ای دارای مرز تدریجی با سنگ میزبان، بافت نواری، پوست پلنگی و خوشه انگوری از بافت‌های شایع اولیه تنها در ذخیره‌ی معدنی کرومیت چاه‌یابو و بافت مشبک بافت اولیه منحصراً در کانسار کرومیت چشمه‌پلنگ مشاهده می‌شود.

از دیدگاه ژئوشیمیایی، کرومیت‌های وابسته به بالاترین بخش‌های گوشته و پایین‌ترین بخش‌های پوسته‌ی اقیانوسی دارای نسبت عناصر $Cr/Cr+Al$ بین ۰/۵ تا ۰/۶۴ و نسبت Cr/Fe بین ۱/۸ تا ۲/۸ است، درحالی‌که کرومیت‌های دارای نسبت‌های بالاتر عناصر یاد شده به بخش‌های عمیق‌تر وابسته‌اند [۳]. با توجه به نسبت تغییرات $Cr/Cr + Al$ در کانسار کرومیت چشمه‌پلنگ بین ۰/۷۲ تا ۰/۷۹ و نسبت تغییرات Cr/Fe بین ۲/۷ تا ۳/۱، می‌توان گفت که این نشانه‌های ارتباط ژنتیکی کرومیت چشمه‌پلنگ به بخش‌های پایین گوشته‌ی فوقانی وابسته است.

از طرف دیگر بالا بودن مقادیر Cr_2O_3 (با میانگین ۴۲/۹۳٪) و MgO (با میانگین ۲۲/۴۲٪) حکایت از تبلور کرومیت‌ها از ماگمایی با درجه‌ی ذوب بخشی بالاست که به پریدوتیت‌های عمیق وابسته است [۵۰]. لذا تشکیل کانسارهای کرومیتی چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ با میانگین Cr_2O_3 ۴۶/۳۴٪ و MgO ۲۰/۲۵٪ از ماگمایی با ویژگی‌های یاد شده همخوانی دارد.

مقایسه‌ی ژئوشیمیایی ذخایر کرومیتی چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ با سه نمونه کرومیت با بافت گره‌ای و توده‌ای از کانسار کرومیت آلیی تدفورد، کانادا، (با میانگین ۵۸/۳۱٪ Cr_2O_3 ، ۱۲/۱۳٪ Al_2O_3 ، ۱۲/۹۸٪ MgO و ۰/۷۶٪ $(Cr/Cr + Al)$) [۵۱]، شباهت ژئوشیمیایی و کاربردی آن‌ها را با کانسار کرومیتی تدفورد نشان می‌دهد.

کاربردهای صنعتی کانسنگ کرومیت مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ

با توجه به اینکه کرومیت یک کانی از خانواده اسپینل‌ها با گستره‌ی ترکیب شیمیایی گسترده‌ای است، در نتیجه کاربردهای صنعتی متنوعی را می‌توان برای آن در نظر گرفت. بیشترین کاربرد کرومیت در صنایع متالورژی برای تولید فروکروم است که در آن کروم نقش یک ترکیب مقاوم در مقابل اکسایش، خوردگی، سایش و گرما را دارد [۵۲] و آلیاژهای زیادی از انواع مختلف تولید می‌شود. کرومیت‌های پادیرفم در همبافتهای افیولیتی نیز به‌عنوان تنها چشمه‌ی کرومیت دیرگداز با $Al_2O_3 > 20wt\%$ ، آهن پایین و $Cr_2O_3 + Al_2O_3 > 60wt\%$ [۵۴، ۵۳] بوده و چشمه‌ی مهمی برای کاربردهای متالورژی $Cr_2O_3 > 40wt\%$ و نسبت Cr/Fe بین ۲/۲ تا ۴ نیز به حساب می‌آیند [۵۴].

گرایش زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی (۱۳۸۶).

[3] Stowe C.W., "Evolution of Chromium ore fields", New York, Van Nostrand Reinhold, (1987), 340p.

[4] Leblanc M., Nicolas A., "Les chromitites ophiolitiques: Chronique de la Recherche Minière", (1992), v. 507, p.3-25.

[5] Barnes S.J., Roeder P.L., "The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks: Journal of Petrology", (2001), v. 42, p.2279-2302.

[6] Zhou M.F., Robinson P.T., Bai W.J., "Formation of podiform chromitites by melt/rock interaction in the upper mantle: mineral deposits", (1994) V.29, PP. 98-101.

[7] Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S., "Factors controlling chemistry of magmatic spinel: An empirical study of associated olivine", Crspinel and melt inclusions from primitive rocks: Journal of Petrology, (2001), v.42, p.655-671.

[8] Irvine T.N., "Chromian spinel as a petrogenetic indicator", Part 1. Theory: Canadian Journal of Earth Sciences, (1965), v. 2, p. 648-672.

[9] Irvine T.N., "Chromian spinel as a petrogenetic indicator", Part 2. Petrologic applications: Canadian Journal of Earth Sciences, (1967), v. 4, p. 71-103.

[10] Dick H.J.B., Bullen T., "Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas: Contributions to Mineralogy and Petrology", (1984), v. 86, p. 54-76.

[11] Arai S., "Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry", Mineralogical Magazine, (1992), v. 56, p. 173-184.

[12] Barnes S.J., Roeder P.L., "The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks: Journal of Petrology", (2001), v. 42, p. 2279-2302.

[13] Leblanc M., Violette J.-F., "Distribution of aluminum-rich and chromium-rich chromite pods in ophiolite peridotites", Economic Geology, (1983), v. 78, p. 293-301.

[14] Zhou M.-F., Robinson P.T., "High-Cr and high-Al podiform chromitites, western China",

بررسی‌های ژئوشیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی و فرعی کانسنگ‌های کرومیتی منطقه‌ی چاه‌یابو ویژگی کروم بالا، $Cr_2O_3 \sim 53.15\%$ (تغییرات بین ۴۸.۴ تا ۵۶.۶٪) و آلومینای نسبتاً پایین $Al_2O_3 \sim 6.15\%$ (تغییرات بین ۵.۴ تا ۶.۷٪) دارند. کرومیت‌های منطقه‌ی چشمه‌پلنگ دارای مقادیر Cr_2O_3 بین ۳۷.۴ تا ۴۷.۷ درصد وزنی (میانگین ۴۲.۹۳٪) و Al_2O_3 از ۶.۷ تا ۱۲ درصد (میانگین ۸.۹۲٪) است. بنابراین کرومیت‌های استخراج شده از مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ می‌توانند کاربردهای متالورژی و شیمیایی داشته باشند. این کرومیت‌ها به دلیل پایین بودن مقدار آلومینای موجودشان به منظور تولید فراورده‌های دیرگداز با کیفیت بالا مناسب نیستند.

به‌علت پائین بودن درصد Al_2O_3 موجود در کرومیت‌های مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ احتمالاً این کانسارهای کرومیتی نیز در دو محیط گسترش‌یافته‌ی پشت قوس و محیط‌های کافتی شکل نگرفته است. مقادیر Cr_2O_3 و MgO بالا و Al_2O_3 پایین موجود در ترکیب شیمیایی کرومیت‌های مناطق چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ با موقعیت چینه‌شناختی عمیق کرومیت‌ها در دنباله‌ی افیولیتی (پریدوتیت‌های زمین ساخت) سازگاری دارد و نشان می‌دهد که ماگمای مادر احتمالاً از نوع مواد گداخته‌ی اولیه‌ی گوشته فوقانی با درجه‌ی ذوب بخشی بالا بوده است. و بالاخره با توجه به ترکیب شیمیایی کانسنگ کرومیت ذخایر معدنی چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ، مهمترین کاربردهای صنعتی آن در صنایع متالورژی به‌منظور تهیه‌ی فروکروم و به‌عنوان ماده‌ی اولیه صنایع شیمیایی به منظور تولید اسید کرومیک، سولفات کروم و رنگدانه اکسید کروم است. تولید فراورده‌های دیرگداز از ماده‌ی اولیه معادن کرومیت چاه‌یابو و چشمه‌پلنگ گرچه از نظر درصد اکسید کروم موجود مناسب است ولی به‌علت کمبود آلومینای آن توصیه نمی‌شود.

مراجع

[۱] مؤمنی غ.ر، ابراهیمی خ، رزم‌آرا م، کریم‌پور م.ح، "مطالعات ژئوشیمیایی کانسارهای کرومیتی و پتانسیل معدنی سنگ‌های افیولیتی و پست افیولیتی منطقه چاه‌یابو"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه (۱۳۸۲).

[۲] سیاران م، ابراهیمی خ، مؤذن م، وطن‌پور ح.ر، "بررسی کانسار کرومیتی چشمه‌پلنگ سبزوار (با نگرشی ویژه بر کاربرد صنعتی آن)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی،

- Mineralogy and Petrology, (1981), v. 78, p. 413-422.
- [25] Lago B.L., Rabinowicz M., Nicolas A., "Podiform chromite orebodies: A genetic model", Journal of Petrology, (1982), v. 23, p. 103-125.
- [26] Leblanc M., Ceuleneer G., "Chromite crystallization in a multicellular magma flow", Evidence from a chromitite dike in the Oman ophiolite: Lithos, (1992), v. 27, p. 231-257.
- [27] Kelemen P.B., "Reaction between ultramafic rock and fractionating basaltic magma I. Phase relations, the origin of calc-alkaline magma series, and the formation of discordant dunite", Journal of Petrology, (1990), v. 31, p. 51-98.
- [28] Arai S., Yurimoto H., "Podiform chromitites of the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as mantle-melt interaction products", ECONOMIC GEOLOGY, (1994), v. 89, p. 1279-1288.
- [29] Zhou M.-F., Robinson P.T., Bai W.-J., "Formation of podiform chromitites by melt/rock interaction in the upper mantle", Mineralium Deposita, (1994), v. 29, p. 98-101.
- [30] Zhou M.-F., Robinson P.T., Malpas J., Li Z., "Podiform chromitites in the Luobusa ophiolite (southern Tibet): Implications for melt-rock interaction and chromite segregation in the upper mantle", Journal of Petrology, (1996), v. 37, p. 3-21.
- [31] Arai S., "Origin of podiform chromitites", Journal of Asian Earth Sciences, (1997), v.15, p. 303-310.
- [32] Paktunc A.D., "Origin of podiform chromite deposits by multistage melting, melt segregation and magma mixing in the upper mantle", Ore Geology Reviews, (1990), v.5, p. 211-222.
- [33] Ballhaus C., "Origin of podiform chromite deposits by magma mingling: Earth and Planetary Science Letters", (1998), v. 156, p. 185-193.
- [34] Matveev S., Ballhaus C., "Role of water in the origin of podiform chromitite deposits", Earth and Planetary Science Letters, (2002), v. 203, p. 235-243.
- [35] Roberts S., "Ophiolitic chromitite formation", A marginal basin phenomenon?: ECONOMIC GEOLOGY, (1988), v. 83, p. 1034-1036.
- [36] Roberts S., "Influence of the partial melting regime on the formation of ophiolitic chromitite", Relationship to partial melting and melt/rock reaction in the upper mantle: International Geology Review, (1994), v. 36, p. 678-686.
- [15] Proenza J., Gervilla F., Melgarejo J.C., Bodinier J.L., "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, (1999), v. 94, p. 547-566.
- [16] Rollinson H., "The geochemistry of mantle chromitites from the northern part of the Oman ophiolite", Inferred parental melt compositions: Contributions to Mineralogy and Petrology, (2008), v. 156, p. 273-288.
- [17] Allen J.F., Sack R.O., Batiza R., "Cr-rich spinels as petrogenetic indicators: MORB-type lavas from the Lamont seamount chain", eastern Pacific. Am. Mineral. 73, (1988), PP. 741-753.
- [18] Zhou M.F., Bai W.J., "Chromite deposits in China and their origin, mineral deposita", v.27, (1992) pp.192-198.
- [19] Hatton C. J., VonGruene Waldets G., "Chromite from the Swatkop chromite mine estimate of the effects of subsolidus reequilibration", Economic Geology, (1987), v.80, pp.911-924.
- [20] Eales H. V., Reynolds R. G., "The geological setting and petrogenesis of the Bushveld chromitite layers", in Stow, S. W., Evolution of chromium ore field New York, Van Nostrand-Reinold, (1987), pp.109-143.
- [21] Hubbard I., James R.S., Easton R.M., Corfu F., "Origin of Meta pyroxenites and high Al-Chromitites from the Grenville front tectonic zone near Sudbury", Ontario. Geochemical Society of America (1998).
- [22] Thayer T.P., "Principal features and origin of podiform chromite deposits, and some observations on the Guleman-Soridag district", Turkey: ECONOMIC GEOLOGY, (1964), v. 59, p.1497-1524.
- [23] Greenbaum D., "The chromitiferous rocks of the Troodos Ophiolite Complex, Cyprus", ECONOMIC GEOLOGY, (1977), v. 72, p. 1175-1194.
- [24] Quick J.E., "The origin and significance of large, tabular dunite bodies in the Trinity Peridotite, northern California", Contributions to

- [46] Pe-Piper G., Tsikouras B., Hatzipanagiotou K., "Evolution of boninites and island-arc tholeiites in the Pindos Ophiolite, Greece", Geological Magazine, (2004), v. 141, p. 455-469.
- [47] Pagé P., "Pétrogenèse de l'ophiolite de Thetford Mines, Québec, Canada, avec un accent particulier sur les roches du manteau et les chromitites: Unpublished Ph.D. thesis, INRS-ÉITÉ", Québec, PQ, Université du Québec, (2006), p. 282
- [48] Roeder P.L., Reynolds I., "Crystallization of chromite and chromium solubility in basaltic melts", Journal of Petrology, (1991), v. 32, p. 909-934.
- [49] Roeder P., Gofton E., Thornber C., "Cotectic proportions of olivine and spinel in olivine-tholeiitic basalt and evaluation of pre-eruptive processes", Journal of Petrology, (2006), v. 47, p. 883-900.
- [۵۰] مرف، قاسمی ک، "ژئوشیمی کرومیت‌های آمیزه فیولیتی بافت و اداخل‌های جامد همراه"، اولین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران (۱۳۷۶)، ص ۲۵۰-۲۵۲.
- [51] Pagé P., Barnes S.J., "Using Trace Elements in Chromites to Constrain the Origin of Podiform Chromitites in the Thetford Mines Ophiolite", Québec, Canada., (2009), v. 104, no.7, pp. 997-1018.
- [52] Mikami M.H, "Chromite in Industrial mineral and rocks by Lefond", S. J., American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc, by Port City Press, Baltimore, Maryland, (1983).
- [53] Proenza J.A., Ortega-Gutierrez F., Camprubi A., Tritlla J., Elias-Herrera M., Reyisalas M., "Paleozoic serpentinite-enclosed Chromite from Tehrizingo (Acatlan complex, Sothern Mecxico): a Petrological and Mineralogical study", J. of South American Earth Science 16 (2004), pp. 649-666.
- [54] Harben P. W., Bates R.L., "Geology of the Nonmetallics", published by Metal Bullentin Inc. 708 Third Avenue, New York, NY 10017, USA, (1984), pp.9-17.
- Geological Society [London] Special Publication 60, (1992), p. 203-217.
- [37] Kuroda N., Shiraki K., Urano H., "Boninite as a possible calc-alkalic primary magma", Bulletin Volcanology, (1978), v. 41, p. 563-575.
- [38] Jenner G.A., "Geochemistry of high-Mg andesites from Cape Vogel, Papua New Guinea", Chemical Geology, (1981), v. 33, p. 307-332.
- [39] Walker D.A., Cameron W.E., "Boninite primary magmas", Evidence from the Cape Vogel Peninsula, PNG: Contributions to Mineralogy and Petrology, (1983), v. 83, p. 150-158.
- [40] Cameron W.E., "Petrology and origin of primitive lavas from the Troodos ophiolite", Cyprus: Contributions to Mineralogy and Petrology, (1985), v. 89, p. 239-255.
- [41] Flower M.F.J., Levine H.M., "Petrogenesis of a tholeiite-boninite sequence from Ayios Mamas, Troodos ophiolite", Evidence for splitting of a volcanic arc?: Contributions to Mineralogy and Petrology, (1987), v. 97, p. 509-524.
- [42] Pearce J.A., van der Laan S.R., Arculus R.J., Murton B.J., Ishii T., Peate D.W., Parkinson I.J., Boninite, "harzburgite from leg 125 (Bonin-Mariana forearc)", A case study of magma genesis during the initial stages of subduction: Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, (1992a), v. 125, p. 623-659.
- [43] Pearce J.A., Thirlwall M.F., Ingram G., Murton B.J., Arculus R.J., van der Laan, S.R. "Isotopic evidence for the origin of boninites and related rocks drilled in the Izu-Bonin (Ogasawara) forearc, leg 125", Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, (1992b), v. 125, p. 237-261.
- [44] Taylor R.N., Nesbitt R.W., Vidal P., Harmon R.S., Auvray B., Croudace I.W., "Mineralogy, chemistry, and genesis of the boninite series volcanics, Chichijima, Bonin Islands, Japan", Journal of Petrology, (1994), v.35, p. 577-617.
- [45] Bédard J.H., "Petrogenesis of boninites from the Betts Cove ophiolite, Newfoundland, Canada", Identification of subducted source components: Journal of Petrology, (1999), v. 40, p. 1853-1889.