

سال نوزدهم، شمارهی ۱، بهار ۹۰، از صفحهی ۱۶۷ تا ۱۸۲



# بررسیهای کانیشناسی- ژئوشیمیایی ذخایر کرومیت چاهیابو و چشمه یلنگ با نگرشی بر کاربرد صنعتی آنها

# خسرو ابراهیمی\*، سعیدہ غلامی

گروه زمینشناسی 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 میدهند. مجموعهی افیولیتی شمال شرق ایران از دیـدگاه زمین شناسی و پتانسیل های معدنی دارای اهمیت است. مهم ترین واحدهای زمین شناسی منطقهی چاهیابو به مجموعهی افیولیتی با سن کرتاسه فوقانی وابسته است که شامل پریدوتیتهای سریانتینی شده، گابرو، دایکهای دیابازی و سنگهای آتشفشانی دگرسان شده دوران سوم به ویژه ائوسن است. در منطقهی چشمهپلنگ واحدهای سنگشناسی مشابه چاهیابو رخنمون دارند با این تفاوت که واحدهای سنگی دونیت با گسترش کمتر و هارزبورژیت با گسترش بیشتری قابل مشاهده است. بررسیهای میکروسکوپی بلوکهای صيقلي كانسنگ كروميت مناطق مورد بررسي نشان ميدهد كه بافت آنها به دو گروه اوليه و ثانويه قابل تقسيم است. بافتهاي غالب اولیه در منطقهی چاهیابو و چشمه پلنگ، متراکم، نواری، انتشاری، مشبک و پوست پلنگی است. در صورتی که بافتهای کاتاکلاستیکی و کششی از بافتهای ثانویه مهم است. بررسیهای ژئوشیمیایی نشان میدهد که کرومیتهای منطقهی چاهیابو و چشمهپلنگ به ترتیب با ميانگين مقادير ۵۳٬۱۵٪ و ۴۲٬۹۳٪ اکسيدکروم (Cr2O<sub>3</sub>)، ۶٬۱۵٪ و ۸٬۹۲٪ اکسيد آلومينيوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، ۱۵٬۹۲٪ و ۲۲٬۴۲٪ اکسید منیزیم (MgO) و ۱۴٫۰۴٪ و ۱۹٫۰۰٪ اکسید تیتان (TiO<sub>2</sub>) شکل گرفتهاند. نسبت [(Cr/(Cr + Al] در کرومیتهای منطقهی 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و MgO و نیز مقادیر پایین Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و TiO<sub>2</sub> کرومیتهای مناطق مورد بررسی با موقعیت چینه نگاشتی عمیق کرومیتها در دنبالهی افیولیتی (پریدوتیتهای زمینساختی) همخوانی دارد که احتمالاً خاستگاه ماگمایی هر دو کانسار گوشتهی فوقانی بوده است. با توجه به استاندارد ویژگیهای شیمیایی لازم کرومیت بهمنظ ور استفاده در صنایع فروکروم (%26% Cr2O و Cr/Fe>3) و شیمیایی (%Cr/Fe) و Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>44%)، کانسنگ کرومیت استخراج شده از ذخایر معدنی چاهیابو و چشمه یلنگ می تواند در صنایع فلزی و شیمیایی کاربرد داشته باشد.

واژەھاى كليدى: /فيوليت سېزوار؛ چاەيابو؛ چشمەپلنگ؛ صنايع فلزى؛ شيميايى.

#### مقدمه

; م\_\_\_\_\_;

منطقهی چاهیابو در فاصلهی ۵۳ کیلومتری شمال شرقی سبزوار و بين طول هاى جغرافيايي 16 ، ۵۸ الي ۳۰ ، ۵۸ و عـرضهـای جغرافیـایی <sup>`۱</sup>۵۰ ، <sup>°</sup>۳۶ الـی <sup>`۱</sup>۵۵ ، <sup>°</sup>۳۶ در نقـشهی \_\_\_\_\_ين

شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان آباد و منطقهی چشمه پلنگ سبزوار

در فاصلهی ۴۵ کیلومتری شمال غربی سبزوار و بین طول جغرافیایی، ۱۷ ، ۵۷° و ۲۰ ، ۵۷° و عـرض جغرافیایی ۲۵ ، °۳۶ و ۲۸ ، °۳۶ در نقیشهی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ باشتین قرار گرفته است (شکل۱). مناطق مورد بررسی بخش-هایه، از کمربند افیولیتی سبزوار است و در حاشیهی شمالی خـــــرده قـــــرهی شــــرده

نویسنده مسئول، تلفن: ۸۷۹۷۲۷۵ (۵۱۱)، 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 فراوردههای معدنی کرومیت دنیا را فراهم کردهاند [۳]. در این کار پژوهشی ویژگیهای سنگشناسی، ژئوشیمیایی، خاستگاه و موارد مصرف کرومیتهای مناطق چاهیابو و چشمهپلنگ مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. ایران مرکزی قرار می گیرند. مهم ترین واحدهای سنگ معروبیمی. منطقه یچاهیابو به مجموعه ی افیولیتی با سن کرتاسه فوقانی وابسته است که شامل پریدوتیتهای سرپانتینی شده، گابرو، دایکهای دیابازی و سنگهای آتشفشانی دگرسان ائوسن است[۱]. در منطقه ی چشمه پلنیگ سربزوار واحدهای سنگشناسی مشابه چاهیابو رخنمون 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 نقـشههای زمـینشناسـی ۱:۱۰۰۰۰۰ باشتین و سلطان آباد.

سنگشناختی مناطق چاهیابو و چشمه پلنگ

مهم ترین واحدهای سنگ شناختی 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 می شوند.

پریدوتیتهای سرپانتینی شده منطقهی چاهیابو عبارتند از واحدهای سنگی سرپانتینیت، هارزبورژیت و لرزولیت.

غلافهای دونیتی که عدسی های کرومیتی را در بر گرفته اند، اغلب دگرسان و به سرپانتینیت تبدیل شده اند. دگرسانی سرپانتینی تقریباً ۶۰ درصد حجم مجموعه سنگهای منطقه را تشکیل می دهند. بررسی مقاطع میکروسکوپی نشان می دهد که کرومیت های منطقه چاهیا بو بیشتر بافت انتشاری دارند (شکل ۲).

هارزبورژیتهای تکتونیکی 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 بهصورت محدود در نواحی جنوبی ذخیرهی معدنی چاهیابو قابل مشاهده است.

گابرو با رنگ خاکستری روشـن تـا تیـره در بخـش غربـی منطقهی چاهیابو و به صورت خیلی محدود قابل مشاهده اسـت. بررسیهای میکروسکوپی نشان میدهـد کـه کـانیهـای اصـلی

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 منطقه ی چاهیابو نشان میدهد که کانسنگ کرومیت این ناحیه معمولاً درون هارزبورژیتها یافت میشوند که اغلب با غلافی دونیتی احاطه شدهاند. تودههای لرزولیتی منطقه ی چاهیابو اغلب فاقد کانهزائی کرومیتاند.

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

دونیت از گسترش کمتری در مقایسه با منطقهی چاهیابو برخوردار است. درسطوح 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 باگسترش 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 پورفیروبلاست و مشبک بافت غالب هارزبورزیتهای منطقهی چشمهپلنگ را تشکیل میدهند (شکل ۳).



**شکل۲** تصویر میکروسکوپی نور عبوری ازافت انتشاری کانسنگ کرومیت در منطقه چاهیابو و چشمهپلنگ.



(Tal=Talc, Ol= Olivine, Opx= Orthopyroxene, Ser= Serpentine)

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 (شکل۴).

در منطقه چشمهپلنگ مانند منطقهی چاهیابو تودههای کرومیتی همراهی نزدیکی با سنگهای دونیتی و هارزبورژیتی دارند. کرومیتیتهای چشمهپلنگ با غلافهای دونیتی به ضخامت چند سانتیمتر تا چند متر یوشیده شدهاند.

دایکهای دیابازی در واحدهای پریدوتیتی تزریق شدهانـد و بهرنگهای نخودی، خاکستری مایل به سبز و خاکستری روشن

دیده میشوند. ستبرای این دایکها حدود ۵٫۰ 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 جای گیری 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 به صورت بلورهای درشت با حاشیهی مشخص دیده میشوند. کلینوپیروکسنهای با ابعاد بزرگ که گاهی قطر آنها به ۳ میلیمتر می رسد نیز قابل مشاهدهاند (شکل۵).



شکل۴ تصویر میکروسکوپی نور عبوری از یک نمونه پریدوتیت منطقهی چشمه پلنگ 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 و ساخت کرومیتهای مناطق چاهیابو و چشمه پلنگ

با توجه به خاستگاه ماگمایی ذخایر کرومیت و نیز تغییر و پس از شکل گیری 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 بافتهای اولیه و ثانویه تقسیمبندی کرد. این بررسیها نشان میدهد که منطقه ی 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

بافت متراکم: این بافت بیشتر معرف اکثریت کانسنگ کرومیت منطقهی چاهیابو است. در منطقه چشمه پلنگ 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 برگرفته شدهاند. نمونه-های حاوی این بافت از عیار بالایی برخوردار است که ناشی از تبلور تنهای کرومیت است (شکل۶).

بافت دانهای یا گرانولار: این بافت در منطقه ی چاهیابو شامل دانههای بیضی یا کروی شکل کرومیت است. دانههای کرومیت در منطقه ی چشمه پلنگ به صورت بیضی و گرد شده و گاهی زاویه دار در زمینه ای از سرپانتین و باقیمانده های الیوین دیده می شوند. دانه های کرومیتی بیشتر دارای شکستگی های فراوان و اندازه های متفاوت تا قطر بیش از ۲٫۵ سانتیمتراند (شکل ۷).



شکل ۶ تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی از بافت توده ای کرومیت های منطقه چشمه پلنگ.



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

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 به صورت 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 چشمه پلنگ، برخی بافتها تنها در یکی از دو منطقه-ی یاد شده قابل مشاهده است و در منطقهی دیگر دیده نمی شوند. این بافتها عبار تند 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 بهمنطقهی چاهیابو است

(شکل۸).

۲- بافت نواری و پوست پلنگی از دیگر بافتهای شایع منطقهی چاهیابو اند که در منطقهی چشمه پلنگ مشاهده نمی شوند.
۳- بافت خوشه انگوری: در کرومیتهای چاهیابو به صورت گرههای کرومیتی است که اغلب در اندازههای ۱ تا ۵ میلیمتر، در زمینه ای سیلیکاتی (اغلب الیوین – سرپانتین) قرار گرفته اند و معمولاً بلورهای برونزیت یا پلاژیوکلاز شکستگیهای ریز و فراوان کرومیتها را پر کرده اند. در بافت خوشه انگوری، گرهها اغلب به صورت در هم قفل شده یا دانه های بی شکل مشاهده می مواند.
معمولاً بلورهای کرومیت در این بافت خوشه انگوری، گرهها اغلب به صورت در هم قفل شده یا دانه های بی شکل مشاهده می شوند. گرههای کرومیت در این بافت می توانند الیوین و یا معلود.

۴- بافت مشبک: در این بافت دانههای کم و بیش ریز کرومیت شکل دار تا نیمه شکل دار به طور بخشی یا کلی فضای بین دانه های درشت و رشد یافته ی سیلیکاتی را پر میکنند (شکل۹). این بافت را می توان تنها در کرومیت های چشمه پلنگ مشاهده کرد.



**شکل ۸** تصویر ماکروسکوپی از بافت لایهای کرومیت در منطقهی چاه یابو.



شکل ۲ تصویر میکروسکوپی نور عبوری از بافت مشبک سرپانتینیت منطقهی چشمه پلنگ بلور کرومیت به صورت پورفیری در زمینه ی سرپانتینی قرار دارد. (Chr = Chromite, Ser = Serpentine).

#### بافتهای ثانویه کرومیتهای مناطق چاهیابو و چشمه پلنگ

ساختارها و بافتهای ثانویه در اثر تـنشهـا، کـرنشهـا و تغییر شکلهای گوناگون به وجود آمده در اثر پدیدههای زمـین ساختی و نا زمینساختی حاصل میشوند.

۱- بافت کاتاکلاستیک: از مجموع بافتهای ثانویه، بافت کاتاکلاستیک در منطقه یچاهیابو به فراوانی مشاهده می شود. در طول زمان و بر اثر حرکتهای زمین ساختی 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 منطقه ی چشمه پلنگ به صورت دانههای خرد شده با شکستگی فراوان است که به همراه با بافتهای دیگر مانند بافت گره مانند دیده می شوند (شکل ۱۰).

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 گیرنده یلورهای 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 و شکافهای ناشی از کشش و نفوذ سرپانتین در ترکها و

سرانجام قطعـه قطعـه شـدن دانـههـای کروميـت مـیشـود (شکل۱۲).

#### ژئوشیمی کرومیتهای مناطق چاهیابو و چشمه پلنگ

ذخایر معدنی کرومیت مناطق چاهیابو و چشمه پلنگ به دلیل قرار گرفتن در کمربند افیولیتی سبزوار و زمین ساختی فعال منطقه که بیشتر واحدهای سنگی را بهم ریخته است، نمونه برداری دقیق تری را می طلبید. در مجموع از اغلب واحدهای کرومیتی، دونیتی، سرپانتینیتها، هارزبورژیتها و نیز از مرز تدریجی کرومیتیتها با سنگهای میزبان نمونه برداری شد. روش برداشت کانالی در همه نمونه های برجا انجام شد. فقط دو نمونه کانسنگ کرومیت که از انبارههای استخراج شده منطقه برداشت شده بود به روش تکهای انتخاب شدند. به دلیل آنکه اغلب کانسارهای عمیق و فاقد رخنمون کرومیت در

پیرامون خود هالههای ژئوشیمیایی ایجاد نمیکننـد، روشهـای ژئوشیمیایی متداول در پی جویی این تودههای معـدنی چنـدان مؤثر نیـستند[۳]. رونـد تغییـرات عناصـر موجـود در کانـسنگ

کرومیت و سنگهای میزبان مناطق چاهیابو و چشمهپلنـگ کـه به روشهای فلوئورسـانی پرتـو ایکـس (XRF) و جـذب اتمـی (AAS) آنالیز شدند در جدولهای ۱ الی ۳ ارائه شدند.



شکل۱۰ تصویر میکروسکوپی نور بازتابی از بافت کاتاکلاستیک کرومیت در منطقهی چاه یابو.



شکل۱۱ 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 چشمه پلنگ 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 (Chr = Chromite) تحت تأثیر خردشدگی شدید در مناطق گسلی ایجاد شده است.



شکل۱۴ تصویر میکروسکوپی نور بازتابی از بافت برشی دانههای زاویهدار کرومیت (Chr = Chromite)

					•
Sample	١	۲	٣	۴	میانگین
SiO <sub>2</sub>	17/1	٩,٣٠٠	٨,	۵٫۲۰۰	$\Lambda_{l}\mathcal{F}\Delta$
TiO <sub>2</sub>	•,• <b>.</b> .	•,17V	۰,۱۷	۰,۱۸۰	۰,۱۳۹
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۵٫۴۰	۵٬۸۰۰	۶,۷۰۰	۶,۲۰۰	$\mathcal{F}_{I}$ ) $\Delta$
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴۸ <sub>/</sub> ۴	۵۳٬۹	۵۳٫۷	۵۶٬۶	۵۳٬۱۵
TFeO	18	۱۵,۴۰۰	۱۵,۴۰۰	۱۵,۷۰۰	10,87
MnO	• / ۲ / •	•,18•	٠,١٧٠	• / ۱ ٧ •	۰,۱۷۸
MgO	۱۹٫۵	۱۴,۵۰۰	۱۴٬۹۰۰	۱۴٫۸۰۰	۱۵,9۲۵
CaO	۰,۲۸۰	۰٬۰۵۳	۰٬۰۵۹	•,• YY	۰,۱۰۵
Na <sub>2</sub> O	۰٬۰۸۴	۰,۱۵۰	٠,١۵٠	۰,• ۹۷	•,1۲•
K <sub>2</sub> O	۰٬۰۵۱	•,1•۲	•/117	۰,۰ <i>۷۴</i>	۰, • ۸
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	٠,٠١٩	۰,۰۲۵	٠٬٠٢٩	۰,۰۱۵	•,• ۲۲
Al	۲٫۴۳	۱,۵۳	١,٧٧	١,٧٧	1,8Y
Cr	۱۶٬۵۵	۱۸٫۴	۱۸٫۳	۱۹٫۳	۱۸,۲
Mg	۷۱٫۷	$\mathbf{A}_{I}\mathbf{Y}$	٨٫٩۴	٨٫٨٨	٩٫۵۵
Cr/Cr+Al	٠٫٩٢	•,٩٢	۰٫۹۱	٠,٩١۵	۰,۹۱۸

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

Sample	Cha <sub>1</sub> (Cr)	Cha <sub>2</sub> (Cr)	Cha <sub>3</sub> (Dunite)	Cha <sub>4</sub> (Harzborgite)	Cha <sub>5</sub> (Gabbro)	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	١٨,٧	۳۲, ۱	<i>۶</i> , ۰	<b>۰</b> ٫۷۸	۰,۱	
TFeO	۶٫٨	۲۳٫۱۴	۴٫٣	١,١	$\boldsymbol{arphi}_{l}\boldsymbol{A}$	
NiO	• ،۵۲	n.d	۰,۰۲	٠,٠٣	۰,۱۹	
MnO	۰, • ۱	n.d	۰,۰۲	٠,٠٣	٠,١٩	
MgO	۳۷٫۲	۱٩,1۶	۳۵٫۳	۳۰,۸	۵٬۳	
CaO	۰,۰۲۹	•,774	۰٬۱۶۸	•,774	۱٬۶۸	
Cr	۶/۴	١٠/٩	٠,١٩	۰,۲۷	• , • <b>۵</b>	
Mg	۲۲٫۳	۱۱٫۵	۲ ۱٬۲	$\Lambda_{/\Delta}$	٣,٢	
Mn	<b>Y</b> / <b>Y</b>	n.d	۰,۰۲	٠,٠٣	۰,۱۵	
Ni	۰٫۴۵	n.d	٠,٣	۰,۲	<b>۰</b> ٬۰۶	
Ca	۰,۰۲	۰,۱۶	٠,١٢	۰,۱۶	١,٢	
Co	•,••YY	۰,۰۲۸	•,•• <b>۵</b>	• , • • <b>۵</b>	• , • • ۵	
Zn	۰, · · ٩	•,•۶	٠,٩	•,•٢	•,•۶	
Cu	n.d	• , • <b>۵</b>	n.d	n.d	n.d	

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

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

	<b>•</b> • • •		• •	-				
Sample	Che <sub>1</sub>	Che <sub>2</sub>	Che <sub>3</sub>	Che <sub>4</sub>	Che <sub>5</sub>	Che <sub>6</sub>	Che <sub>7</sub>	Che <sub>8</sub>
SiO <sub>2</sub>	۱۰٬۵۰	٨,٩٠	۱۳,۲۰	۱۱,۱۰	٩,٠٠	۲٫۸۰	۴,۷۰	۶,۶۰
TiO <sub>2</sub>	۰,۱۷	۰,۲۵	۰ ٫۲ ۱	•,14	٠٫١٣	•,14	•/14	۰,۱۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷,۲۰	۴,٩٠	۶٬۷۰	٨,٨٠	۷٫۴۰	۱۲,۰۰	11/50	٩,٢٠
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,40	۱۵٫۸۰	۱۳٫۴۰	۱۵,۳۰	14,80	14,80	۱۷,٩٠	18,40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴۱٬۲۰	۴۷٫۷۰	۳۷,۴۰	۴۰٬۵۰	۴۰,۱۰	48,4.	۴۴,۷۰	۴۵٬۵۰
NiO	٠٫١٩	۱۳۱	۰٫۲۸	۵۲٬۰	۰,۱۸	•,٢٣	۰,۲۶	۰٫۲۸
MnO	٠,١٢	•,1٣	۰,۱۲	۰,۰۹	• , • <b>A</b>	٠,١۴	۰,۱۵	۰,۱۴
MgO	۲۳٬۷۰	۲۰٫۸۰	۲۵,۵۰	۲۰,۹۰	78,80	۲۲/۹۰	19,80	۱۹٫۷۰
CaO	۲٬۵۷	•,48	<i>۰</i> ٫۶۹	۲/۱۱	• ۲۹	•,۴١	۰,٩٠	١٫٣۵
Na <sub>2</sub> O	۰,۱۵	۰,۱۶	٠٫١٣	٠,١٢	٠,١٢	۰,۱۶	٠,١٢	٠,١٢
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	• ,• Y	• ,• <b>A</b>	•,•۶	۰ <sub>/</sub> ۰۹	۰ <sub>/</sub> ۰۶	۰ <sub>/</sub> ۰۹	٠,١٢	۰ <sub>/</sub> ۰۹
ZnO	•,•۴	۰,·۶	۰, · ۵	•,•۶	۰,۰۳	۰, · ۵	•,•Y	•,•۶
C0 <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	•,•٢	•,•٣	•,•٣	•,•٣	•,•٢	•,•٣	•,•٣	•,•٣

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 کمربند افیولیتی سبزوار 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 تـشکیل و ژنـز به دو گروه نوع بوشولد یا چینهسان (Stratiform) و نوع آلپـی یا نیامی (Podiform) تقسیم کرد. کرومیتهای نوع نیـامی بـه

كروميت نوع Cr بالا و Al بالا قابل تقسيماند [۶]. كانسارهاي کرومیت Cr/Cr + Al 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 کانسارهای نوع Al بالا نـشان میدهند. کانسارهای نوع Al بالا حاوی نسبت تغییرات Cr/Cr Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>۲۵% و %۲۵ و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و درصد تیتان بالایی + Al هستند. طبق [۷] مقادیر Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و TiO<sub>2</sub> کرومیت به گدازهی مادر وابستهاند، بنابراین شاخصهای خوب محیط زمینساختی هـستند. ممكـن اسـت كانـسارهای كروميـت نـوع Al بـالا از ماگمایی با درجهی ذوب بخشی یایین جبهی بالایی تشکیل شده باشند، در حالی که ذخایر کرومیت نوع Cr بالا از ماگمایی با درجه ی ذوب بخشی بالای جبه بالایی حاصل شدهاند [۶]. كروميت مدتها بهعنوان شاخص پتروژنتيكي استفاده مي شده است [۹،۸] و تصور می شود ترکیب آن بیشتر به گدازهی اولیه وابسته باشد، به این دلیل که کرومیت فاز آغازین تبلور است [۱۰-۱۰]. کرومیتهای محیطهای زمینساختی متفاوت ویژگی مشخصی از Cr دارند که تفاوت در ترکیب ماگما را بازتاب میدهد. کرومیتیت با کروم بالا می تواند از گدازهی با درجهی بالای ذوب و یا از واکنش گدازه با گوشته شدیداً تهے، شده تشکیل شود، در حالی که کرومیتیت با کروم یایین از گدازهی با درجهی ذوب یایین و یا از واکنش با گوشتهی کمتر

تھی شدہ تشکیل می شود [۱۳– ۱۶].کرومیتھای منطقہ ی چاہیاہو و چیشمہیلنےگ ہے ترتیب دارای میانگین مقادیر اکـسیدکروم (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ۵۳/۱۵٪ و ۴۲/۹۳٪ هـستند کـه در گسترهی کرومیتهای با خاستگاه MORB (٪۲۰ تـا۵۴) [۱۷] قرار می گیرند. بررسی های ژئوشیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی و فرعی موجود در کانسنگهای کرومیت چاهیابو و چشمه پلنگ نشانگر وجود مقادیر Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بین ۳۷٬۴ تا ۵۶٬۶ درصد وزنی (با میانگین%۴۶٬۳۴ wt)، مقادیر Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> از ۴٫۹ تا ۱۲ درصد وزنی (با میانگین %۲۶ ۷۱/۶)، میانگین FeO برابر ۱۴٫۸ درصد وزنی و Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> برابر ۴۸ درصد وزنی کانسنگ را تـشکیل مـیدهـد که بر اساس آن ذخایر معدنی یاد شده با نسبت مقادیر Cr/Cr Al + از ۸۳ ، تا ۹۳ (با میانگین ۸۸ ) و با توجه به نمودار ،[۱۸] Mg/Mg +  $Fe^{+2}$  نـــــــ Cr/Cr + Al نـــــــ کانـسارهای کرومیتـی مناطق مـورد بررسـی در گـسترهی کرومیتهای نوع آلپی غنی از کروم قرار می گیرند (شکل۱۵). با توجه به نمودار TiO<sub>2</sub> نسبت به Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [۲۰،۱۹] که روی آن گسترهی کانسارهای 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 چشمهیلنگ در گسترهی کانسارهای كروميت افيوليتي نوع آلب است (شكل ١٤).



شکل۱۵ ترسیم نتایج آنالیزهای شیمیایی ذخایر معدنی کرومیت چاهیابو و چشمه پلنگ در نمودار نسبت Cr/Cr + Al نسبت به Mg/Mg + Fe<sup>2+</sup>.



**شکل۱۶** نتایج آنالیزهای شیمیایی ذخایر معدنی کرومیت چاهیابو و چشمه پلنگ در نمودار Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> نسبت به TiO<sub>2</sub> .

در نمونه Cha4 (جدول ۲) که از هارزبورژیتهای منطقهی چاهیابو برداشت شده است، مقدار کروم (Cr) به ۲۷۰۰ppm می رسد که این نسبت معادل نسبت کروم موجود در پریدوتیتهای گوشته ی فوقانی است و نشان می دهد که هارزبورژیتهای منطقهی چاهیابو به پریدوتیتهای گوشته فوقانی وابسته است. مقدار Cr در نمونهی Cha5 (جدول ۲) که از گابروهای منطقه برداشت شده است به ۵۰۰ppm کاهش می یابد.

علاوه بر این، مقادیر ناچیز و یا عدم وجود پلاژیوکلاز در پریدوتیتهای منطقهی چاهیابو 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 چاهیابو را در اینگونه مناطق مسجل میسازد.

ساز و کار تشکیل کرومیتیت 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 می شود [۲۲-۲۶]. مدلهای اخیر کرومیتهای پادیفرم را بهعنوان محصول

واکنـشی میان گـدازهی اولیـه و پریـدوتیت گوشـته توضیح مىدهند [٢٧-٣١]. مدل هايي شامل آميختگي ماگما و/يا غير قابل اختلاط بودن گدازههای غنی و فقیر از Si یا میان گدازهی سیلیکاتی و فاز شاره نیز پیشنهاد شده است[۳۲–۳۴]. گفته می شود که کانه کرومیت متالورژیکی (غنی از Cr) در مرحله ی دوم یعنی ماگماهای زون بونینیتی یا ابر فرورانش تشکیل و باعث تهی شدگی بیشتر از خاستگاه گوشتهای شده و در نهایت تشکیل گدازهی غنـی از Cr را مـیدهـد [۳۶،۳۵]. گـدازههـای بونينيتي اوليه (%MgO>10 wt) با حدود (MgO>10-Cr~ ۱۰۰۰) (۲۷–۳۷] در مقایسه به گدازههای بازالتی اولیه دیگر مشتق شده از گوشته با حدود (Cr~۲۰۰-۵۰۰ppm) [۴۹،۴۸] به غنی بودن از Cr معروفند. بنابراین با توجه به درصد  $MgO_3$  و  $MgO_3$  و  $MgO_3$  بالا و نیز  $MgO_3$  و  $Cr_2O_3$  و در ترکیب شیمیایی کرومیتهای منطقه ی چاهیابو میتوان گفت کرومیت این کانسار با موقعیت چینه نگاشتی عمیق کرومیتها در دنبالهی افیولیتی (پریدوتیتهای تکتونیکی شده) همخوانی دارد و نشان میدهد که ماگمای مادر احتمالاً از نوع گدازهی تولئیتی Mg بالا و Ti یایین بوده است. از طرفی با توجه به درصد پایین Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> موجود در کرومیتهای منطقهی چشمه پلنگ، احتمالاً این کانسار نیز در مناطق گسترش یابنده-ی یشت قوس و محیطهای ریفتی شکل نگرفته است.

از دیدگاه ژئوشیمیایی، کرومیتهای وابسته به بالاترین بخشهای گوشته و پایینترین بخشهای پوستهی اقیانوسی دارای نسبت عناصر Cr/Cr+Al بین ۵٫۰ تا ۶۴٫۰ و نسبت Cr/Fe بین ۱٫۸ تا ۲٫۸ است، در حالی که کرومیتهای دارای نسبتهای بالاتر عناصر یاد شده به بخشهای عمیقتر وابسته-اند[۳]. با توجه به نسبت تغییرات Cr/Ct + Al در کانسار کرومیت چشمه پلنگ بین ۲۷٫۰ تا ۲۹٫۰ و نسبت تغییرات cr/Fe بین ۲٫۷ تا ۲٫۱ ، میتوان گفت که این نشانههای ارتباط ژنتیکی کرومیت چشمه پلنگ به بخشهای پایین گوشتهی فوقانی وابسته است.

از طـرف دیگـر بـالا بـودن مقـادیر Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (بـا میـانگین MgO (بـا میـانگین ۲۲٬۴۲٪) حکایـت از تبلـور کرومیتها از ماگمایی با درجهی ذوب بخـشی بالاسـت کـه بـه پریدوتیتهای عمیق وابسته است[۵۰]. لذا تشکیل کانـسارهای کرومیتی چاهیابو و چشمهپلنگ بـا میـانگین ۶۶٬۳۴ Cr<sub>2</sub>O3٪ و کرومیتی چاهیابو و چشمهپلنگ بـا میـانگین ۴۶٬۳۴ Cr<sub>2</sub>O3٪ و دارد.

مقایـسهی ژئوشـیمیایی ذخـایر کرومیتـی چـاهیـابو و چشمهپلنگ با سه نمونه کرومیت با بافـت گـرهای و تـودهای از کانسار کرومیت آلپی تدفورد، کانـادا، ( بـا میـانگین ٪۸۱/۳۱ ~ میـانگین ٪۸۲/۱۳ و ۵۸/۳۱ میلای و ۲۰/۳۶ ~MgO و ۰۶/۳۶ (Cr2O<sub>3</sub>) (Cr/Cr + Al)) [۵۱]، شباهت ژئوشیمیایی و کاربردی آنها را با کانسار کرومیتی تدفورد نشان میدهد.

## کاربردهای صنعتی کانسنگ کرومیت مناطق چاهیابو و چشمه-پلنگ

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 پادیفرم در همبافتهای افیولیتی نیز بهعنوان تنها چشمهی کرومیت دیرگداز با %2004<[۵۴،۵۳] بوده و چشمهی مهمی برای کاربردهای متالورژی با %2004<[۵۴،۵۳] و نسبت Cr/Fe بین ۲٫۲ تا ۴ نیز به حساب میآیند[۵۴].

کاربردهای صنعتی کرومیتهای مناطق چاهیابو و چشمه پلنگ بشرح زیر خلاصه می شوند: شرط لازم برای امکان استفاده از کرومیت در صنایع متالورژی به منظور تولید فروکروم مقدار بالای Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در کانه یکرومیت (۴۶ درصد یا بالاتر) است و از طرف دیگر می بایست نسبت ۲۶/۲۰، حداقل ۳ به ۱ باشد [۵۴]. برای کاربرد کرومیت در صنایع شیمیایی می بایست مقدار Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در کانه یکرومیت در صنایع شیمیایی می بایست مقدار Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در کانه یکرومیت در صنایع شیمیایی می بایست مقدار Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در کانه یکرومیت در صنایع شیمیایی می بایست مقدار در مانه بالاتر) و نسبت مقدار در محتوای اکسید کروم ۵۳٬۱۵ درصد و نسبت بالای کروم به آهن (میانگین ۹) می توانند کاربردهای متالورژیکی و شیمیایی داشته باشند.

با توجه به میانگین Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (۴۲/۳۹) و نسبت ۲٫۷ Cr/Fe تا ۳٫۱ و مقادیر پایین Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (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 تولیـد فـراوردههـای دیرگداز مقدار آلومینا ۲۵ تا۳۰٪ است که در مورد کرومیتهای چاهیابو بهدلیل پایین بودن مقدار آن امکان تولید فـراوردههـای دیرگداز با کیفیت بالا منتفی است.

#### برداشت

مهمترین واحدهای سنگشناختی منطقهی چاهیابو و چشمه-پلنگ سبزوار به مجموعهی افیولیتی سبزوار با سن کرتاسه فوقانی وابسته است که شامل پریدوتیتهای سرپانتینی شده، دونیت، متاگابرو، دایکهای دیابازی و سنگهای آتشفشانی دگرسان شده است.

در منطقهی چشمهپلنگ و چاهیابو تودههای کرومیتی همراهی نزدیکی با تودههای سنگی دونیتی و هارزبورژیتی دارند. ساختار و بافت کرومیتهای مناطق یاد شده را می توان به دو گروه مهم بافتهای اولیه و ثانویه تقسیم کرد. از میان بافتهای اولیه، بافتهای اولیه و ثانویه تقسیم کرد. از میان 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 می شود.

بررسیهای ژئوشیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی و فرعی کانسنگهای کرومیتی منطقه ی چاهیابو ویژگی کروم بالا، کارسنگهای کرومیتی منطقه ی چاهیابو ویژگی کروم بالا، نسبتاً پایین ۲۹٫۵۵٪ ~Al2O3 (تغییرات بین ۹٫۴ تا ۶٫۶٪) دارند. کرومیتهای منطقه ی چشمه پلنگ دارای مقادیر 2۰۵۵ از ۶٫۶ کرومیتهای منطقه ی چشمه پلنگ دارای مقادیر ۶٫۵۵ از ۶٫۶ بین ۱۳۷٫۴ تا ۲۰٫۷ درصد وزنی (میانگین۲۹٫۳٪) و ۵۵۵ از ۶٫۶ از ۲۰٫۶ تا ۱۲ درصد (میانگین۸۹٫۸٪) است. بنابراین کرومیتهای استخراج شده از مناطق چاهیابو و چشمه پلنگ 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 یائین بودن درصد Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> موجود در کرومیتهای مناطق چاهیابو و چشمه پلنگ احتمالاً این کانسارهای کرومیتی نیز در دو محیط گسترش یابنده ی بشت قلوس و محلیط ای کافتی شکل نگرفته است. مقادیر MgO و MgO بالا و یایین موجود در ترکیب شیمیایی کرومیتهای مناطق Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> چاهیابو و چشمهیلنگ با موقعیت چینه شناختی عمیق کرومیت-ها در دنبالهی افیولیتی (یریدوتیتهای زمین ساخت) سازگاری دارد و نشان میدهـد کـه ماگمـای مـادر احتمـالاً از نـوع مـواد گداختهی اولیهی گوشته فوقانی با درجهی ذوب بخشی بالا بوده است. و بالاخره با توجه به ترکیب شیمیایی کانسنگ کرومیت ذخایر معدنی چاہیابو و چشمہیلنگ، مہمترین 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. توليد فراوردههاي دير گداز از مادهي اوليه معادن كروميت چاهیابو و چشمه پلنگ گرچه از نظر درصد اکسید کروم موجود مناسب است ولى بهعلت كمبود آلوميناي آن توصيه نمى شود.

### مراجع

[۱] مــؤمنی غ.ر.، ابراهیمــی خ.، رزمآرا م.، کـریمپـور م.ح.، "مطالعات ژئوشیمیایی کانسارهای کرومیتی و پتانـسیل معـدنی سنگهای افیولیتی و پست افیولیتی منطقه چامیابو"، پایاننامـه کارشناسی ارشـد، گـرایش زمـینشناسی اقتـصادی، دانـشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم یایه(۱۳۸۲).

[۲] سیاران م.، ابراهیمی خ.، مؤذن م.، وطن پور ح.ر.، *"بررسی کاربرد کرومیتی چشمه پلنگ سبزوار (با نگرشی ویژه بر کاربرد صنعتی آن)* ، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی،

گرایش زمینشناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز، دانـشکده علـوم طبیعی(۱۳۸۶).

[3] Stowe C.W., *"Evolution of Chromium ore fields"*, NewYork, Van Nostrund 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 ltramafic 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 deposita", (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",

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.,

"Podifrom 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 Crrich 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 Lamount 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 subsulidus reequilibation", 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 Grenvile 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

١٨٢

[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-ÉTÉ", 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] مر ف.، قاسمی ک.، *"رئوشیمی کرومیتهای آمیزه افیونی اسر ف.*، قاسمی ک.، *"رئوشیمی کرومیتهای آمیزه انجم*ن *افیولیتی بافت و ادخالهای جامد همراه"*، اولین همایش انجمن زمین شناسی 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.