

# ارزیابی فراوانی و تغییرات عناصر پلاتینیوم و پالادیوم در کانی‌های پیروکسن و کرومیت پیروکسنیت‌های منطقه نیریز

مرضیه بازآمد<sup>۱</sup> و حسن میرنژاد<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۳

## چکیده

افیولیت نیریز واقع در استان فارس که در کرتاسه پایانی و در اثر بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد صفحه عربستان با صفحه ایران زمین تشکیل شده است، دارای پتانسیل‌های فراوان معدنی بخصوص کرومیت می‌باشد. پیروکسنیت یکی از واحدهای اصلی تشکیل‌دهنده این افیولیت بوده و تجزیه ریزکاوش الکترونی (EMP) نشان می‌دهد کلینوپیروکسن (دیوپسید)، ارتوپیروکسن (انستاتیت) و الیوین (کریزولیت) غالبترین کانی‌های آن می‌باشند. فراوانی  $\text{TiO}_2$  و  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MgO}$  در کرومیت‌های موجود در پیروکسنیت‌های نیریز تطابق خوبی با کرومیت‌های تیپ انبانی<sup>۱</sup> دارند و از ماگمایی با ترکیب بونینیتی دارای  $\text{Cr}\# (100 \text{ Cr}/(\text{Cr}+\text{Al}))$  بالا و  $\text{TiO}_2$  پائین منشأ گرفته‌اند. نتایج داده‌های حاصل از تجزیه طیف‌سنج جرمی- پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-MS) به روش آماده‌سازی آذر محک نشانگر غنی‌شدگی عناصر گروه پلاتین در توده افیولیتی نیریز نسبت به گوشته اولیه است. به‌علاوه تمرکز پلاتینیوم و پالادیوم در کرومیت‌های موجود در پیروکسنیت‌ها نسبت به کانی‌های پیروکسن بالاتر می‌باشد. به‌طور کلی میزان این عناصر در پیروکسنیت‌های نیریز بسیار کمتر از حد اقتصادی (۵ ppm) است.

واژه‌های کلیدی: افیولیت، پیروکسنیت، عناصر گروه پلاتین، نیریز

## مقدمه

متمرکز می‌شوند (Proenza et al., 2008). عناصر گروه پلاتین (Ru, Os, Ir) به دو گروه شامل عناصر کمتر محلول یا IPG (Pt, Pd, Rh) تقسیم‌بندی می‌شوند (Barnes and Francies, 1995). این عناصر که در سیر تکاملی و شکل‌گیری کره زمین در سنگ‌های مافیک و اولترامافیک تمرکز می‌یابند، در طول فرآیندهای دگرگونی، دیاژنز، دگرسانی و هوازدهی غیرمتحرک بوده و کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرند. از این رو، مهم‌ترین محیط زمین‌شناسی برای پی‌جویی و اکتشاف عناصر گروه پلاتین سنگ‌های مافیک و اولترامافیک هستند. مقدار

عناصر گروه پلاتین شامل شش فلز پلاتینیوم (Pt)، پالادیوم (Pd)، رودیوم (Ru)، ایریدیوم (Ir)، روتنیوم (Rh) و اسمیوم (Os) هستند که همگی خواص فیزیکی و شیمیایی یکسانی داشته و در محیط‌های زمین‌شناسی مشابه یافت می‌شوند و تا حدودی خاصیت جانمایی با یکدیگر را دارند. این عناصر در ترکیب پوسته جامد زمین بسیار نادر بوده و از نظر ژئوشیمیایی دارای خواص سیدروفیل و کالکوفیل هستند که در فازهای سولفیدی تجمع می‌یابند و در بلورهای کرومیت و زمینه سیلیکاته به میزان کمتری

\* نویسنده مرتبط hmirnejad@ut.ac.ir

صورت پذیرفته است. پیروکسن‌ها و کرومیت‌های موجود در آن‌ها برای تعیین غلظت عناصر Pt و Pd به روش طیف‌سنجی جرمی - پلاسمای جفت شده القایی ICP-MS با آماده سازی آذر محک در آزمایشگاه علوم زمین واقع در شهر سادبوری کشور کانادا آنالیز شدند.

### سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری

بخش‌های تشکیل‌دهنده الترامافیک‌های نیریز شامل هارزبورژیت، پیروکسنیت، لرزولیت سرپانتینی شده، الیوین پیروکسنیت و دونیت به شدت تجزیه شده می‌باشند. تمام کانی‌های سازنده این سنگ‌ها دارای مقادیر متغیری از الیوین، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن، سرپانتین و کانی‌های اپاک هستند. شدت دگرسانی در دونیت‌ها زیاد است و همچنین حاشیه و محل شکستگی الیوین‌های موجود در آن‌ها به سرپانتین تجزیه شده‌اند. بلورهای الیوین سرپانتینی شده، حواشی گرد شده دارند در حالی که قطعات نسبتاً سالم الیوین غالباً زاویه‌دار هستند. در نمونه‌های حاوی پیروکسن فراوانتر، شدت سرپانتینی شدن کمتر از نمونه‌های با محتوای بالای الیوین است.

ارتوپروکسنیت‌ها که در نمونه دستی به رنگ‌های قهوه‌ای تا برنزی دیده می‌شوند غالباً از ارتوپروکسن به همراه ذرات کرومیت به صورت افشان تشکیل یافته اند (شکل ۲ الف). مطالعه میکروسکوپی این نمونه‌ها نشان می‌دهد که کانی‌های تشکیل دهنده ارتوپروکسنیت‌ها به ترتیب فراوانی شامل ارتوپروکسن (۷۵ درصد)، کرومیت (۱۱ درصد)، کلینوپروکسن (۸ درصد)، الیوین (۴ درصد) و کانی‌های دیگر (۲ درصد) می‌باشند. بافت سنگ‌ها گرانولار و در بعضی موارد ارتوپروکسن‌ها دارای تیغک‌هایی از کانی‌های کلینوپروکسن هستند (شکل ۳ الف). کانی‌های ارتوپروکسن، به‌خصوص از حاشیه و در امتداد شکستگی‌ها به کانی‌های ثانویه و عمدتاً باستیت تجزیه می‌شوند. بیشتر الیوین‌ها نیز تحت تاثیر دگرسانی در حال تجزیه به سرپانتین هستند و خاموشی موحی نشان می‌هند. کرومیت‌ها معمولاً یا به صورت خود شکل و پراکنده در متن سنگ و یا بصورت اجتماعی از بلورهای ریز مشاهده می‌شوند. اکسیدهای آهن در داخل شکستگی‌ها متمرکز بوده و احتمالاً در هنگام پدیده سرپانتینی شدن به وجود آمده‌اند.

کلینوپروکسنیت‌ها که به رنگ سبز هستند حاوی کانی‌های کلینوپروکسن به اندازه ۲-۳ میلیمتر می‌باشند (شکل ۲ ب) در این سنگ‌ها علاوه بر کلینوپروکسن (۷۶ درصد)، کانی‌های ارتوپروکسن (۱۰ درصد)، پلاژیوکلاز (۷ درصد) و الیوین (۵ درصد) و کانی‌های فرعی (۲ درصد) نیز به ترتیب فراوانی وجود دارند. کلینوپروکسن نیمه شکل‌دار و درشت می‌باشد (شکل ۳ ب) و حاشیه کانی‌های الیوین این سنگ‌ها به ایدنگست دگرسان شده‌اند.

مطالعه مقاطع نازک صیقلی در نور انعکاسی نشان می‌دهد

عناصر گروه پلاتین در سنگ‌های آذرین فلسیک و دگرگونی در محدوده کمتر از قسمت در میلیارد<sup>۱</sup> و در سنگ‌های مافیک و الترامافیک تقریباً ۱۰ قسمت در میلیارد در تغییر است. عیار عناصر گروه پلاتین در یک کانسار دارای ارزش اقتصادی بین ۵ تا ۱۰ قسمت در میلیون<sup>۲</sup> می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق پتانسیل یابی عناصر پلاتینیوم و پالادیوم در پیروکسنیت‌های نیریز، بررسی میزان تمرکز آن‌ها در پیروکسن یا کرومیت پیروکسنیت‌ها و همچنین تعیین نوع تیپ و منشا کرومیت در پیروکسنیت‌های منطقه نیریز است.

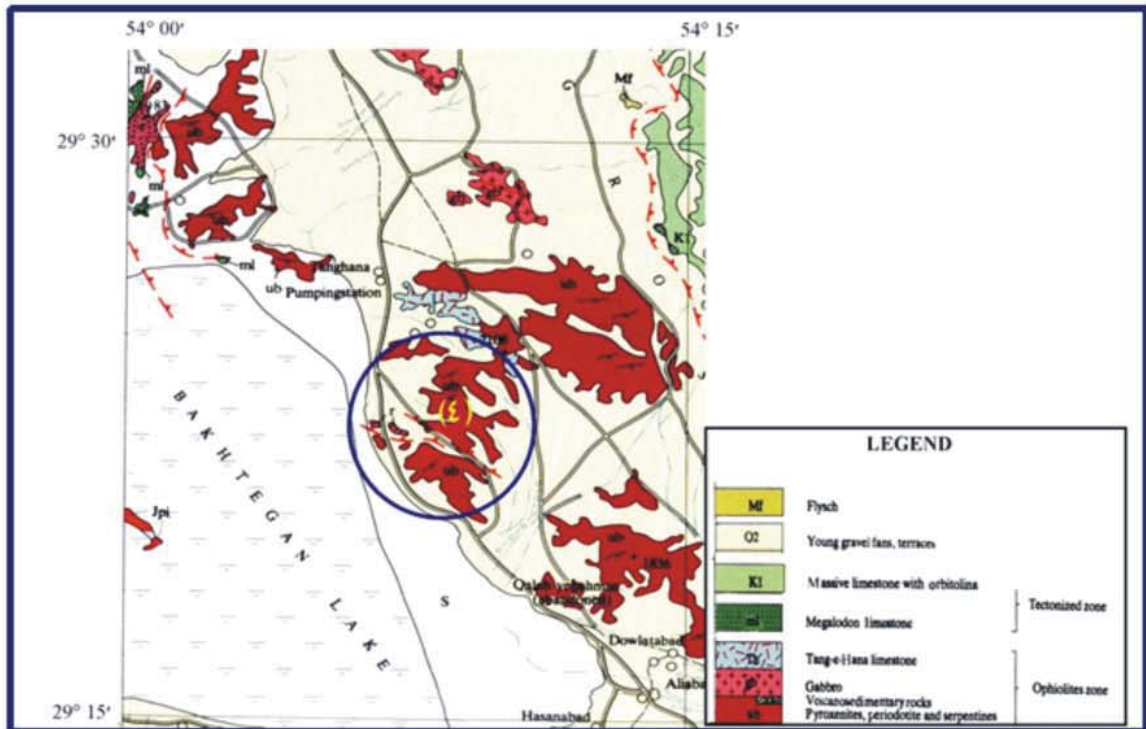
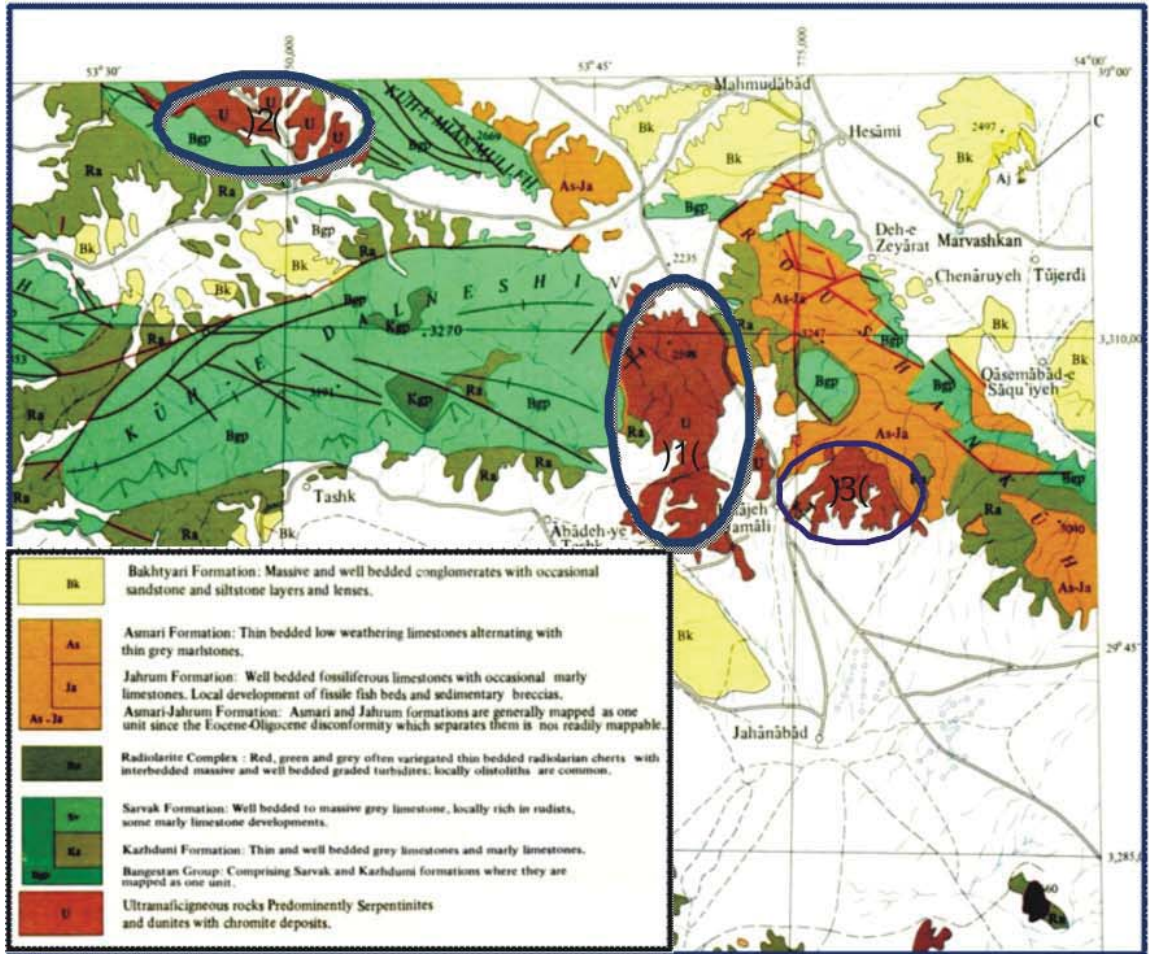
### زمین‌شناسی منطقه

افیولیت نیریز با روند شمال غربی - جنوب شرقی قسمتی از لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس بوده و در یک نوار به طول ۱۰۰ کیلومتر و عرض متوسط ۱۴ کیلومتر به صورت تکه‌های جداگانه از شمال نیریز تا شمال‌غرب کوه دال‌نشین امتداد دارد (آق‌نابتی، ۱۳۸۳). مناطق مورد بررسی در این تحقیق، بخش‌های افیولیتی خواجه جمالی، تنگ حنا، دروازه چنار و کشتک می‌باشند (شکل ۱ الف و ب). مجموعه افیولیتی نیریز از پائین به بالا شامل بخش تکتونیت (هارزبورژیت، لرزولیت، دونیت)، زون انتقالی (سنگ‌های مافیک و الترامافیک بین لایه‌ای) و توالی پوسته‌ای (گابروی ایزوتروپ، دایک‌های ورقه‌ای، گدازه‌های بالشی، و رادیولاریت) است (Sarkarinejad, 2003). این افیولیت بر روی سازند پیچگون رانده شده و در بالای این سازند، توالی گوشته‌ای قرار گرفته است (Babaie et al., 2001). الترامافیک‌ها حدود ۹۰% مجموعه افیولیتی خواجه جمالی را تشکیل می‌دهند که هارزبورژیت، دونیت، پیروکسنیت‌ها و کرومیت‌ها را شامل می‌شوند اما در تنگ حنا بخش‌های مافیکی گسترش بیشتری نسبت به بخش‌های الترامافیکی دارند. در دروازه چنار پیروکسنیت، دونیت سرپانتینی شده، هارزبورژیت و کرومیت از واحدهای سنگی اصلی در منطقه می‌باشند، اما در منطقه کشتک دونیت سرپانتینی شده سنگ‌شناسی غالب را تشکیل می‌دهد. بخش‌های کرومیت در توده افیولیتی نیریز غالباً با پریدوتیت‌ها و ارتوپروکسنیت‌ها همراه می‌باشند و بافت توده‌ای و پوست پلنگی دارند.

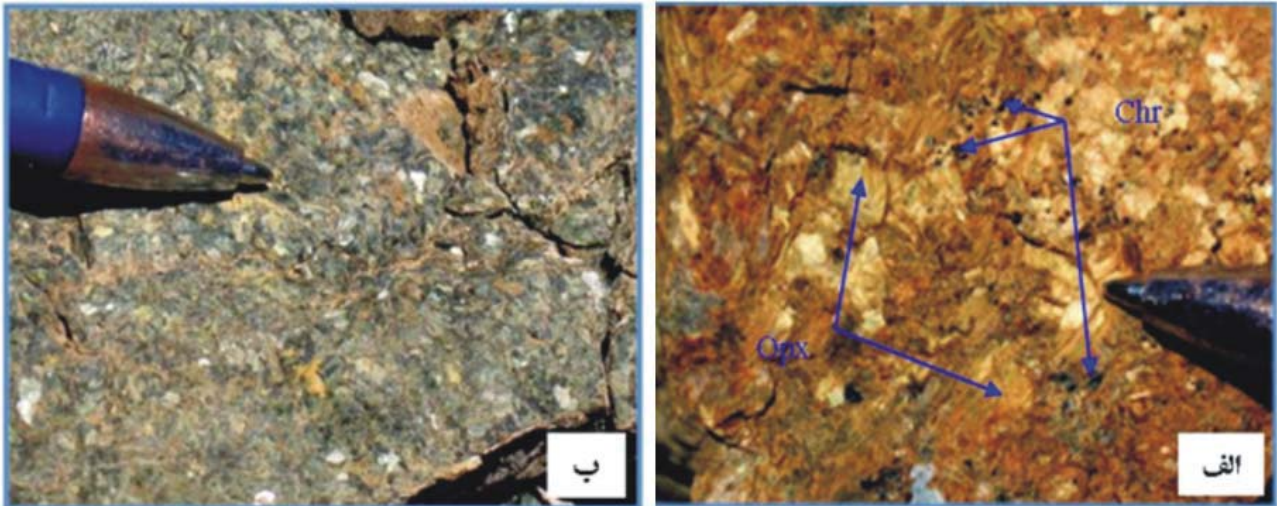
### روش مطالعه

برای تحقق اهداف پروژه پس از نمونه‌برداری از انواع پیروکسنیت‌ها و کرومیت‌های موجود در آن‌ها و تهیه مقاطع نازک - صیقلی و انجام مطالعات پتروگرافی به منظور تعیین شیمی کانی‌ها، تعداد ۱۵ نقطه از پیروکسن‌ها و ۱۰ نقطه از کرومیت‌ها در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه کارلتون کشور کانادا مورد تجزیه ریزکاوش الکترونی (EMP) قرار گرفتند. مقادیر  $FeO$  و  $Fe_2O_3$  پس از اندازه‌گیری آهن کل توسط EMP، بر پایه استوکیومتری اسپینل برآورد گردید. محاسبات کاتیونی و تعیین نوع پیروکسن‌ها با استفاده از نرم افزار Minpet و بر اساس شش اتم اکسیژن

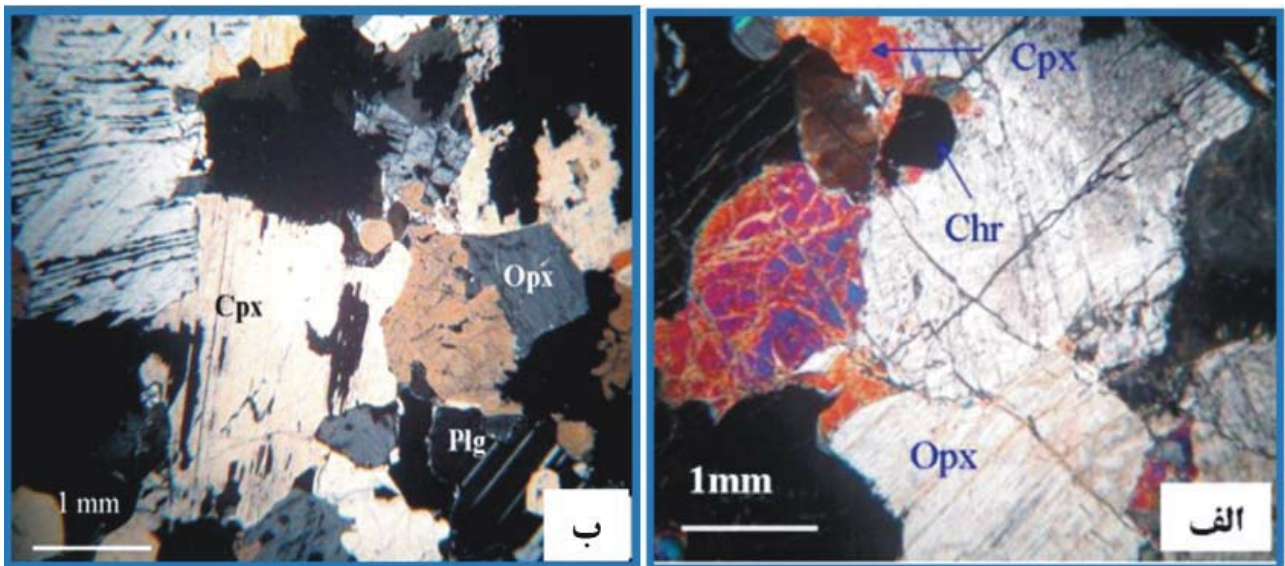
1. ppb  
2. ppm



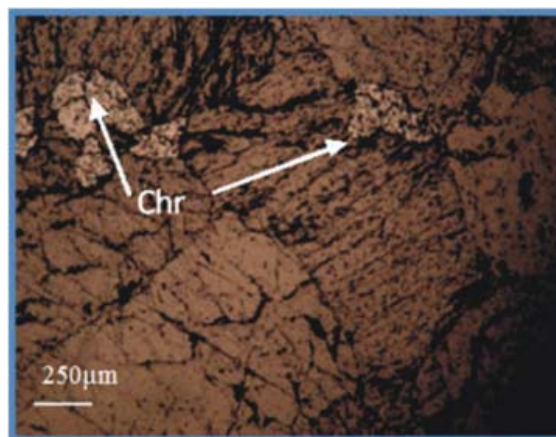
شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه نیریز، الف) (۱) خواجه جمالی، (۲) تنگ حنا و (۳) کشتک (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ شیراز، شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۹). ب) (۴) ناحیه دروازه چنار (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ نیریز، شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۸۵).



شکل ۲. الف) رگه ارتوپیروکسنیتی حاوی دانه‌های کرومیت (Chr) و ارتوپیروکسن (Opx)، ب) کلینوپیروکسنیت (علائم اختصاری کانی‌ها برگرفته از Whitney and Evans, 2010).



شکل ۳. الف) کانی‌های ارتوپیروکسن (Opx)، کلینوپیروکسن (Cpx) و کرومیت (Chr) در ارتوپیروکسنیت منطقه نیریز، ب) کانی‌های ارتوپیروکسن (Opx)، کلینوپیروکسن (Cpx) و پلاژیوکلاز (Plg) در کلینوپیروکسنیت‌های منطقه نیریز (علائم اختصاری کانی‌ها برگرفته از Whitney and Evans, 2010).



شکل ۴. بلورهای کرومیت (Chr) در نور انعکاسی.

که بیش از ۸۵ درصد کانی‌های اپاک موجود در پیروکسنیت‌ها، کرومیت می‌باشند. کرومیت‌ها بصورت نیمه شکل تا شکل دار، به رنگ خاکستری و بدون رخ دیده می‌شوند و دارای شکستگی می‌باشند (شکل ۴).

ارائه شده است. میزان MgO الیون‌ها بالا، ترکیب آنها کریزولیت (جدول ۳ و شکل ۶) و فرمول ساختاری آنها  $(Mg_{0.92}, Cr_{0.02}, Al_{0.06})(Si_{1.96}, Al_{0.04})_2O_6$  می‌باشند. مقدار انستاتیت‌ها در ارتوپروکسنیت‌های نیریز بین ۸۴/۴ تا ۹۱/۳ بوده و دارای ترکیب میانگین  $(En_{87.6} Wo_{1.5} Fs_{11})$  و فرمول شیمیایی ارتوپروکسن‌ها  $(Si_{1.94}, Al_{0.06})_2O_6$   $(Mg_{1.7}, Fe_{0.2}, Ca_{0.03})_2$  هستند. در جدول ۳ نتایج تجزیه ریزکاوش الکترونی کانی‌های الیون در جدول ۳ شده است. میزان MgO الیون‌ها بالا، ترکیب آنها کریزولیت (جدول ۳ و شکل ۶) و فرمول ساختاری آنها  $(Mg_{0.85} Fe_{0.15})_2(SiO_4)$  می‌باشد.

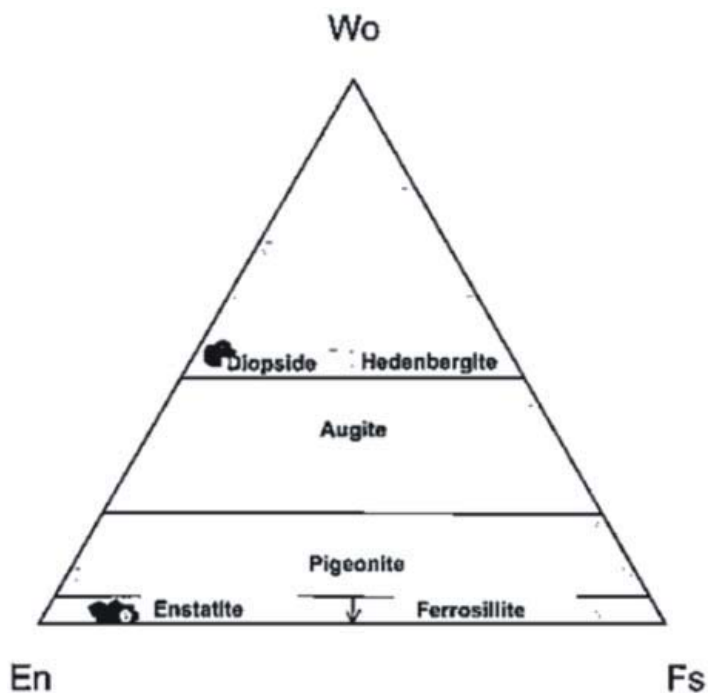
نتایج حاصل از تجزیه EMP نیز وجود کرومیت در پیروکسنیت‌ها را ثابت کرده است (جدول ۴). میزان اکسید کروم کرومیت‌ها بسیار بالاست و موقعیت محدوده ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها را می‌توان با ترسیم نقاط بر روی نمودار A.C.F نمایش داد (شکل ۷).

جدول ۱. ترکیب شیمیایی ارتوپروکسن‌ها در پیروکسنیت نیریز (مقادیر برحسب درصد وزنی می‌باشند).

Descrip.	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
Na <sub>2</sub> O	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳
CaO	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۶۴	۱/۰۷
FeO	۶/۱۱	۶/۲۳	۵/۷۷	۶/۴۵	۵/۱۶	۸/۹۸	۷/۸۸	۷/۴۳	۶/۰۲
MgO	۳۴/۱۲	۳۵/۷۶	۳۴/۵۱	۳۳/۹۸	۳۵/۷۳	۳۱/۶۳	۳۳/۵۵	۳۴/۲۱	۳۳/۵۹
TiO <sub>2</sub>	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰
MnO	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۶۲	۰/۸۲	۰/۴	۰/۲۱	۱/۵۹	۱/۹۶	۱/۸۶	۱/۶	۰/۷۳
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۴۷
SiO <sub>2</sub>	۵۸/۱۵	۵۶/۴۱	۵۹/۱۱	۵۸/۴۱	۵۷/۱۵	۵۶/۴۹	۵۵/۹۷	۵۵/۵۴	۵۸/۰۸
Total	۱۰۰/۰۶	۱۰۰/۰۶	۱۰۱/۰۱	۱۰۰/۰۲	۱۰۰/۰۸	۱۰۰/۰۶	۱۰۰/۷۰	۱۰۰/۱۰	۱۰۰/۲۰
TSi	۱/۹۹	۱/۹۲	۲/۰۲	۲/۰۲	۱/۹۴	۱/۹۶	۱/۹۳	۱/۹۲	۱/۵۴
TAl	۰/۰۱	۰/۰۳	۰	۰	۰/۰۶	۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۲
M <sub>1</sub> Al	۰/۰۲	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰	۰	۰
M <sub>1</sub> Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
M <sub>1</sub> Cr	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
M <sub>1</sub> Mg	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۴۳	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
M <sub>2</sub> Mg	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۸۳	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۳۴
M <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub>	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۲۱	۱۳۴/
M <sub>2</sub> Mn	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴
M <sub>2</sub> Ca	۰/۰۳۵	۰/۰۳۲	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴	۰/۹۵۶
M <sub>2</sub> Na	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
Sum_cat	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

جدول ۲. ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها در پیروکسنیت نیریز (مقادیر برحسب درصد وزنی می‌باشند).

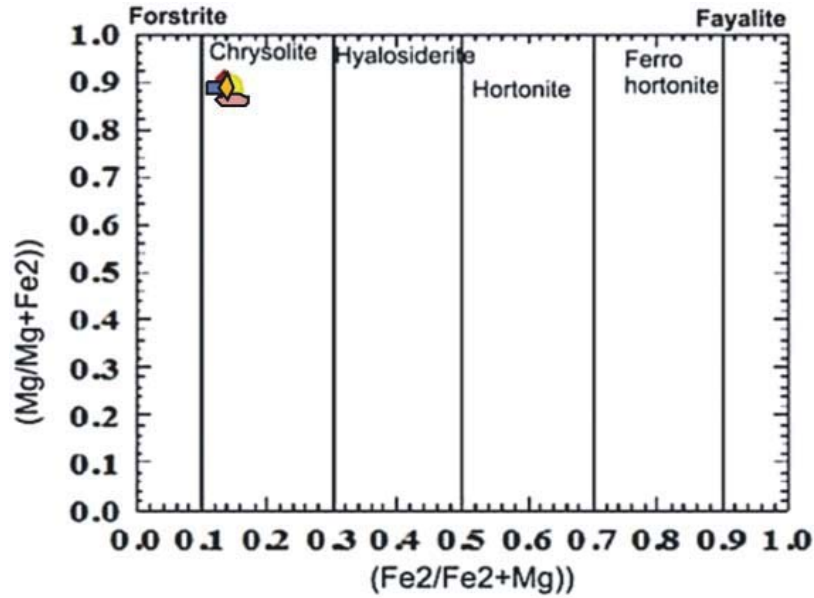
Descrip.	۱	۲	۳	۴	۵	۶
Na <sub>2</sub> O	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳
CaO	۲۳/۱۸	۲۳/۰۲	۲۲/۹۱	۲۳/۹	۲۳/۰۱	۲۲/۰۸
FeO	۳/۲۶	۳/۰۴	۳/۱۹	۳/۱۴	۳/۵۲	۳/۲۹
MgO	۱۶/۸۹	۱۶/۷۹	۱۶/۹۲	۱۶/۶۹	۱۷/۰۲	۱۶/۹۵
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۹
MnO	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۰۹
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲/۰۹	۲/۲۶	۲/۳۲	۲/۴۳	۲/۴۳	۲/۳۸
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۶
SiO <sub>2</sub>	۵۳/۸۷	۵۴/۱۵	۵۴/۱۲	۵۳/۵۶	۵۳/۵۶	۵۳/۸۲
Total	۱۰۰/۲	۱۰۰/۱۱	۱۰۰/۳۹	۹۹/۶۲	۱۰۰/۵۵	۱۰۰/۱۴
TSi	۱/۹۶	۱/۹۷۲	۱/۹۶۵	۱/۹۶	۱/۹۴۲	۱/۹۵۸
TAl	۰/۰۴	۰/۰۲۸	۰/۰۳۵	۰/۰۴	۰/۰۵۸	۰/۰۴۲
M <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	۰/۰۵	۰/۰۶۹	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۴۵	۰/۰۶
M <sub>1</sub> Ti	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
M <sub>1</sub> Cr	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
M <sub>1</sub> Mg	۰/۹۱۶	۰/۹۱۱	۰/۹۱۶	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۱۹
M <sub>2</sub> Mg	.	.	.	.	.	.
M <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub>	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۶	۰/۰۹	۰/۰۹۲	۰/۰۹۹
M <sub>2</sub> Mn	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳
M <sub>2</sub> Ca	۰/۹۰۴	۰/۸۹۸	۰/۸۹۱	۰/۸۹۸	۰/۸۹۴	۰/۸۸۹
M <sub>2</sub> Na	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹
Sum_cat	۴	۴	۴	۴	۴	۴



شکل ۵. کلینوپیروکسن‌های منطقه نیریز از دیوپسید و ارتوپیروکسن‌ها از انستاتیت غنی می‌باشند.

جدول ۳. ترکیب شیمیایی البوین در پیروکسنیت‌های نیریز (مقادیر برحسب درصد وزنی می‌باشند).

Descrip.	۱	۲	۲	۴	۵
Na <sub>2</sub> O	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۶
CaO	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۵	۰/۰۹
FeO	۱۴/۶۱	۱۲/۹۱	۱۳/۴۱	۱۳/۸۸	۱۴/۳
MgO	۴۴/۸۳	۴۵/۳۲	۴۵/۱	۴۴/۹	۴۵/۳
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
MnO	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۳
SiO <sub>2</sub>	۴۰/۳	۴۰/۳	۴۱/۱	۴۰/۷	۳۹/۹
Total	۱۰۰/۰۴	۹۹/۰۲	۱۰۰/۰۲	۱۰۰/۰۴	۹۹/۹۶
Si	۱/۰۰۸	۱/۰۱۱	۱/۰۱	۱/۰۱۳	۱/۰۱
Fe <sub>2</sub>	۰/۳۰۶	۰/۲۷۱	۰/۲۸	۰/۲۷۸	۰/۳۱
Mg	۱/۶۷۲	۱/۶۹۵	۱/۶۸	۱/۶۸	۱/۶۷۵
Mn	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
Ca	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
Na	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
Sum_cat	۲/۹۹۳	۲/۹۹	۲/۹۸	۲/۹۸۴	۳/۰۰۵



شکل ۶. ترکیب الیون های منطقه نیریز در محدوده کانی کریزولیت قرار دارد.

جدول ۴. ترکیب شیمیایی کرومیت های موجود در پیروکسینت های نیریز، (مقادیر برحسب درصد وزنی می باشند).

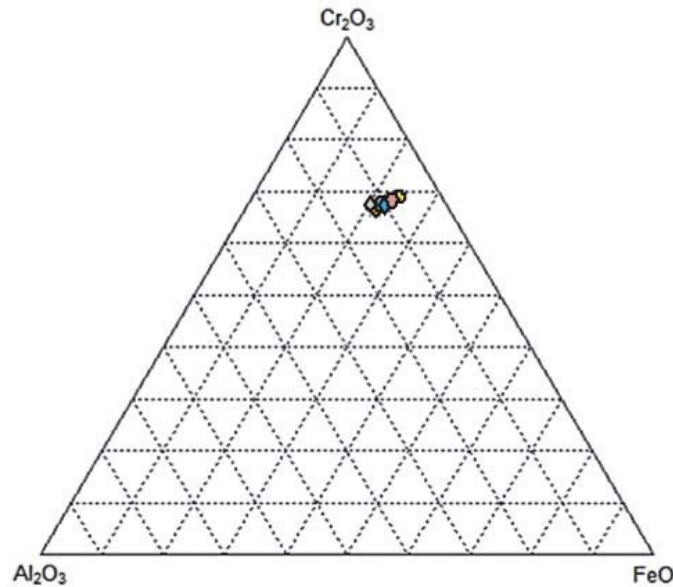
Sample	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
MgO	۹/۷۲	۹/۶۸	۹/۱۸	۹/۰۴	۷/۷۷	۹/۵۰	۹/۹۶	۱۰/۰۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷/۴۹	۷/۴۸	۷/۷۶	۸/۸۵	۵/۴۵	۷/۶۱	۱۰/۶۴	۱۰/۸۷
FeO	۲۱/۸۳	۲۱/۷۷	۲۲/۵۶	۲۲/۷۵	۲۱/۵۴	۲۱/۸۲	۱۸/۹۳	۱۹/۰۱
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶۰/۲۵	۶۰/۹۹	۶۰/۱۷	۵۸/۹۹	۵۸/۵۴	۶۰/۲۱	۵۹/۸۰	۵۹/۱۰
MnO	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۲۰
TiO <sub>2</sub>	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶
Al	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۳	۰/۴۱	۰/۴۲
Ti	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱
Fe <sub>2</sub>	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۵۰
Fe <sub>3</sub>	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۳
Cr	۱/۵۹	۱/۶۱	۱/۵۹	۱/۵۵	۱/۶۸	۱/۶	۱/۵۶	۱/۵۵
Mn	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Mg	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۴۹
sum Cat.	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
Mg#	۵/۴۹	۵/۴۸	۵/۴۶	۵/۴۵	۴/۴۲	۵/۴۸	۵/۴۹	۵/۴۹
Cr#	۸۴	۸۵	۸۴	۸۲	۸۸	۸۴	۷۹	۷۸

No. of atoms, O = 4

Cr# = 100 Cr/(Cr+Al)

Mg# = 100 Mg/(Mg+Fe+2)





شکل ۷. موقعیت کرومیت موجود در ارتوپروکسنیت‌های نیریز در دیاگرام  $Al_2O_3$ - $Cr_2O_3$ - $FeO$ .

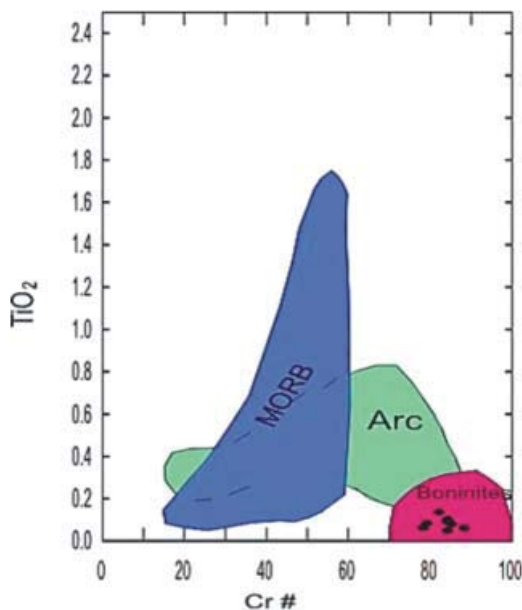
### بحث

#### تقسیم‌بندی کانسارهای گروه پلاتین

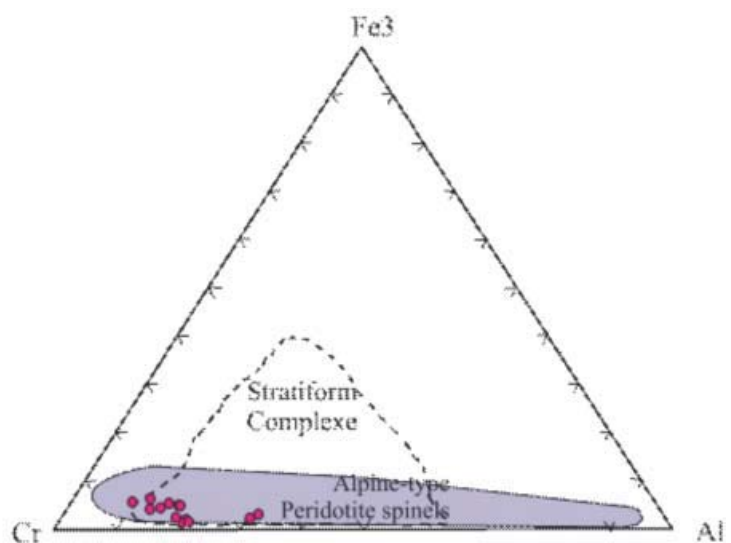
کانسارهای گروه پلاتین در چهار گروه اصلی قرار می‌گیرند: (۱) کانسارهای ماگمایی: کانسارهای ماگمایی  $Cu$  و  $Ni$  و PGE در توده‌های ماگمایی مافیک و یا الترامافیک تشکیل شده و در نتیجه فرایندهای تبلور، تفریق و تمرکز بوجود می‌آیند (Eck-strand, 2005). این کانسارها خود به دو گروه تقسیم می‌شوند: (۱) کانسارهای غنی از سولفور که از نیکل و مس غنی بوده و

ترکیب شیمیایی این کرومیت‌ها  $(Cr_{1.55}, Mn_{0.01}, Fe_{0.52}, Mg_{0.47})_2O_4$ ، نسبت  $Cr/Fe$  بین ۲/۴۵ تا ۲/۹۵ و میانگین میزان  $Cr\#$  4/81 می‌باشد.

کرومیت‌های موجود در پروکسنیت‌های نیریز، میزان  $Al_2O_3$  پائین (حدوداً ۷٪)،  $Cr_2O_3$  بالا (میزان تقریبی ۶۰٪) و کم  $Fe$  و میزان اکسید تیتانیوم پائین دارند. تیپ کرومیت‌های این منطقه آلپی (شکل ۸) و از ماگمایی با ترکیب بونینیتی به‌وجود آمده‌اند (شکل ۹).



شکل ۹. کرومیت‌های نیریز در محدوده ترکیب بونینیتی واقع می‌شوند ( نمودار برگرفته از Page et al., 2008 ).



شکل ۸. کرومیت‌های منطقه نیریز به تیپ آلپی تعلق دارند ( نمودار برگرفته از Cookenboo et al., 1997 ).

کرومیت می‌دانند (Naldrett and Cabri, 1996).  
 ۲. در فرضیه دوم این کانه‌ها از ماگما متبلور شده‌اند و به هنگام تبلور کرومیت به صورت مکانیکی در آن به دام افتاده‌اند. بالا رفتن فشار بخشی اکسیژن باعث آزاد شدن آهن موجود در کانه‌های گروه پلاتین و ورود آن به ساختار کانی‌های دیگر گشته و در نتیجه کانه‌های PGE از عناصر گروه پلاتین غنی می‌گردند (Auge, 1988).  
 ۳. در فرضیه سوم عناصر گروه پلاتین متحرک شده و در اثر یک پدیده هیدروترمال، تبلور و تمرکز آنها انجام می‌شود. این پدیده بیشتر به هنگام سرپانتینی شدن صورت می‌گیرد (Stumpfi and Tarkian, 1976).

در جدول ۵ غلظت عناصر گروه پلاتین، طلا، نیکل، مس و سولفور در معادن مختلف تیپ‌های اصلی کانساری (Cameron et al., 2005) و در گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) برای مقایسه با پیروکسنیت‌های منطقه نیریز آورده شده است.

### کانی‌سازی Pt و Pd در نیریز

همان‌گونه که از جدول ۶ پیداست میزان پلاتینیوم در سنگ‌های الترامافیک توده افیولیتی نیریز بالاتر از میزان پالادیوم است و همچنین میزان پلاتینیوم و پالادیوم در دانه‌های کرومیت پیروکسنیت‌ها، بیشتر از میزان این عناصر در کانی‌های پیروکسن پیروکسنیت‌ها می‌باشد. بالاترین میزان مجموع پلاتینیوم و پالادیوم را منطقه دروازه‌چنار با میانگین ۱۱۳ ppb (پلاتینیوم در کرومیت

عناصر گروه پلاتین محصول فرعی این دسته می‌باشند. بنظر می‌رسد که این کانسارها مقادیر فراوان گوگرد خود را از آلودگی با سنگ‌های دیواره پوسته‌ای غنی از سولفور به دست آورده باشند. ۲) کانسارهای فقیر از سولفور که عناصر گروه پلاتین ارزش اقتصادی بالاتری از محتوای نیکل و مس داشته و بعنوان کانسارهای PGE شناخته می‌شوند. به نظر می‌رسد مقادیر کم سولفور آن‌ها از اجزای اصلی ماگمای اولیه باشد.

۲) کانسارهای رسوبی: کانسارهای رسوبی Cu، Ni و PGE دو تیپ مجزای انباشت‌های پلاستی و شیل‌های سیاه سولفیدی دارند (Eckstrand, 2005).

۳) کانسارهای هیدروترمال: این گروه از کانسارها، محیط‌های ته‌نشینی متنوعی را شامل می‌شوند و فلزات حمل شده در رگه‌ها، حفره مانده‌ها و یا اشکال جایگزینی رسوب می‌کنند (Eckstrand, 2005).

۴) لاتریت‌ها: کانسارهای لاتریتی Ni و Co در مقاطع عمیق هوازده رخ می‌دهند و در پریدوتیت‌های غنی از الیوین در مناطق آب و هوایی مرطوب استوایی یا نیمه استوایی توسعه پیدا کرده‌اند (Eckstrand, 2005).

در مورد منشأ کانه‌های PGE‌ها اظهار نظرهای مختلفی شده است که مهمترین آن‌ها را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۱. در فرضیه اول، براساس هم‌خوانی بسیار مشخص مقادیر Ir، Ru و Os با عنصر Cr در کرومیت‌ها، کانه‌های گروه پلاتین را محصول نوعی برون رانش عناصر گروه پلاتین از درون شبکه

جدول ۵: فراوانی Au، Ni، Cu، PGE و S در تیپ‌های اصلی کانسارهای PGE و در گوشته اولیه.

Locality	Os (ppb)	Ir (ppb)	Ru (ppb)	Rh (ppb)	Pt (ppb)	Pd (ppb)	Au (ppb)	Ni %	Cu %	S %
Primitive Mantle	۳/۴	۳/۲	۵	۰/۹	۷/۱	۳/۹	۱	۰/۱۹۶	۰/۰۳	۰/۰۳
Sulfide-Poor Mineralization										
UG2	۹۸	۱۲۳	۶۲۹	۳۶۳	۲۵۵۸	۱۸۵۰	۱۷۴	۰/۱۴۶	۰/۱۷۳	۰/۴۵
Merensky	۶۳	۷۴	۴۳۰	۲۴۰	۳۶۶۰	۱۵۳۰	۳۱۰	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۴۲
Great Dyke	۶۳	۱۱۰	۳۶۰	۳۸	۱۲۸	۱۵۶۰	۲۱	۰/۱۴۱	-	۰/۰۲
Stillwater					۱۳۷۰	۸۹۰	۱۷۰	۰/۳۴	۰/۴۶	۱/۶
Lac des Iles	۱/۴	۰/۹۵	۳/۹	۲/۴	۵۴۲	۴۷۴۰	۴۷۰	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۶
Sulfide-Rich Mineralization Normalized to 100% sulfide										
Sudbury	۵	۸	۹	۱۹	۵۹۰	۵۱۱	۷۹	۳/۶	۲/۸	
Talnakh	۲۸۰	۲۰۰	۲۰۰	۵۲۰	۲۳۵۰	۹۹۸۰	۲۶۰	۴/۷۴	۳/۵۷	۳۱/۳
Lennon Shoot	۳۵۷	۱۹۷	۳۶۵	۲۱۲	۱۶۷۳	۱۸۹۹	۷۲۱۵	۴۹/۶	۱۲/۴	۳۶/۶
Suhanko	۲۰	۵۰	۴۴	۳۵۷	۱۵۰۶	۱۱۰۳۰	۱۰۰	۲	۰/۷۲	۲۵/۸
Pechenga	۶۴	۴۵	۱۱۲	۵۵	۳۵۹	۳۸۶	۱۲	۸/۹	۱/۹۴	۳۷/۴
Placer Weighted mean of cumulative production 1936 to 1972 (%)										
Goodnews Bay	۲/۲	۱۱/۳	۰/۲	۱/۳	۲/۸۲	۰/۴	۲/۴			

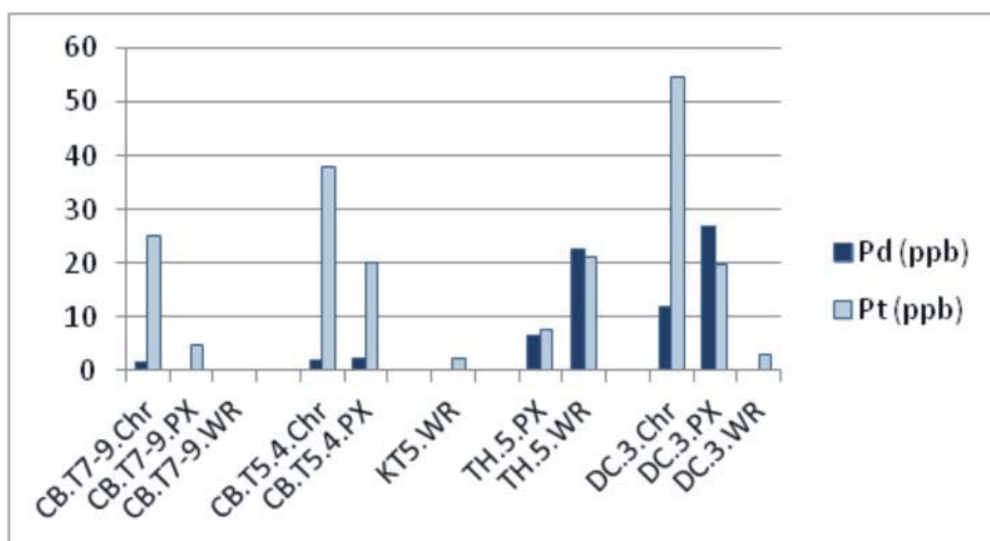
به میزان کمی غنی‌شدگی نشان می‌دهند. در منطقه دروازه چنار نیز همانند بقیه نواحی توده افیولیتی نیریز، غلظت‌های پلاتینیوم و پالادیوم اندک است و مقدار عنصر پلاتینیوم در کرومیت موجود در پیروکسینت این منطقه ۵۴ ppb و مقدار پالادیوم آن ۱۲ ppb می‌باشد. در کانی‌های پیروکسن برخلاف کرومیت‌ها میزان پالادیوم (۲۶/۷ ppb) بیشتر از پلاتینیوم (۱۹/۶ ppb) و در نمونه سنگ کل غلظت پلاتینیوم (<۱/۳ ppb) و پالادیوم (۳/۱ ppb) بسیار کمتر از کانی‌های پیروکسن و کرومیت است.

بخش کشتک از لحاظ عناصر گروه پلاتین بسیار فقیر و حتی میزان این عناصر از گوشته اولیه نیز کمتر می‌باشد. جمع پلاتینیوم و پالادیوم در سنگ کل به کمتر از ۵ ppb می‌رسد (جدول ۶).

و کانی‌های پیروکسن به ترتیب ۵۴/۷ و ۱۹/۶ و پالادیوم ۱۲ و ۲۶/۷ ppb) و کمترین این عناصر را منطقه کشتک (کمتر از ۵) داراست (شکل ۱۰). غلظت عنصر پلاتینیوم نمونه‌های منطقه چشمه‌بید در کرومیت جدا شده از پیروکسینت (۲۵/۲ ppb)، بالاتر از کانی‌های پیروکسن (۴/۷ ppb)، و سنگ کل پیروکسینت (۱/۳ ppb) می‌باشد (شکل ۱۰). غلظت پالادیوم، به استثنای کرومیت جدا شده از پیروکسینت (۱/۶ ppb)، غالباً کمتر از حد آشکارسازی دستگاه (۱/۳ ppb) است. در تنگ حنا غلظت Pt و Pd در نمونه پیروکسینت تقریباً ۲۲ ppb می‌باشد و در کانی‌های پیروکسن، این عناصر از فراوانی کمتری برخوردار هستند (به ترتیب ۷/۷ و ۶/۵) (شکل ۱۰). این عناصر نسبت به گوشته

جدول ۶. نتایج تجزیه ICP-MS به روش آذر محک کانی‌های کرومیت (Chr) و پیروکسن (Px) موجود در پیروکسینت‌ها و نیز سنگ کل (WR).

PGE concentrations by ICP-MS		Pd (ppb)	Pt (ppb)	Pt+Pd (ppb)
چشمه بید	Chromite	۱/۶	۲۵/۲	۲۶/۸
	Pyroxene	<۱/۳	۴/۷	
	Ultramafic rock	<۱/۳	۱/۳	
چشمه بید	Chromite	۱/۹	۳۷/۸	۳۹/۷
	Pyroxene	۲/۳	۲۰	۲۲/۳
کشتک	Ultramafic rock	<۱/۳	۲/۴	
تنگ حنا	Pyroxene	۶/۵	۷/۷	۱۴/۲
	Ultramafic rock	۲۲/۵	۲۱/۲	۴۳/۷
دروازه چنار	Chromite	۱۲	۵۴/۷	۶۶/۷
	Pyroxene	۲۶/۷	۱۹/۶	۴۶/۳
	Ultramafic rock	<۱/۳	۳/۱	



شکل ۱۰. نمودار میله‌ای که غلظت عناصر پلاتینیوم و پالادیوم را در نمونه‌های منطقه چشمه بید (CB)، تنگ حنا (TH)، دروازه چنار (DC) و کشتک (KT) نشان می‌دهد. (Chr: Chromite, Px: Pyroxenite, WR: Whole rock)

Asian Earth Sciences, 19, 61-76.

- Barnes, S.J., and Franceis, D., 1995. The distribution of platinum-group elements, nickel, copper and gold in the Muskox layered intrusion, Northwest Territories, Canada. *Economic Geology*, 90, 135-154.

- Cameron, E.M. and Hattori, K.H., 2005. Platinum-group element in Geochemical Exploration, in exploration for platinum-group elements deposits (J.E. Mungall). Short Course delivered on behalf of the Mineralogical Association of Canada in Oulu, Finland, 35, 287-307.

- Cookenboo, H.O., Bustin, R.M. and Wilks, K.R., 1997. Detrital chromian spinel compositions used to reconstruct the tectonic setting of provenance: implications for orogeny in the Canadian cordillera. *Journal of Sedimentary Research*, 67, 116-123.

- Eckstrand, O.R., 2005. Ni-Cu-Cr-PGE mineralization type: distribution and classification in exploration for platinum-group elements deposits (J.E. Mungall). Short Course delivered on behalf of the Mineralogical Association of Canada in Oulu, 35, 487-494.

- McDonough, W.F., and Sun, S.S., 1995. Composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120, 223-253.

- Naldrett, A.J., and Cabri L.J., 1996. Ultramafic and related mafic rocks: Their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfides and platinum-group element. *Economic Geology*, 71, 1131-1158.

- Page, P., Bedard, J.H., Schroetter, J.M. and Tremblay, A., 2008. Mantle petrology and mineralogy of the Thetford, Mines Ophiolite Complex. *Lithos*, 100, 255-292.

- Proenza, J.A., Zaccarini, F., Escayola, M., Cabana, C., Schalamuk, A., and Garuti, G., 2008. Composition and textures of chromite and platinum group minerals in western ophiolitic belt from Pamean Ranges of Cordoba, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 33, 32 - 48.

- Sarkarinejad, K., 2003. Structural and microstructural analysis of paleotransform fault zone in neyriz ophiolite, Iran. Geological Society of London Special Publication, 218, 129-145.

- Stumpfi, E.F. and Tarkian, M., 1976. Platinum genesis: new mineralogical evidence. *Economic Geology*, 71, 1451-1460.

- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.

لازم به تاکید است که جهت استخراج عناصر گروه پلاتین، فراوانی آن‌ها در توده معدنی بایستی بیشتر از ۵ ppm باشد در حالی که با توجه به جدول ۶، فراوانی Pt و Pd در بخش‌های مختلف منطقه نیریز در حد ppb و بسیار کمتر از میزان اقتصادی جهت استخراج می‌باشد.

تمایل عناصر گروه پلاتین به تمرکز در مذاب‌های غنی از سولفور، طی فرآیند نامیختگی مذاب‌های سیلیکاتی، اکسید و سولفوری بالا است و در حین تبلور ماگما زمانی که فشار بخشی گوگرد پایین باشد، می‌توانند در کانی‌های اکسیدی و سیلیکاتی توزیع یابند. مقادیر غلظت عناصر گروه پلاتین در نمونه‌های منطقه نیریز، نشان دهنده فشار بخشی پائین گوگرد، و تمرکز کم آن‌ها است.

### نتیجه گیری

تمرکز پلاتینیوم و پالادیوم در پیروکسنیت‌های نیریز کمی بالاتر از ترکیب گوشته اولیه و غلظت پلاتینیوم نسبت به پالادیوم بیشتر است، همچنین فراوانی پلاتینیوم و پالادیوم در کرومیت‌های جدا شده از سنگ‌های پیروکسنیت بیشتر از کانی‌های پیروکسن آن‌ها می‌باشد. این امر نشان‌دهنده آن است که در طول تبلور ماگما، عناصر گروه پلاتین در مذاب غنی از اکسید بیشتر از مذاب سیلیکاتی تمرکز می‌یابند.

کرومیت‌های موجود در پیروکسنیت‌های منطقه دارای میانگین ترکیب شیمیایی  $Mg_{0.47}, Fe_{0.52}, Mn_{0.01}(Cr_{1.59}, Al_{0.33})_{2O_4}$ ، نسبت Cr/Fe بالا (۲/۷)، #Cr بالا (بین ۷۸ تا ۸۸ با میانگین ۸۱)، #Mg (۴۹/۵-۴۲/۵) و اکسید تیتانیوم پائین (میانگین = ۰.۰۸ %  $TiO_2$ ) می‌باشند. مقدار بیشینه تمرکز Pt+Pd در کانی کرومیت از ارتوپروکسنیت‌های ناحیه دروازه چنار با ۶۶۷ ppb و مقدار کمینه آن‌ها در سنگ کل ناحیه کشتک ۴ ppb < است که کمتر از غلظت این عناصر در ترکیب گوشته اولیه است (مقادیر غلظت Pt و Pd در گوشته به ترتیب ۷ و ۴ ppb می‌باشند).

### منابع

- آقاناتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۶.
- شرکت ملی نفت ایران (۱۹۷۹) نقشه زمین‌شناسی شیراز، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.
- شرکت ملی نفت ایران (۱۹۸۵) نقشه زمین‌شناسی نیریز، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.
- Auge, T., 1988. Platinum-group minerals in the Tiebaghi and Vourinos Ophiolitic Complexes: genetic implications. *Canadian Mineralogist*, 26, 177-192.
- Babaie, H.A., Ghazi, A.M., Babaei, A., La Tour, T.E. and Hassanipak, A.A., 2001. Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros crush zone, Neyriz, Iran. *Journal of*