

# بررسی‌های سنگ شناسی - ژئوشیمیایی افیولیت سبزوار و ارائه<sup>۱</sup> مدل ژنتیکی - ریاضی برای لنزهای کرومیتی منطقه

مهرداد سلیمانی<sup>۱</sup>؛ اردشیر هزارخانی<sup>۲</sup>

## چکیده

زون افیولیتی سبزوار قسمتی از افیولیت های حلقوی ایران مرکزی محسوب می‌شود. وجود لنزهای کرومیتی فراوان بر اهمیت زمین شناسی منطقه افزوده است که به علت شرایط کوهستانی و عدم توانایی در ردیابی لنزهای پنهان، اغلب آنها اکتشاف نشده باقی مانده‌اند. یکی از راهکارهای مناسب، استفاده از مدل های انتزاعی ریاضی است. بدین منظور، ابتدا مطالعه کاملی در مورد سنگ شناسی و بویژه ژئوشیمی منطقه صورت می‌گیرد. پارامترهایی که در مدل به کار می‌روند دو نوع است: فاکتور ژنتیک بحرانی و معیار شناسایی بحرانی. با ترکیب خطی این دو نوع پارامتر، تابعی به دست می‌آید که واحد زمین‌شناسی امید بخش نام دارد. تابع خطی به دست آمده از نوع تابع احتمال است، بنابراین با استفاده از آنالیز ویژگی برای هر کدام از پارامترها اولویت قائل شده و برای آنها حد آستانه‌ایی تعریف می‌شود. با اجرای مدل برای منطقه، واحد زمین شناسی امید بخش به صورت یک فضای سه بعدی به دست می‌آید و اجتماع آن نقاطی است که بتواند حد آستانه‌ایی تعیین شده را ارضا کند. در نهایت، مدل آن دسته از مناطق و مشخصه‌هایی را که برای ادامه کار لازم و در اولویت هستند به ما معرفی می‌کند. بر این اساس، ادامه کار اکتشافی در این مناطق، قابل کنترل بوده و با هزینه کمتری انجام خواهد شد.

## کلمات کلیدی

افیولیت، لنز کرومیتی، فاکتور ژنتیک بحرانی، معیار شناسایی بحرانی، محدوده زمین شناسی امید بخش.

## *The Geochemistry and Petrology of Sabzevar Ophiolite Chromite and Representing a Mathematical-Genetic Model*

M. Soleimani, A. Hezarkhani

### ABSTRACT

There are many chromite pods in the Sabzevar ophiolite but the high topography and mountainous condition and inability to trace the hidden lenses, many of them are not explored yet. A mathematical-genetic model could be helpful to overcome the problem. So a very detailed investigation about the geology, mineralogy and petrology of the studied area has been done. The parameters that we need in the model are critical genetic factor (CGF) and critical reconnaissance criteria (CRC). Then with a linear combination of the factors, we have a function called intrinsic geological unit (IGU). By using characteristic analysis, the priority of each parameter would be defined. By running the model for Sabzevar area, a 3D space of lithological units would be highlighted which is called IGU. After running the program model, an area with a high precision of mineralization has been defined.

### KEYWORDS

Ophiolite, Critical genetic factor, Critical reconnaissance criteria, Intrinsic geological unit.

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Mehrdad\_Soleimani2005@yahoo.com

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Ardehez@cic.aut.ac.ir

این واحد که مشخصه رخساره آمفیبولیت حاصل از دگرگونی ناحیه ایی را نشان می دهد، قدیمی ترین واحد سنگ شناسی منطقه محسوب می شود. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، این سنگ ها دارای بافت گرانوبلاستیک و بعضاً واجد شیبستوزیته بوده که رگه های پرهینیت این شیبستوزیته ها را قطع می کنند. وجود این واحد های سنگی در افیولیت های ایران مرکزی کمتر گزارش شده و تنها مورد مشاهده شده در منطقه نایین است [۷، ۸، ۴]. در افیولیت خوی نیز آمفیبولیت های تیره رنگ لایه ایی بیشترین بخش تشکیل دهنده زون دگرگونی را شامل می شوند. این سنگ ها کاملاً ورقه ورقه بوده و ساختار گنایسی از خود نشان می دهند [۱۵].

#### ۲-۲- مجموعه اولترابازیکی و سنگ های مربوطه

سنگ های اولترابازیکی بیشترین قسمت منطقه مورد مطالعه را تحت پوشش قرار داده اند. این مجموعه خود شامل سنگ های هارزبورژیت، لرزولیت، دونیت، سرپانتینیت و پیروکسنیت است؛ شکل (۲). هارزبورژیت اصلی ترین سنگ از این گروه تقریباً در همه جای منطقه قابل رویت است. بعد از هارزبورژیت، دونیت اصلی ترین سنگ تشکیل دهنده مجموعه است. دونیت همچنین از لحاظ زمین شناسی اقتصادی، سنگ اصلی در بر گیرنده لنزهای کرومیت است و مگنزیت نیز در آنها به عنوان محصول آلتراسیون سوپرژن به فراوانی دیده می شود [۴]، [۲۹]. سرپانتینیت ها عضو دیگری از این گروه سنگ ها محسوب می شوند که خود در اثر سرپانتین شدن شدیدگی که در منطقه رخ داده بوجود آمده اند. از دیگر آثار این فرایند وجود کریزوتیل است که از اولیوین های غنی از Mg به دست می آید. پیروکسنیت نیز که به صورت دایک های نازک یا عدسی شکل دیده می شود در منطقه بر دو نوع وبستریت و برونزیت قابل تقسیم بندی هستند. در مجموعه اخیر بیشترین بخش تشکیل دهنده سنگ ها، ارتوپیروکسن (برونزیت) است [۲۹].

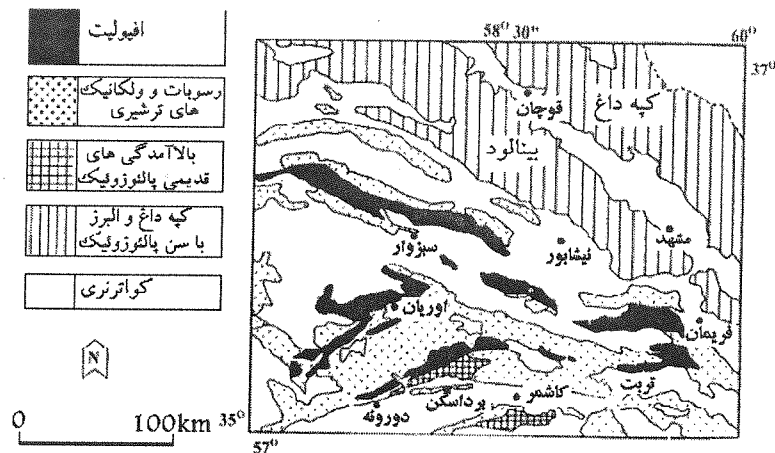
#### ۲-۳- سنگ های رسوبی و گدازه های زیر دریایی

بعد از مجموعه سنگ های اولترابازیکی، سری سنگ های گدازه ایی بیشترین بخش تشکیل دهنده افیولیت بوده و بیشترین حجم آنها شامل گدازه های بالشی و سنگ های هیالوکلاستیک است (شکل ۳).

زون افیولیتی سبزوار در شمال غربی ایران و در طول جغرافیایی ۶۰-۵۷ درجه شرقی و ۳۷-۳۵ درجه شمالی واقع شده است. این زون دارای ۱۵۰ کیلومتر طول و ۳۰-۱۰ کیلومتر عرض است که در حاشیه بلوک کوچک قاره ایران مرکزی قرار گرفته و در واقع مرز این بلوک با صفحه کپه داغ در نظر گرفته می شود [۳ تا ۲۰]، [۲۰] و [۲۷]. محل قرار گیری این زون در شکل (۱) نشان داده شده است. همان گونه که در شکل دیده می شود، منطقه شش زون افیولیتی دارد که در بین این شش زون، افیولیت سبزوار کامل ترین مقطع از یک افیولیت را ارائه می کند. افیولیت ها به دلیل ماهیت جایگیری شان اغلب در ارتفاعات دیده می شوند که افیولیت سبزوار نیز از این قاعده جدا نیست؛ به گونه ایی که ما شاهد پیدایش آن در ارتفاعات جفتای هستیم [۴]، [۲۰]. بررسی ها حاکی از آن است که این افیولیت ها قسمتی از پوسته شمالی نئوتتیس بوده که در زمان کرتاسه پایینی بسته شده است [۲۰]، [۲۸]. سنگ های گوشته در آنها عبارتند از هارزبورژیت و دونیت که اصلی ترین سنگ های تشکیل دهنده منطقه هستند و بیشتر در قسمت شمالی و مرکزی این مجموعه رخنمون دارند [۴]. سنگ های گابرویی فراوانی اندکی دارند که بیشتر به صورت رخنمون های جداگانه ایی دیده می شوند. سنگ های بازالتی منطقه، محدوده تغییرات ترکیبی وسیعتری دارد به طوری که ترکیب آنها از بازالت به آندزیت-بازالت، آندزیت-داسیت، ریوداسیت تا ریولیت در تغییر است. سنگ های رسوبی منطقه شامل آهک های رسوبی پلاژیک فسیل دار و چرت های رادیولاریتی می باشند. علاوه بر این رخنمونی از سنگ های دگرگونی در شرق افیولیت دیده می شود که عبارتند از: شیبست سبز، آمفیبولیت و گلوکوفان شیبست.

#### ۲-۴- زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه

سنگ های این منطقه را می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد [۴]، [۳۰]: سکانس افیولیتی و سکانس غیر افیولیتی. هر کدام از این بخش ها را می توان به صورت واحد های جداگانه بررسی کرد. چون پارامترهای سنگ شناسی از فاکتورهای مهم در تهیه مدل است، بنابراین لازم خواهد بود که بررسی سنگ شناسی کاملی بر روی منطقه انجام گیرد.



شکل (۱): محل قرار گیری زون افیولیتی سبزوار و سایر زون های افیولیتی مجاور آن [۳۰]

در طول ذوب بخشی پوسته فرورو است [۳۰]. شکل های (C, D-۴) نیز الگوی سنگ های خروجی و آندزیتی را نشان می دهد که برای ریولیت ها تهی شدگی شدیدی از Eu دیده می شود. این تهی شدگی می تواند در اثر تفریق بخشی پلاژیوکلازها و همچنین کاهش فوگاسیته اکسیژن باشد که مذاب آنها فقیر از پلاژیوکلاز بوده و این در حالی است فلدسپات در آنها فراوان دیده می شود [۲۴]، [۳۱].

بر این اساس می توان گفت که ریولیت ها شاید آخرین مرحله از تبلور یک ماگمای بازالتی باشند. الگوی نرمال شده برای سنگ های پوسته نیز در شکل (۵) نشان داده شده است. همان گونه که در این گراف ها دیده می شود اغلب آنها دارای آنومالی منفی Nb هستند. می توان گفت که این تهی شدگی احتمالاً مربوط به جدایش انتخابی Nb نسبت به Th, Ce به وسیله آمفیبول یا فازهای دیگری مانند تیتانیت و روتیل مربوط است که در هنگام دی هیدراسیون یا ذوب بخشی صفحه فرو رو رخ داده است [۲۴]، [۳۰].

در تعدادی از این نمونه ها، تهی شدگی Ti نیز دیده می شود. به عنوان شاهد از معادن در حال استخراج منطقه، مانند معادن گفت و سرور تعدادی نمونه برداشت شده که این نمونه ها مشخصه های یک انبان تیپیک کرومیت را بیان می کنند. با انجام آنالیز XRD بر روی این نمونه ها، کانی شناسی و کانی همراه انبان بخوبی نشان داده شد؛ شکل (۶).

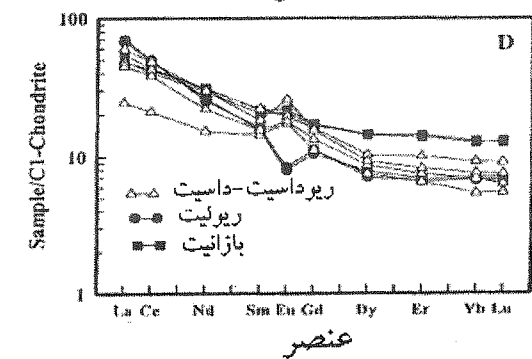
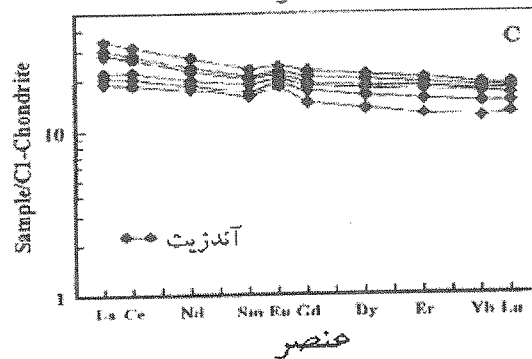
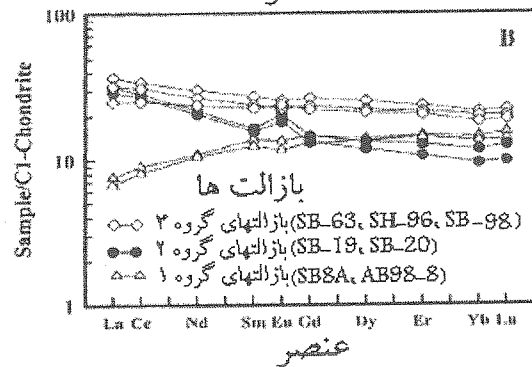
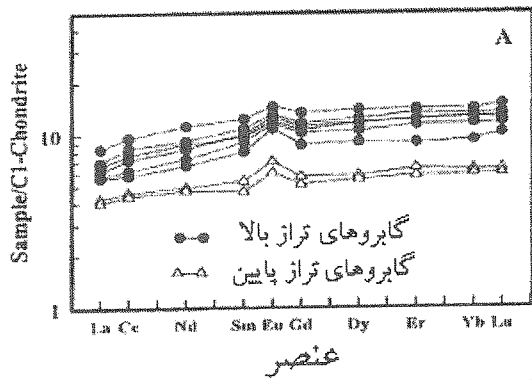
این سنگ ها همچنین با آهک های پلاژیک، شیل و رادیولاریت همراهی می شوند. قدیمی ترین سنگ های رسوبی منطقه آهک های میکریتی گلوبوترونکانا است که گاهاً دارای میان لایه های چرت هستند [۴]، [۲۰]، [۳۰]. چرت های رادیولاریتی افیولیت سبزوار به مراتب کمتر از آن مقداری است که برای افیولیت های ایران مرکزی گزارش شده است [۷]، [۸].

### ۳- ژئوشیمی افیولیت سبزوار

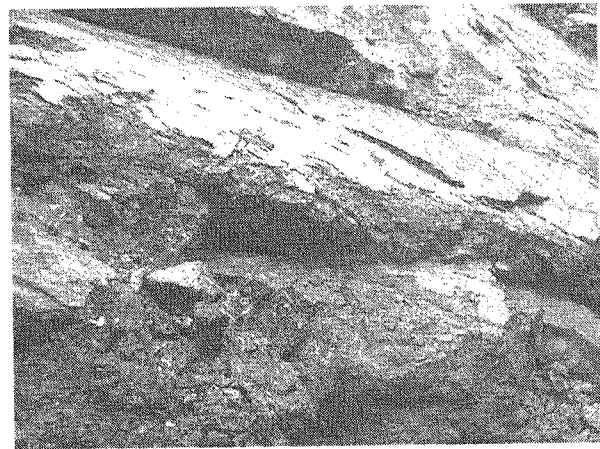
به منظور بررسی ژئوشیمی افیولیت سبزوار، نمونه هایی از قسمت های مختلف برداشت شد و بر روی آنها آنالیزهای پراش اشعه ایکس (XRD) و فلورسانس اشعه ایکس (XRF) صورت گرفت. علاوه بر آن از نتیجه تحقیقات دیگران نیز که در این منطقه کار کرده اند استفاده شد [۴]، [۲۰]، [۲۹]، [۳۰]. جدول (۱) نتایج آنالیز افیولیت سبزوار را نشان می دهد.

در سنگ های آذرین (هارزبورژیت) نسبت Mg# بین ۰/۸۴-۰/۸۲ و در گابروها بین ۰/۶۲-۰/۵۰ است. مقدار SiO<sub>2</sub> در گابروها بین ۵۰/۶-۴۰/۵٪ و مقدار Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بین ۲۰-۱۱٪ در تغییر است. گراف های حاصل از این آنالیزها در شکل (۴) نشان داده شده اند. گراف شکل (A-۴) نشان می دهد که گابروها را می توان به دو گروه تقسیم نمود که تفاوت آنها در میزان غلظت عناصر نادر می باشد. بر اساس این گراف ها (شکل B-۴) می توان بازالت ها را نیز به ۳ گروه تقسیم کرد.

بازالت های گروه ۱ از نوع N-MORB و بازالت های گروه ۲ و ۳ از نوع E-MORB است که در نوع سوم آنومالی منفی Nb نیز دیده می شود. مقدار شیب زیاد و فرورفتگی عمیق در نمودارهای REE ویژگی مشخصی از سنگ های خروجی است که تحت تاثیر پوسته قاره ای و محیط های آتشفشانی قرار گرفته اند و بیانگر تفریق و عدم توانایی در نگهداری این عناصر



شکل (۴): گراف های نرمال شده برای سنگ های گوشته افیولیت سبزوار. A کابروها کاملاً به دو دسته تقسیم شده اند، کابروهای تراز بالا و کابروهای تراز پایین و در هر دوی آنها غنی شدگی Eu دیده می شود، B بازالت ها بر حسب روند غنی شدگی عناصر به گروه های ۱، ۲ و ۳ تقسیم شده اند، C آندزیت ها که تماماً یکنواختی خاصی را نشان می دهند و غنی شدگی Eu در آنها دیده می شود و D گراف سنگ های آذرین خروجی است که همگی آنها دارای شیب منفی به سمت راست دارند [۲۹]، [۳۰].



شکل (۲): لایه های کرومیت دار در اولترابازیک های تیپ لریولیت- هارزبورژیت (کرومیت کلاته فاطمه گل). ضخامت لایه ها در این مقطع به یک متر می رسد. نگاه به سمت شمال شرقی است.



شکل (۳): لایه های متناوب از سنگ های پیروکلاستیک به همراه لایه های اولترابازیک های کرومیت دار. دگرسانی وسیعی در سنگ ها دیده می شود (منطقه گفت). نگاه به سمت شمال است.

نتایج این آنالیزها در جدول (۲) نمایش داده شده اند. همان گونه که دیده می شود، کانی آنتی گوریت در اغلب نمونه ها به عنوان یکی از کانی های اصلی حضور دارد که این خود می تواند راهنمایی در اکتشافات مراحل بعدی باشد.

#### ۴- طراحی مدل ژنتیکی

کرومیت های سبزوار به صورت لنزها و انبان های سیب زمینی شکل است. بافت آنها در اکثر موارد پوست پلنگی و بعضاً به صورت انتشاری و توده ای نیز دیده شده است. در اغلب موارد، سنگ میزبان آنها دونیت گزارش شده است. ابعاد لنز های کرومیتی متغیر بوده و بزرگترین آنها در معدن گفت گزارش شده است.

لنزهای پنهان را که ممکن است آثار اندکی از آنها در سطح موجود باشد ردیابی و در نهایت اکتشاف کرد. در طراحی این مدل از اطلاعات اثبات شده معادن کرومیت سایر نقاط جهان نیز برای تهیه بانک اطلاعاتی استفاده شده است. در طرح این مدل، با ذخیره سازی داده های استاندارد می توان داده های ورودی جدید را با آن مقایسه و بر اساس جواب های خروجی، به وجود یا عدم وجود لنزهای کرومیت (هدف نهایی از ارائه مدل) در اعماق مختلف پی برد [۲۱].

به منظور تشریح چگونگی طراحی مدل لازم است که اجزای مورد استفاده در آن و پارامترهای مربوطه را بیان کنیم.

#### ۴-۱- واحد زمین شناسی امید بخش

در یک مدل ژنتیکی که از آن در مراحل اکتشاف نیز استفاده می شود، هر دو پارامتر زمان و مکان (میزان ناحیه تحت پوشش) مد نظر قرار می گیرد. در واقع، واحد زمین شناسی امید بخش رابطی بین ناحیه مورد مطالعه و خود کانسار است و از نظر زمانی نیز در مرحله بین اکتشاف مقدماتی و اکتشافات نهایی قرار می گیرد [۲۱]. به بیان دیگر، واحد زمین شناسی امید بخش جواب نهایی مدل خواهد بود. به منظور دستیابی به این جواب، در مدل از دو پارامتر استفاده می شود که عبارتند از: فاکتور ژنتیک بحرانی و معیار شناسایی بحرانی.

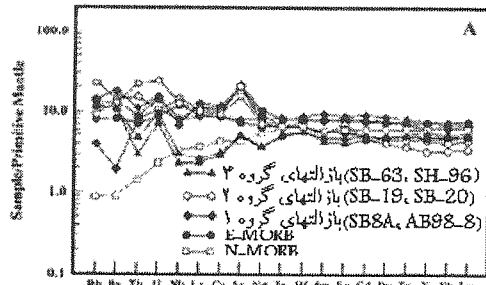
#### ۴-۱-۱- فاکتور ژنتیک بحرانی

هر کانسار یا کانی زایی را می توان به عنوان آنومالی ایی از یک یا چند عنصر یا ترکیبات شیمیایی آن در نظر گرفت. این آنومالی ها محصول فرایندهای زمین شناسی و ژنتیکی خاصی است که یک مدل ژنتیک تمام این فرایندها را چه قبل از کانی زایی و چه بعد از آن، شامل می شود.

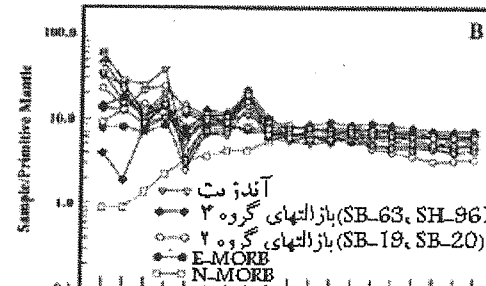
به عبارت دیگر، وجود کانسار در یک ناحیه، حاصل یک سری فعل و انفعالات زمین شناسی است که به صورت پیوسته و پشت سر هم انجام می گیرد. اگر این فرایندها را به عنوان تابع در نظر بگیریم، وجود کانسار به صورت حاصل ضربی از این توابع است که صفر بودن حتی یکی از این توابع (رخ ندادن آن فرایند زمین شناسی خاص) منجر به عدم تشکیل کانسار خواهد شد. هر کدام از این توابع را فاکتور ژنتیک بحرانی گویند [۲۱].

#### ۴-۱-۲- معیار شناسایی بحرانی

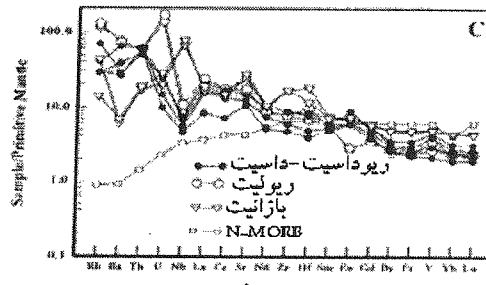
به منظور آنکه بتوان از فاکتورهای ژنتیک بحرانی به صورت توابع ریاضی در مراحل اکتشاف استفاده کرد، به تبدیل گرهایی نیاز است که این فاکتورها را وارد مدل کند. این تبدیل گرها در واقع نتایج حاصل از عملکرد هر کدام از توابع فاکتورهای بحرانی است که آن ها را معیار شناسایی بحرانی گویند. در یک کار اکتشافی با این معیارها سر و کار خواهیم



عنصر



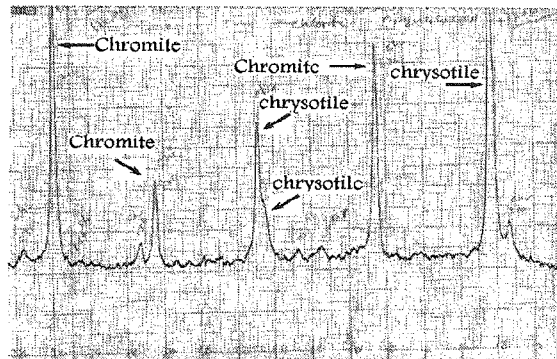
عنصر



عنصر

شکل (۵): گراف های نرمال شده سنگ های پوسته

افیولیت سبزوار، A بازالت های گروه های ۱ و ۳ آنومالی منفی Nb و غنی شدگی Sr را از خود نشان می دهند، B در این شکل آندزیت ها نیز به همراه بازالت ها نشان داده شده اند که آنومالی منفی Nb آنها کاملاً مشهود است و C گراف های سنگ های خروجی است که تهی شدگی مشهود Nb در ریوداسیت و ریولیت ها و غنی شدگی آن در بازالت ها را نشان می دهد [۲۹،۳۰].



شکل (۶): گراف XRD مربوط به نمونه تیپیک کرومیتیت

در این مقاله، مدلی ارائه می شود که با استفاده از آن بتوان

$\Omega$ ) یک زیر مجموعه از A است که از اجتماع نقاط آن U حاصل می‌شود.)

تعریف X به عنوان عامل جدا کننده نقاط:

$$\Delta\phi = \{x : \phi > \phi_p, x \in \Omega\}$$

و سرانجام توده کانسار:

$$V_\phi = \{V_x : x \in \Delta(\phi)\}$$

رابطه این سه منطقه به صورت زیر است:

$$V_\phi \subseteq U \subseteq A$$

در نهایت، خروجی این توابع، مجموعه نقاطی است  $(x_i, y_i, z_i)$  که به A متعلق بوده و از اجتماع آنها محدوده U حاصل می‌شود. شکل (۴) نشان دهنده یک نتیجه عملی از این توابع می باشد که استفاده از معیارهای آلتراسیون، گسل، سنگ‌های ولکانیکی و غیره، محدوده سه بعدی منطقه امیدبخش را؛ که کانسار دقیقاً در آن قرار دارد، مشخص کرده است.

#### ۴-۲- تعیین حد آستانه در تابع احتمال معیار شناسایی بحرانی

همان‌گونه که دیدیم در تعریف تابع احتمال مقادیری که  $y_i < y_i$  را ارضا می‌کنند به عنوان نقاط متعلق به U شناخته می‌شوند. حداقل میزانی را که برای  $y_i$  در نظر می‌گیرند حد آستانه می‌نامند [۲۱]. تعیین این حد آستانه برای هر عملیات اکتشافی و در مورد هر تیپ کانی سازی لازم است که جداگانه محاسبه شود. بدین منظور برای هر تیپ کانسار به یک بانک اطلاعاتی نیاز است. در این مقاله داده‌های مورد نیاز برای بانک اطلاعاتی کانسارهای کرومیت تیپ انبانه ایی گرد آوری شده، استاندارد و معیارهای شناسایی بحرانی انتخاب و در مدل ذخیره سازی شدند که در جدول (۴) آورده شده است.

داده ها در مدل به صورت ماتریسی ذخیره می‌شود، سپس در ترانهاده خودش ضرب شده که حاصل آن ماتریس ویژگی نامیده می‌شود. آنگاه، بعد از محاسبه مجذور مجموع توان دوم آرایه‌های هر سطر ماتریسی به دست می‌آید که یک ستون و تعداد سطری برابر تعداد معیارهای شناسایی بحرانی دارد. در هر کدام از این سطرها مقدار محاسبه شده قرار می‌گیرد که نشان دهنده امتیاز معیار شناسایی مربوط به همان سطر است. حال معیارها را بر اساس ارزش عددی شان از بالا به پایین مرتب می‌کنیم (ماتریس مربوطه در بخش ضمیمه آورده شده است).

آن معیاری که بیشترین ارزش را دارد (در مدل کرومیت انبانه ایی، نوع سنگ میزبان) به عنوان فاکتور اول در اکتشاف مد نظر قرار می‌گیرد. با اجرای این مدل برای مناطقی که در مرحله اکتشافات مقدماتی است و برای ادامه پروژه به کاهش

داشت. به عنوان مثال، فرایند آلتراسیون یک فاکتور ژنتیک بحرانی است و معیار شناسایی بحرانی آن، کانی‌های آلتراسیونی است که ما در نمونه‌ها آنها را می‌بینیم. بر خلاف فاکتورهای بحرانی، معیارهای شناسایی بحرانی جمع‌پذیر هستند و همین خاصیت آنهاست که امتیاز بالایی را برای مناطق امید بخش و امتیاز اندکی را برای مناطق غیر امید بخش قائل می‌شود. به عنوان نمونه، جدول (۳) معیارهای شناسایی بحرانی را در ستون چپ و تابع هدف و تابع اکتشاف را در ستون‌های بعدی نشان می‌دهد. این جدول برای اکتشاف یک کانسار اپی ترمال تهیه شده است. اگر معیارهای شناسایی بحرانی را  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$  در نظر بگیریم،  $\beta_i$  را به عنوان ضریب این معیارها و  $\Phi$  را به عنوان هدف نهایی که همان وجود کانسار است فرض کنیم، آنگاه تابع خطی زیر را می‌توان ارائه نمود:

$$\Phi = \beta_1 Y_1 + \beta_2 Y_2 + \beta_3 Y_3 + \dots + \beta_t Y_t \quad (1)$$

حال اگر این  $\Phi$  را به صورت یک جامعه فرض کنیم، برای شناخت چگونگی این جامعه لازم است که واریانس و میانگین آن را بشناسیم که برای این جامعه به صورت زیر خواهد بود:

$$E(\Phi) = \sum_{i=1}^t \beta_i E(Y_i) \quad (2)$$

$$Var(\Phi) = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \beta_i \beta_j COV[Y_i, Y_j] \quad (3)$$

چون در اکتشاف معدن با فرایندهای زمین شناسی سر و کار داریم، لذا در نظر گرفتن احتمال برای این فاکتورها امری کاملاً درست است که بدین منظور از تابع احتمال به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$F(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_t, y_1, y_2, y_3, \dots, y_t) = \text{probability}\{Y_1 < y_1, Y_2 < y_2, \dots, Y_t < y_t\} \quad (4)$$

$y_i$  ها به عنوان مقادیر حد تعریف می‌شوند، لذا تابع  $\Phi$  به صورت زیر در می‌آید:

$$\Phi = \beta_1 y_1 + \beta_2 y_2 + \beta_3 y_3 + \dots + \beta_t y_t \quad (5)$$

حال با توجه به تابع احتمال استاندارد،  $\Phi_p$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

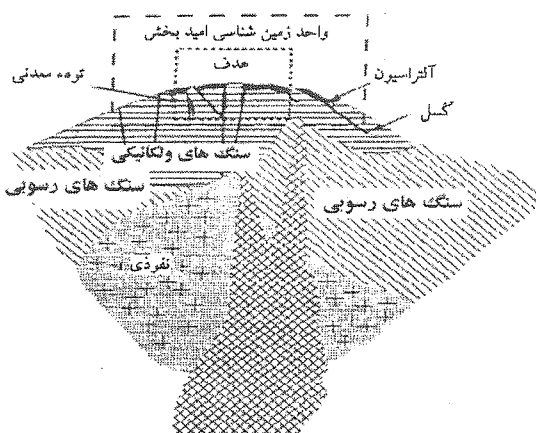
$$\Phi_p = F_\phi^{-1}(P) \quad (6)$$

اکنون فرض کنیم منطقه تحت مطالعه را A و واحد زمین شناسی امید بخش را U بنامیم و نقاطی که از آنها در این روابط استفاده می‌شود به صورت 3D به مختصات  $X:(x_i, y_i, z_i)$  (که در این مثال به منظور فهم بهتر مدل از نقاط تک بعدی استفاده می‌شود) باشد. در این صورت تعریف های زیر را خواهیم داشت:

واحد زمین شناسی امید بخش:

$$U = \{u_x : x \in \Omega \in A\}$$

ژئوشیمیایی		
عناصر اصلی	+++++	+++++
عناصر راهنما	+++	+++++
عناصر همراه	+	+++
ژئوفیزیک		
مغناطیسی		+++++
گرانی		+++++
الکترومغناطیس		+++++
الکتریکی		+++++
سنجش از دور		
نقشه های ساختاری		+++++
نقشه های آلتراسیون		+++++
نقشه های زمین شناسی		+++++
توپوگرافی		
مدل ارتفاعی		+++



شکل (۷): نمونه عملی استفاده از مدل ژنتیکی در جدا کردن منطقه امید بخش از سایر مناطق در اکتشاف کانسار تیپ اپی ترمال با استفاده از معیارهای شناسایی بحرانی جدول ۳. [۲۱].

- سرپانتینی شدن وسیع و محصولات فراوان آن از قبیل مگنتیت و هیدرومنیزیت.

-  $0.084 < \text{Mg\#} < 0.082$  در هارزبورژیت ها.

- آنومالی منفی Nb و تهی شدگی Ti.

با انطباق نقاط نمونه برداری بر روی نقشه زمین شناسی منطقه، محدوده مشخص شده بر روی شکل (۸) به عنوان واحد زمین شناسی امیدبخش انتخاب شد که ادامه عملیات اکتشافی با شانس موفقیت بیشتر و هزینه و ریسک کمتری در این محدوده پیگیری خواهد شد. همان گونه که احساس می شود این منطقه دارای پتانسیل اکتشافی خوبی دارد؛ زیرا با محاسبه توابع گفته شده و استفاده از معیارهای جدول (۴)، دیده می شود که منطقه مورد بررسی بالای ۷۵٪ خواص لازم یک کرومیت تیپیک را شامل می شود.

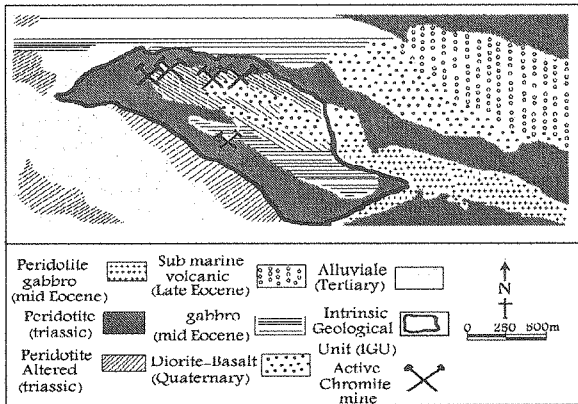
منطقه تحت پوشش نیاز است، مناطقی که فعالیت در آنها اقتصادی خواهد بود شناسایی می شوند. آن قسمت هایی از منطقه که بیشتر از ۷۵٪ فاکتورهای رتبه بندی شده (از بالا به پایین) را ارضا کنند به عنوان مناطق بسیار امید بخش خوانده می شوند. مناطقی که بین ۵۰ تا ۷۵٪ معیارها را ارضا کنند مناطق با پتانسیل نسبی خوب هستند. مناطقی که بین ۲۵ تا ۵۰٪ معیارهای شناسایی بحرانی را ارضا کنند مناطقی هستند که باید با احتیاط در آنها سرمایه گذاری کرد و مناطقی که زیر ۲۵٪ معیار های را ارضا کنند مناطق عقیم شناخته می شوند. حد نهایی این مدل، که قسمت هایی با ۱۰۰٪ انطباق است، به ندرت دیده می شود؛ زیرا وجود عدم قطعیت در مدل و پدیده های گوناگون زمین شناسی این امکان را فراهم نمی آورد. یا به عبارت دیگر، انطباق ۱۰۰٪ با معیارهای گفته شده، تنها یک واقعیت مجازی ریاضی است که در طبیعت هرگز اتفاق نمی افتد [۲۱].

نکته ای که در اینجا لازم است به آن توجه شود بررسی تکنیک افیولیت و زمین شناسی ناحیه قبل از انجام هر گونه اقدامی است. بدین منظور که معلوم شود آیا تکنیک و زمین شناسی منطقه امکان وجود چنین کانسارهایی را می دهد یا خیر. با شناخت فاکتورهای ژنتیکی منطقه، حل ماتریس های مربوطه، امتیاز دهی به معیارهای شناسایی بحرانی و پیاده کردن این مدل در منطقه، معیارهای شناسایی بحرانی شناخته و به ترتیب زیر اولویت بندی شدند:

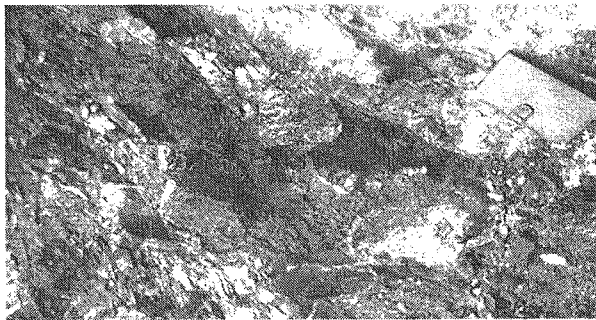
- هارزبورژیت و دونیت به عنوان میزبان لنزهای کرومیتی و سنگ های اصلی تشکیل دهنده افیولیت.
- وجود کانی های کریزوتیل، لیزاردیت و کلریت به عنوان کانی های همراه.

جدول (۳): معیارهای شناسایی بحرانی در اکتشاف کانسارهای هیدروترمال و اولویت آنها در تابع اکتشاف و تابع هدف [۲۱].

تابع اکتشاف	تابع هدف	معیارهای شناسایی بحرانی
		زمین شناسی
+++++	+++	سنگ میزبان
+++	+	واحد قبل از کانی سازی
+		واحد بعد از کانی سازی
+++	+++	ساختارهای ناحیه ای
+++++	+++	ساختارهای محلی
+++++	+++	آلتراسیون هیدروترمال
+++++	+++	کانی شناسی
	۰	رخنمون های کانسار
+++++	+++	مدل ژنتیکی کانسار



شکل (۸): نقشه زمین شناسی منطقه و محدوده واحد زمین شناسی امید بخش که با خط سیاه پر رنگ مشخص شده. محدوده شامل واحدهای پریدوتیت آلتیره شده، پریدوتیت و گابرو است.



شکل (۹): لایه های کرومیتی. اولترابازیک های مولد (غالباً هارزبورژیتی) بر اثر دگرسانی به سرپانتینیت های تیپ لیزاردیت و آنتی گوریت، به رنگهای سبز و کرم تبدیل شده اند، نگاه به سمت جنوب غربی می باشد.

## ۶- ضمائم

در این بخش، جدول (۱) مربوط به آنالیز شیمیایی XRF نمونه های افیولیت سبزوار آورده شده است. گراف های اشکال (۴) و (۵) که از آنها در شناخت فاکتورهای ژنتیک بحرانی استفاده گردید، بر اساس این داده ها ترسیم شده بودند. جدول (۲)، که درصد کانی های موجود در نمونه های معدن گفت را نشان می دهد (آنالیز XRD) نیز در ادامه آورده شده. مطالعات کانی شناسی برای شناخت فاکتورهای ژنتیکی این تیپ کانسار در منطقه مزبور بر اساس داده های موجود در این جدول انجام شده است. سپس ماتریس معیارهای شناسایی بحرانی و اولویت دهی آنها بر حسب حضور یا عدم حضور آنها در معادن تیپیک دنیا درج شده است. در نهایت، جدول (۴)، معیارهای شناسایی انتخاب شده برای مناطق گفت و سرور و مقایسه آنها با معادن تیپیک در سایر نقاط جهان را نشان می دهد.

حال با استفاده از مختصات (x,y,z) محل نمونه برداری ها در مدل، واحد زمین شناسی امید بخش به راحتی انتخاب می شود. در شکل ۹، قسمتی از واحد زمین شناسی امید بخش و سایر خواص آن آمده است.

## ۵- نتیجه گیری و پیشنهاد

در این مقاله، ابتدا سنگ شناسی و ژئوشیمی کرومیت های زون افیولیتی سبزوار کاملاً بررسی شد. این مطالعات قسمت اولیه کار را شامل می شود که با استفاده از نتایج آن، معیارهای شناسایی بحرانی برای منطقه و وجود یا عدم وجود این معیارها به دست می آید. سپس به تعریف مدل و چگونگی طراحی مدل پرداخته شد. آنگاه معیارهای شناسایی منطقه سبزوار وارد مدل شد و با استفاده از نتایج حاصل از آن، واحدهای زمین شناسی امید بخش شناسایی شدند. بنابراین دیده می شود که استفاده از معیارهای شناسایی بحرانی و فاکتورهای ژنتیک بحرانی، امکان دسترسی ساده تر و سریع تر به مناطق زمین شناسی امید بخش را فراهم می کند. ولی قبل از آن لازم است که یک بانک اطلاعاتی قوی ما را در این کار پشتیبانی کند. در این تحقیق بانک اطلاعاتی در مورد کانسارهای کرومیتی تیپ آلپی، هرچند به صورت ساده ولی استاندارد تهیه شد. سپس با استفاده از مدل طراحی شده و به کمک بانک اطلاعاتی، مناطق زمین شناسی امید بخش مشخص شدند. در نهایت می توان گفت که برای پیدا کردن این گونه مناطق در مراحل اکتشافات مقدماتی و یا مناطق با اطلاعات اندک، انجام اقدامات زیردر درجه اول اهمیت قرار دارند:

- ۱- پیدا کردن سنگ های درون گیری مانند هارزبورژیت و دونیت.
- ۲- یافتن قسمت های آلتیره شده و یا سرپانتینیت شده و رگه های هیدرومنیزیت و همچنین کانی های آنتی گوریت و کلریت.
- ۳- اندازه گیری Cr # و Mg # با استفاده از جواب آنالیز نمونه ها.
- ۴- استفاده از نقشه های مغناطیس هوایی و انطباق آن با قسمت های مورد نظر.
- ۵- رسم گراف های نرمال شده به منظور مشاهده تهی شدگی  $TiO_2$  و آنومالی منفی Nb.
- ۶- پیدا کردن آنومالی های محلی Cr احتمالاً در آبراه ها یا نواحی نزدیک انبان ها.





الذاتة جدول (1)

نوع سبيكة شماره نيزه	كبريت										بازالت									
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
SiO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.7	0.10	0.2	0.1	0.4	0.1			0.10	0.10	0.4	0.3	0.10	0.10				
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.02	0.19	0.11	0.11	0.29	0.21	0.23			0.12	0.10	0.07	0.02	0.07					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.0	10.1	10.8	11.1	10.3	11.1	13.9	12.3			13.1	13.7	13.3	12.3	12.1	13.9				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.2	7.2	7.12	7.22	8.2	8.0	8.13	9.13			3.2	1.0	2.1	1.2	1.2	1.2				
MnO	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.11	0.11			0.2	0.11	0.19	0.11	0.11					
MgO	9.1	9.2	8.00	10.1	8.1	7.0	12.0	9.7			7.0	1.1	0.77	0.78	0.78	0.71				
CaO	10.2	11.2	10.3	8.9	10.7	8.28	10.0	12.2			11.6	11.9	9.28	0.1	11.2	11.2				
Na <sub>2</sub> O	2.77	1.81	3.20	2.90	2.9	3.2	1.2	2.77			3.22	2.27	2.72	2.10	3	3				
K <sub>2</sub> O	0.21	0.17	0.28	0.80	0.17	0.07	0.10	0.20			1.1	0.21	0.2	0.2	0.13					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.3	0.18	0.11	0.1	0.18	0.17	0.10	0.13			0.21	0.1	0.22	0.10	0.17					
Mg#	0.02	0.00	0.02	0.11	0.01	0.27	0.22	0			0.2	0.1	0.21	0.29	0.22					
La	1	1.20	1.30	1.00	1.10	1.98	2.22	1.90			1.8	1.8	1.7	1.8	1.8	1.0				
Ce	2.8	2.8	3.3	3.1	0.11	0.91	2.00	2.17			2.1	0.0	1.9	1.0	1.9	2.1				
Nd	2.2	2.3	2.9	3.0	3.22	0.21	2.1	2.2			1.2	0.1	1.2	1.1	1.1	2.1				
Sm	0.82	1.29	1.03	1.38	1.11	1.9	1.22	1.1			1.1	1.1	1.22	1.22	1.2	1.1				
Eu	0.11	0.17	0.23	0.2	0.27	0.10	0.20	0.20			1.38	0.2	1.2	1.2	1.2	1.1				
Gd	3.77	2.11	2.29	2.9	2.4	2.77	1.0	2.8			0.30	0.41	3.8	3.8	2.77	2.7				
Dy	2.37	2.78	2.1	2.80	1.11	2.00	1.29	1.29			2.1	2.0	0.1	0.21	2.32	0.2				
Er	1.0	1.88	2.1	2.0	2.21	2.22	1.90	1.90			2.8	2.32	2.00	2.27	2.32	2.3				
Yb	1.1	1.98	2.18	2.10	1.22	2.29	1.08	1			2.22	2.30	2.3	2.1	2.27	2.2				
Lu	0.11	0.2	0.20	0.22	0.23	0.28	0.21	0.10			0.2	0.29	0.01	0.38	0.29	0.29				

جدول (۲): درصد کانی های موجود در نمونه های مطالعه شده در گفت.

میزان کرومیت	کانی های تشکیل دهنده سنگ					فورستریت	شماره نمونه
	کمرریت	مگنتیت	سرپانتین	کلیئوپروکسن	ارتوپروکسن		
۲۵	—	—	۴۰	—	کم	۲۵	۱
۲۰	—	—	۶۵	—	—	۱۵	۲
۳۰	۵	—	۲۵	متوسط	—	۳۰	۳
۲۰	کم	—	۷۰	کم	—	۱۵	۴
۲۰	—	—	۶۵	—	—	۱۵	۵
۲۵	—	—	۴۰	۵	کم	۲۰	۶
۲۵	—	—	۴۵	کم	کم	۱۵	۷
—	۱۰	۱۵	۳۵	کم	کم	۲۰	۸
—	۵	۳۰	۳۰	—	—	۳۵	۹
۴۰	۱۵	—	۲۰	—	—	۲۵	۱۰
۴۰	—	—	۱۵	—	کم	۴۵	۱۱
۳۰	۵	—	۴۰	۵	—	۳۰	۱۲
۳۰	۱۰	—	۴۰	کم	کم	۳۰	۱۳
۱۵	—	—	۷۰	کم	—	۱۵	۱۴
۱۰	—	—	۶۵	کم	کم	۳۰	۱۵

ماتریس شناسایی معیارهای بحرانی:

	معادن ترکیه	معادن فیلیپین	معادن شیلی	معادن یونان	معادن نیوزلند	معادن کوبا	معادن ایران
سنگ در بر گیرنده (دونیت و هارزبورژیت)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
کانی های همراه (آنتی گوریت و کلریت)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
دایک های دونیتی	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰
آلتراسیون و یا سرپانتینی شدن	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
بافت (پوست پلنگی و یا انتشاری)	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱
همخوانی با نقشه های مغناطیسی	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱

جدول (۳) - معیار های شناسایی بصرانی استاندارد گرد آوری شده از معادن نقاط مختلف جهان که از آنها در طراحی مدل استفاده شده است.

معدن گفت و سرور	معدن اسفندقه و فاریاب	معدن نیوزلند	معدن پیندوس (یونان)	معدن ترکیه	معدن شیلی	معدن تیبتی (نیوکالدونیا)	معدن موآ (کوبا)	معیار شناسایی بصرانی
سنگ های هارزبورژیت و دونیت	سنگ های پریونیتی (دونیت و هارزبورژیت)	دونیت، هارزبورژیت، سرپانتینیت	دونیت و هارزبورژیت	دونیت و زون عبوری لرزولیت به دونیت	سنگ های دونیتی	دونیت، لرزولیت و زون عبوری دونیت به لرزولیت	سنگ های پریونیتی (دونیت)	سنگ در بر کیرنده (دونیت و هارزبورژیت)
کریزوتیل، لیزاردیت، مگنتیت، هیدرومنیزیت	کلریت، کمرریت، کریزوتیل	یورارویت، فوکسیت، مگنتیت	آنتی گوریت، کلریت و مقاری عناصر کالکوفیل	آنتی گوریت، کلریت، سولفید های نیکل و مس	وزویانیت، یورارویت، آنتی گوریت فوکسیت	مگنتیت، کلریت	آنتی گوریت، زوزانیت، کلریت، کمرریت، مگنتیت	کانی های همراه هارزبورژیت
---	---	دایک های پیروکسنیتی و کمتر دونیتی	---	دایک های دونیتی، پیروکسنیتی	---	---	دایک های دونیتی	دایک های دونیتی
سرپانتینی شدن گسترده	رگه های سرپانتینی فراوان	سرپانتینی شدن وسیع و کمتر دونیتی	سرپانتینی شده گسترده	آتراسیون محلی	کرومیت به فرین کرومیت آتره شده با حاشیه مگنتیتی	دارای زون دونیتی سرپانتینی شده سفید رنگ	کمرریت به لیونیت های لاتریتی اکسید شده	آتراسیون و هوازگی
پوست پلنگی و افشان	پوست پلنگی و توده ای	افشان و گاهای ندولی	افشان و ندولی	ندولی، افشان، توده ای، نواری	افشان و گاهای ندولی	ندولی	پوست پلنگی و افشان	بافت (پوست پلنگی، افشان، ...)
انطباق نسبی دارد	انطباق نسبی دارد	انطباق جزئی دارد	---	---	انطباق خوب دارد	انطباق نسبی دارد	انطباق نسبی دارد	انطباق با تخته های مغناطیس هوایی
$Cr\# > .۷۲$ و $.۸۴ < Mg\# < .۸۲$	---	$Cr\# < .۸$	---	$.۸۱ < Cr\# < .۷۲$ و $.۷۵ < Mg\# < .۸۲$	$Cr\# > .۱۶$	---	$Mg\# < .۷۵$ و $Cr\# > .۷$	$Cr\#$ و $Mg\#$
آنومالی منقی Nb و تهی $TiO_2$ شدگی	اندک $TiO_2$	اندک $TiO_2$	$TiO_2 < .۱$	آنومالی منقی Nb و $TiO_2 < .۷$	آنومالی منقی Nb و اندک $TiO_2$	---	---	تهی شدگی $TiO_2$ Nb آنومالی منقی

- ophiolite complex, southeastern Iran". *Canadian Journal of Earth science*, vol. 33 p. p. 1534-1542, 1996.
- Kuno, A., Matsuo, M., "Characterization of natural chromites samples from ophiolite complexes in the Philippines", *Nuclear Chemistry*, vol. 246, 2000.
- Lanphere, M. A., Pamic, T. "40Ar/39Ar ages and tectonic settings of ophiolites from Neyriz area, south-east zagros range, Iran", *Tectonophysics*, vol. 96, p.p. 245-256, 1983.
- Lench, G., "Major element geochemistry of the ophiolites in north-eastern Iran. In: Panayiotou, A., (Ed.) " ophiolites, Proceeding to International Ophiolites symposium, ministry of Agriculture and Natural Resources, Geological Survey Department, Republics of Cyprus, p.p. 398-401, 1980.
- Lench, G., Alavi-tehrani, N., "petrography and geology of the ophiolite belt of Sabzevar/Khorasan (Iran)", *Neues Jahrbuch Fur Geologie un Palantologie Monatshefte*, vol. 131, p.p. 156-178, 1977.
- Pan, G., Harris, D. P., "Information synthesis for mineral exploration", *Oxford University Press*, Chapter 3, p.p. 44-70, 2000.
- Parlak, O., Hock, V., Delaloye, M., "The supra-subduction zone Pozanti-Karsanti ophiolite, Southern Turkey: Evidence for the high-pressure crystal fractionation of ultramafic cumulates", *Lithos*, vol. 65, p.p. 205-224, 2002.
- Pearce, J. A., A user Guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D.A., (Ed.). "Trace element geochemistry of volcanic rocks: Application for massive Sulphide Exploration", *Geological Association of Canada, Short Course Notes No. 12* p.p. 79-113, 1996.
- Pearce, J. A., Peate, D. W., "Tectonic implication of composition of volcanic arc magmas" *Annual Review of Earth planetary Science*, vol. 23, p.p. 251-285, 1995.
- Robinson, P.T., Zhou, M.F., "Geochemical constrains on the origin of the Hegenshan Ophiolite, inner Mangolia, China", *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 17, p.p. 99-108, 1999.
- Schiano, P., Masser, D., "Primit Ve basaltic melts included in podiform chromites from the Oman ophiolite", *EPSL*, vol. 146, p.p. 489-497, 1997.
- Sengor, A.M.C., 1990 "A new model for the late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implication for Oman". In: Robertson, A.H.F., Searle, M.P., Rice, A.C. (Eds.), *the geology and tectonic of the Oman Region*, Geological Society of London Special publication No. 49 pp 797-831.
- Sengor, A.M.C., "Natali in Turkey-type progeny and its role in the making of the continental crust", *Annual Review of Earth planetary Science*, vol. 25 p.p. 263-337, 1996.
- Shojaat, B., "Application of geochemical models for determining tectonic environment and potential for ore deposits in Sabzevar Ophiolite, North Central Iran", Ph. D. Dissertation, p.p. 413, 1999.
- Shojaat, B., Hssanipak, A. A., Ghazi, A. M., Mobasher, K., "Petrology, Geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran", *Journal of Asian Earth Science*, vol. 19, p.p. 1-15 2003.
- Winchester, J. A., Floyd, P. A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", *Chemical Geology*, vol. 20, p.p. 325-342, 1977.
- [۱۷] Alavi, M., "Tectonic Map of the Middle East", Geological Survey of Iran, Scale 1:5,000,000, 1 Sheet, 1991.
- [۱۸] Alavi, M., "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz Mountain system in northern Iran", *Journal of Geodynamics*, vol. 21, p.p. 1-33 1996.
- [۱۹] Alavi, M., Vaziri, H., Seyed-Emami, K., Lasemi, Y., "Triassic and associated rocks of the Nakhlak Aghdarband areas in central and northeastern Iran: As remnants of the southern Turanian active continental margin", *Geological Society of America Bulletin*, vol. 109, p.p. 1563-1575, 1997.
- [۲۰] Alavi-Tehrani, N., "On the metamorphism in the ophiolite rocks in the Sabzevar Region (NE of Iran)", *Tehran symposium on the geodynamics, Southwest Asia*, 1975.
- [۲۱] Becque, T., Quantin, C., Sicot, M., Boudot, J. P., "Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia", *The science of the Total Environment*, vol. 301, p.p. 251-261, 2003.
- [۲۲] Billor, M. Z., Gibb, F., "The mineralogy and chemistry of the chromites deposits of southern (Kizildag, Hatay and Islahiye) and Tauric Ophiolite Belt (Pozanti-Karsanti), Turkey", *Geological Survey of Turkey Report*, Open file., 2001.
- [۲۳] Davoudzadeh, M., "Geology and petrography of the area North of Nain, central Iran", *Geological Survey of Iran. Report No. 39* p. 89, 1972.
- [۲۴] Davoudzadeh, M., "Geology and petrography of the area North of Nain, central Iran", *Geological Survey of Iran. Report No. 14* 1972.
- [۲۵] Elipoulolos, M. E., Vacondios, I., "Geochemistry of chromitites and host rocks from the pindos ophiolite complex, northwestern Greece", *Chemical Geology* vol. 122, p.p. 99-108, 1995.
- [۲۶] Gasemi, H., Juteau, T., Bellon, H., sabzehei, M., Whitechurch, H., Ricou, E., "The mafic-ultramafic complex of Sikhoran (central Iran): a polygenetic ophiolite complex", *Geodynamics*, vol. 334, p.p. 431-438, 2002.
- [۲۷] Ghazi, A. M., Hssanipak, A. A., "Geochemistry and petrography of sub alkaline and alkaline extrusive of Kermanshah ophiolite, Zagros suture zone, SW Iran", *Journal of Asian Earth Science* vol. 17, p.p. 319-332, 1999.
- [۲۸] Ghazi, A. M., Hssanipak, A. A., Dncan, R. A., Hogen, L. G., Mahoney, J. J., "Geochemistry 40Ar/39Ar Ages and preliminary isotopic Analysis of the khoy ophiolite. Northwestern Iran. [abs.]", *Eos Transactions, American Geophysical Union*, vol. 79 F645, 1997a.
- [۲۹] Ghazi, A. M., Hssanipak, A. A., Wallace, K., "Geochemistry, petrology and geology of the Sabzevar ophiolite, northeastern Iran: Implication on tethyan tectonics", *Geological Society of America abstracts with programs*, vol. 29 A-229. 1997b.
- [۳۰] Hofer, C., Kraus, S., Miller, H., Afaro, G., Barra, F., "Chromite-bearing serpentinite bodies within an arc-backarc metamorphic complex near La cabana, south Chilean Costal Cordillera", *Journal of South American Earth sciences*, vol. 14 p.p. 113-126, 2001.
- [۳۱] Hssanipak, A. A., Ghazi, A. M., 1999. Petrology, "Geochemistry and tectonic setting of the khoy ophiolite, Northwest Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 18, 43-55.
- [۱۶] Hssanipak, A. A., Ghazi, A. M., Wampler, J. M. "REE characteristics and K/Ar ages of the Bande-Ziarat