

## ارزیابی منشأ رسوبی آمفیبولیت‌ها و متاپلیت‌های میزبان کانسار آهن گل‌گهر سیرجان، کرمان

گلاله اصغری، کارشناس ارشد، گروه زمین شناسی دانشگاه تهران

حسن میرنژاد، استادیار، گروه زمین شناسی دانشگاه تهران\*

جلیل قلمقاش، مدیر زمین شناسی منطقه‌ای سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران

### چکیده

مجموعه‌ی دگرگونی گل‌گهر میزبان ذخایر سنگ آهن گل‌گهر است و در بخش شرقی زون سندانج-سیرجان قرار دارد. این مجموعه از لحاظ سنگ شناسی در برگیرنده‌ی واحدهای سنگی میکاشیست، کوارتزیت، مرمر، آمفیبول شیست، گرافیت شیست، کالک شیست و آمفیبولیت است. آمفیبولیت‌ها به شکل لایه‌ای در درون توده معدنی گل‌گهر رخنمون دارند، بنابراین تعیین سنگ مادر آن به تفسیر محیط اولیه‌ی تشکیل کانسار آهن مزبور کمک خواهد کرد. براساس مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی، متاپلیت‌ها از دگرگونی شیل‌های آهن‌دار بوجود آمده‌اند و سنگ‌مادر آمفیبولیت‌ها از نوع رسوبات مارنی است. به علاوه، موقعیت نمونه‌های آمفیبولیت بر روی نمودارهای مختلف (همچون mg در برابر Cr, Ni, c و si در مقابل mg, al, alk) که بر پارامتر آمفیبولیت بودن آنها دلالت دارد، تأیید کننده تشکیل سنگ منشأ آمفیبولیت‌های گل‌گهر در یک محیط رسوبی است.

**واژه‌های کلیدی:** آمفیبولیت، سنگ منشأ، ژئوشیمی، کانسار آهن، گل‌گهر، مارن.

## مقدمه

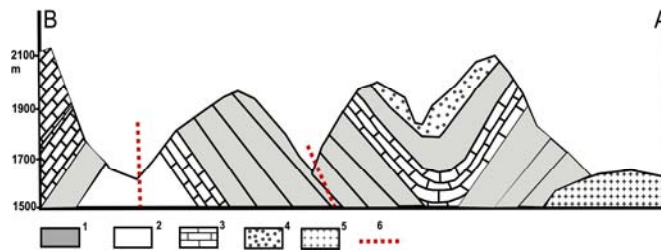
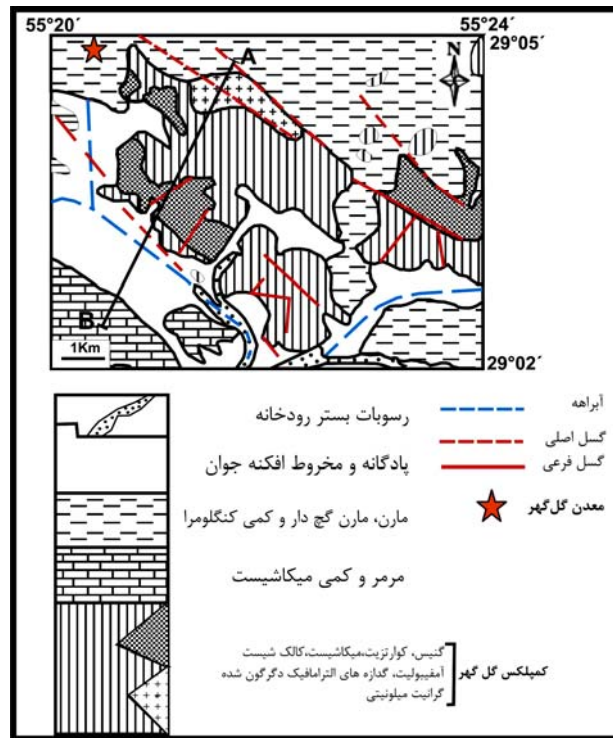
منطقه‌ی مورد مطالعه در ۵۵ کیلومتری جنوب غرب سیرجان در استان کرمان واقع شده است. قدیمی‌ترین واحد سنگی این منطقه مجموعه‌ی دگرگونی گل‌گهر است که میزان ذخایر بزرگ آهن گل‌گهر می‌باشد. متاپلیت و آمفیبولیت از جمله سنگ‌های مذکور هستند که اغلب همراه با توده معدنی مشاهده می‌شوند. در مطالعات قبلی یعقوبی (۱۳۷۸) منشأ بازالتی را برای آمفیبولیت‌های گل‌گهر در نظر گرفته و برهمین اساس نیز مدل آتشفشانی-رسوبی را برای ژنز کانسار آهن گل‌گهر ارائه نموده است. نوع سنگ‌مادر آمفیبولیت‌ها اعم از سنگ‌های آذرین مافیک (گابرو، دیاباز، بازالت) و یا رسوبات مارنی همواره مورد بحث اغلب محققین بوده است

(Leake 1964; Evans and Leake 1960; Rivalenti and Sighinolfi 1969). با توجه به اهمیت ارتباط آمفیبولیت‌ها و سایر واحدهای مجموعه گل‌گهر با کانسار آهن و تفسیر محیط تشکیل آن، در این مطالعه با استفاده از شواهد سنگ شناسی و داده‌های ژئوشیمیایی به تعیین منشأ آمفیبولیت‌ها و متاپلیت‌ها پرداخته شده است.

## زمین شناسی

محدوده مورد مطالعه در طول جغرافیایی  $20^{\circ}$  تا  $55^{\circ}$ ،  $24^{\circ}$  تا  $55^{\circ}$  شرقی و عرض جغرافیایی  $29^{\circ}$  تا  $27^{\circ}$ ،  $02^{\circ}$  تا  $07^{\circ}$  شمالی در جنوب معدن گل‌گهر با اقلیمی خشک و کویری قرار گرفته است (شکل ۱) و به بخش شرقی زون سندج-سیرجان در کمربند کوهزایی زاگرس تعلق دارد. واحدهای

سنگی مجموعه گل‌گهر شامل کوارتزیت، میکاشیست، گارنت میکاشیست، کالک شیست، مرمر، آمفیبول شیست، گرافیت شیست و آمفیبولیت است که در رخساره‌ی آمفیبولیت تا شیست سبز دگرگون شده‌اند. نتایج سن سنجی K/Ar مربوط به آمفیبول و میکا در گنیس‌های ناحیه نیریز سن پالئوزوئیک (۳۰۰ میلیون سال) را برای مجموعه مذکور نشان داده است (Sheikholeslami et al. 2003). واحدهای مزوزوئیک گل‌گهر آهک‌های ریفی با رخساره بایومیکریتی تا بایو اسپاریتی تریاس و آهک‌های البیتی و کنگلومرای ژوراسیک هستند که مرز میان آنها با سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک ناپیوستگی ناشی از فاز سیمین پیشین می‌باشد. فلیش‌های ائوسن شامل تناوبی از شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا و آهک‌های ماسه‌ای نومولیت‌دار از توالی‌های سنوزوئیک این منطقه هستند که بر روی آن با دگرشیبی زاویه‌دار، فلیش‌های الیگوسن شامل تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن قرار می‌گیرند. رسوبات کواترنر، جوانترین واحدهای گل‌گهر هستند که از مارن‌های گچ‌دار به سمت تراس‌ها و پادگانه‌های دامنه‌ای تا رسوبات بستر رودخانه‌ای جوانتر می‌شوند. این رسوبات گسترش وسیعی در ناحیه‌ی گل‌گهر داشته و اغلب مناطق را پوشانده‌اند. چین خوردگی و بویژه گسلش از ساخت‌های تکتونیک عمده در منطقه گل‌گهر هستند. گسل‌ها اکثراً دارای روند شمال غرب- جنوب شرق و شمالی- جنوبی بوده (ابراهیمی پور ۱۳۸۲) و فرآیند میلونیتی شدن در زون‌های برشی بخوبی مشهود است.



شکل ۱-الف- نقشه زمین شناسی مجموعه گل گهر اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ گل گهر (سبزه‌ای ۱۳۷۴). ب- برش عرضی در راستای BA: ۱- سنگ‌های دگرگونی میکاشیست، کوارتزیت و آمفیول شیست، آمفیولیت، گرافیت شیست ۲- رسوبات کواترنری ۳- مرمر، ۴- گارنت شیست، ۵- گرانیت میلونیتی، ۶- گسل‌های احتمالی.

## روش مطالعه

عناصر اصلی و کمیاب آنها به روش ICP-MS اندازه‌گیری گردید. مقادیر آهن دو و سه ظرفیتی آمفیولیت‌ها با استفاده از روش شیمی تر در آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین شناسی ایران از یکدیگر تفکیک گردیدند.

پس از انجام مطالعات صحرایی، تعداد ۸۰ مقطع نازک و ۱۰ مقطع نازک-صیقلی جهت بررسی بافت و کانی‌شناسی از واحدهای دگرگونی تهیه شد. تعداد ۶ نمونه شامل ۳ نمونه میکاشیست و ۳ نمونه آمفیولیت انتخاب و

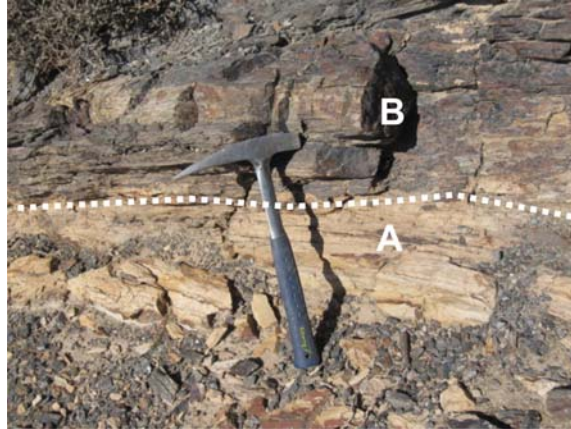
## مشاهدات صحرائی و پتروگرافی

در پیمایش انجام شده در راستای برش BA (شکل ۱)، توالی واحدهای مرمر، کالک شیست، میکاشیست، آمفیبول شیست، گرافیت شیست، آمفیبولیت و کوارتزیت مشاهده گردید. مرمرها، واحدهای آهکی دگرگون شده‌ای هستند که به رنگ کرم تا قهوه‌ای قابل مشاهده‌اند و به دلیل مقاومت بالا به شکل برآمدگی‌های خشنی در میان متاپلیت‌ها رخنمون دارند. کالک شیست‌ها، آمیخته‌ای از کوارتز و کلسیت هستند. متاپلیت‌ها از کوارتز، مسکویت  $\pm$  بیوتیت شیست تشکیل یافته که در برخی موارد پورفایروبلست‌های گارنت با قطر بیش از ۰/۵ میلیمتر در آنها به چشم می‌خورد. کانی‌های آلومینوسیلیکاته (آندالوزیت، سیلیمانیت و کیانیت) در متاپلیت‌های منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شوند.

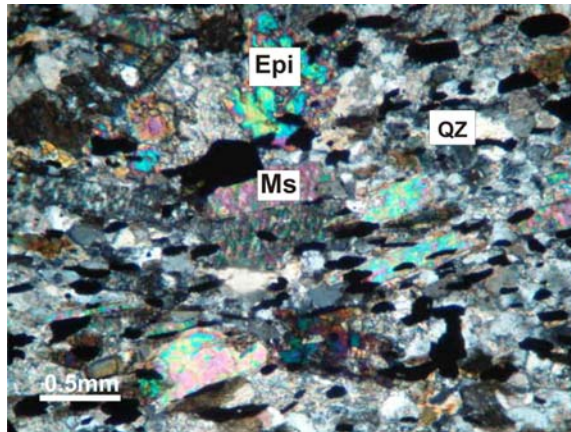
آمفیبول شیست از باندهای غنی از آمفیبول و کوارتز و مقادیر اندکی پلاژیوکلاز تشکیل یافته است. گرافیت شیست سنگی بسیار ریز دانه و سیاه رنگ می‌باشد که بادامک‌های نازک کوارتز در آن در جهت شیستوزیته سنگ کشیده شده‌اند. آمفیبولیت به رنگ سبز در توالی با سایر واحدها دیده می‌شود. در این نوع سنگ جدایش کانی‌های مافیک (آمفیبول، بیوتیت) از کانی‌های فلسیک (کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار آلکالن) منجر به ایجاد بافت شبه گنسی شده است که شدت این جدایش در بخش‌های مختلف پیمایش شده متفاوت می‌باشد.

کوارتزیت دارای بیش از ۹۰ درصد کوارتز است و بادامک‌هایی از کوارتز چند بلوری بشکل پورفایروبلست نیز در آن وجود دارد. گدازه‌های الترامافیک دگرگون شده که در مطالعات قبلی به آنها اشاره شده است (سبزه‌ای ۱۳۷۴) مشاهده نگردید و بنظر می‌رسد این توصیف مربوط به آمفیبولیت‌هایی است که در نمونه دستی به گدازه الترامافیک شباهت دارند. مرز میان تمامی این واحدها در

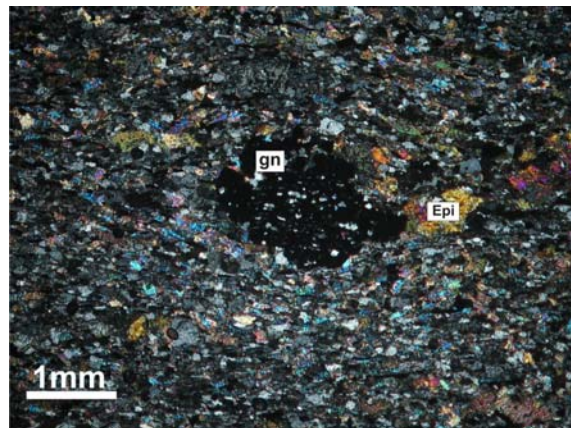
مجموعه گل‌گهر موازی و تدریجی است. در شکل ۲ مرز تدریجی میان واحد کالک شیست و کوارتز میکا شیست قابل مشاهده است و هیچ نشانه‌ای از رگه و یا دایک دیده نمی‌شود. افزایش و کاهش برخی از کانی‌ها در مقطع پیمایش شده روند منظمی را نشان می‌دهد. اگرچه بررسی روابط صحرائی راهکار مهمی در جهت تفکیک پارآمفیبولیت از اورتوآمفیبولیت است به طوری که گفته می‌شود (Evans and Leake 1960) پارآمفیبولیت اغلب با سنگهای رسوبی دگرگون شده و گریوک با مرز تدریجی همراه است و اورتوآمفیبولیت عمدتاً دایکی شکل بوده، سطح تماس آن با لایه‌های اطراف ناگهانی است و با سنگ‌های الترامافیک و گابروی همراه می‌باشد اما وجود توالی نازک از لاوهای بازالتی به شکل سیل میان رسوبات مشکل ساز بوده بنابراین استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی نیز الزامی می‌نماید. از نظر پتروگرافی کوارتز میکا شیست دارای مجموعه کانی‌های کوارتز (۲۰-۳۰ درصد)، بیوتیت و مسکویت (۳۰-۴۰ درصد)، پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپار (۱۰-۱۵ درصد)، کلسیت، اپیدوت، مگنتیت (۲۰-۳۰ درصد) است. بیوتیت، مسکویت و اپیدوت درشت دانه هستند و در زمینه‌ای از کوارتز کلسیت و فلدسپار قرار می‌گیرند. کلسیت ریز بلور در برخی نمونه‌ها همراه با این سنگ‌ها وجود دارد. فولیاسیون در این واحد به وضوح دیده می‌شود (شکل ۳). بیوتیت در اغلب موارد به کلریت دگرسان شده است که بیانگر دگرگونی پسروده می‌باشد. گارنت میکا شیست شامل مجموعه کانی‌های کوارتز (۲۰-۳۰ درصد)، بیوتیت و مسکویت (۳۰-۴۰ درصد)، گارنت (۱۰-۲۰ درصد) و اپیدوت، کلریت و مگنتیت به عنوان کانی فرعی می‌باشد. گارنت با قطر بیش از ۰/۵ میلیمتر دارای ادخال‌های کوارتز و مگنتیت می‌باشد که هم جهت با میکاها و سایر کانی‌های زمینه هستند (شکل ۴).



شکل ۲- مرز تدریجی میان کوارتز میکاشیست (A) و کالک شیست (B) در مجموعه گل گهر.



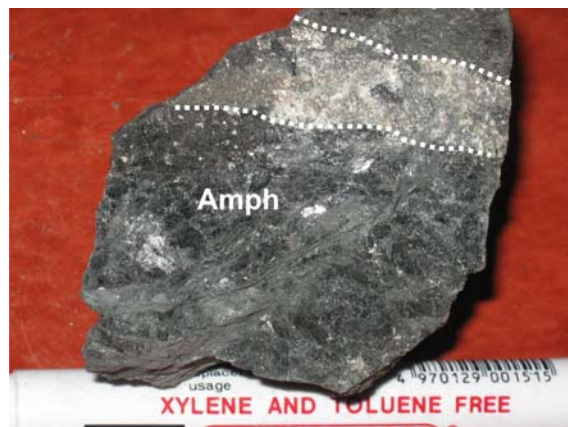
شکل ۳- تصویری از مسکویت (Ms)، اپیدوت (Epi) و کوارتز (Qz) در میکاشیست‌های گل گهر، دید در نور پلاریزه.



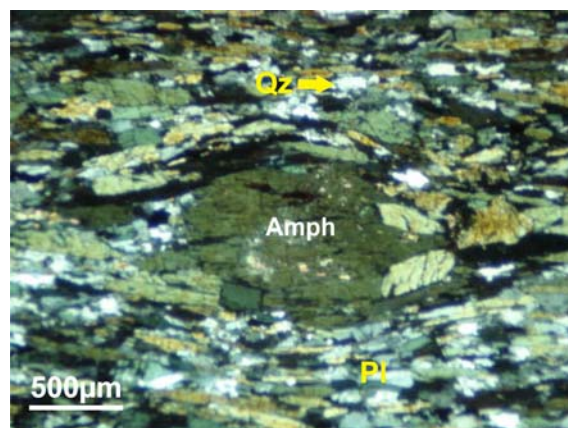
شکل ۴- کانی‌های گارنت (gn) و اپیدوت با زمینه کوارتز و بیوتیت در گارنت میکاشیست مجموعه گل گهر، دید در نور پلاریزه.

به اشتباه هورنبلاندیت نامیده شده‌اند ( Mucke and Younessi 1994). پلاژیوکلاز در برخی نمونه‌ها فراوانی کمتری در مقایسه با کوارتز دارد. خطوارگی بافت اصلی آمفیبولیت‌هاست که در مواردی میلونیتی شدن باعث ایجاد بادامک‌های تک بلوری پلاژیوکلاز و ریزساختار سیگموئیدی در پورفایروبلاست‌های آمفیبول شده است. (شکل ۶). دگرسانی‌های سوسوریتی و کلریتی حاصل از دگرگونی پسرونده در این سنگ‌ها دیده می‌شوند.

آمفیبولیت: کانی‌های اصلی آمفیبولیت شامل هورنبلند پلاژیوکلاز، کوارتز و فلدسپار آلکالن بوده و تیتانیت، اپیدوت، بیوتیت، کلسیت و مگنتیت جزو کانی‌های فرعی آن محسوب می‌شوند. در آمفیبولیت‌های منطقه کانی‌های گارنت و یا پیروکسن مشاهده نشده‌اند. آمفیبول در نمونه‌هایی که کانی‌های فلسیک از مافیک تفکیک حاصل کرده‌اند بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد (شکل ۵). چنین باندهای غنی از آمفیبولی در مطالعات قبلی



شکل ۵- باندهای تفکیک یافته کانی فلسیک (خط چین) از کانی آمفیبول (Amph) در آمفیبولیت‌های همراه با توده معدنی گل‌گهر.



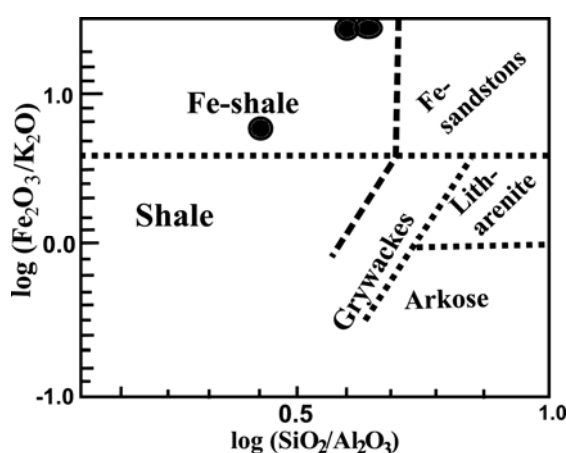
شکل ۶- بافت سیگموئیدی در پورفایروکلاست آمفیبول در زمینه کوارتز (Qz) و پلاژیوکلاز (Pl) در آمفیبولیت میلونیتی شده گل‌گهر دید در نور پلاریزه.

## ژئوشیمی

### متاپلیت‌ها

عناصر اصلی و کمیاب حاصل از آنالیز سه نمونه از متاپلیت‌ها شامل کوارتز میکا شیست، کالک بیوتیت شیست و گارنت میکا شیست، در جدول ۱ ارائه شده است. ژئوشیمی رسوبات شیلی به تعیین ترکیب سنگ منشأ و

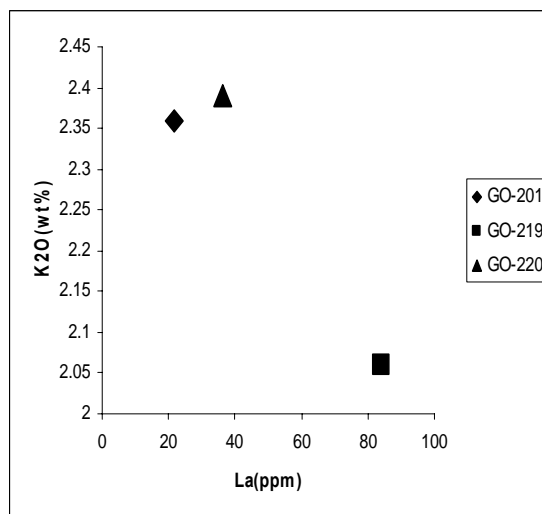
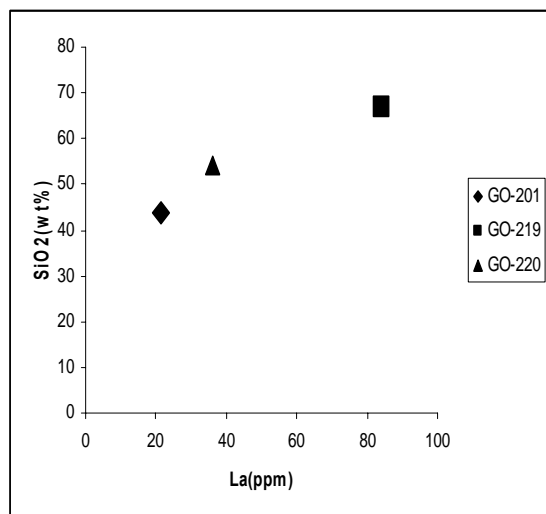
شرایط هوازدهگی آنها کمک می‌نماید. در نمودار Herron (1988)  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  در برابر  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  متاپلیت‌های مورد مطالعه در محدوده شیلهای آهن‌دار قرار می‌گیرند (شکل ۷). ذکر این نکته حائز اهمیت می‌باشد که مقادیر کانی‌های آهن‌دار این سنگ‌ها بالا است و بلورهای خودشکل مگنتیت دارای فراوانی زیادی هستند.



شکل ۷- نمودار  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  در مقابل  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  (Herron 1988). متاپلیت‌های منطقه گل‌گهر در محدوده شیلهای آهن‌دار قرار می‌گیرند.

$\sum\text{REE}$  (210-335 ppm)، و  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 10.57-15$ ،  
 $(\text{LREE}/\text{HREE})_N = 3.65-$  و  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1.05-2.11$   
 4.56 بوده که نسبت به متاپلیت‌های تشکیل شده در فشار بالا  
 با مقادیر  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 0.71-1.03$ ،  $(\text{LREE}/\text{HREE})_N = 1.89-$   
 3.34 و  $\sum\text{REE} = 78.92-157$  بیشتر است. نمونه‌های مورد  
 مطالعه با داشتن  $\sum\text{REE} = 123-380$  ppm و مقادیر  
 $(\text{La}/\text{Yb})_N = 10-12$  و  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1.75-2.5$  در فشار  
 متوسط دگرگونی بوجود آمده‌اند.

عناصر نادر خاکی متاپلیت‌ها با غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE مشخص می‌شود که از ویژگی‌ها شاخص شیلهای رسی پس از آرکئن است (Likhanov et al., 2008). رابطه مثبت میان مقدار LREE با مقدار  $\text{SiO}_2$  و رابطه منفی  $\text{K}_2\text{O}$  با عناصر نادر خاکی سبک در متاپلیت‌های گل‌گهر نشان‌دهنده تأثیر محتوای میکا و کوارتز در غلظت LREE متاپلیت‌ها است بطوریکه نمونه GO-219 با داشتن  $\text{SiO}_2$  بیشتر، بالاترین مقدار LREE را نیز در مقایسه با سایر نمونه‌ها دارد (شکل ۸). چنین رابطه‌ای توسط Likhanov et al. (2008) به اثبات رسیده است. Taylor and McLennan (1988) پیشنهاد می‌کنند متاپلیت‌های که در فشار پایین تشکیل می‌شوند دارای



شکل ۸- نمودار تغییرات مقادیر La در برابر SiO<sub>2</sub> و K<sub>2</sub>O برای متاپلیت های گل گهر.

## آمفیبولیت

از ۳ ظرفیتی برای محاسبه اعداد (Niggli (1954) (جدول ۲)

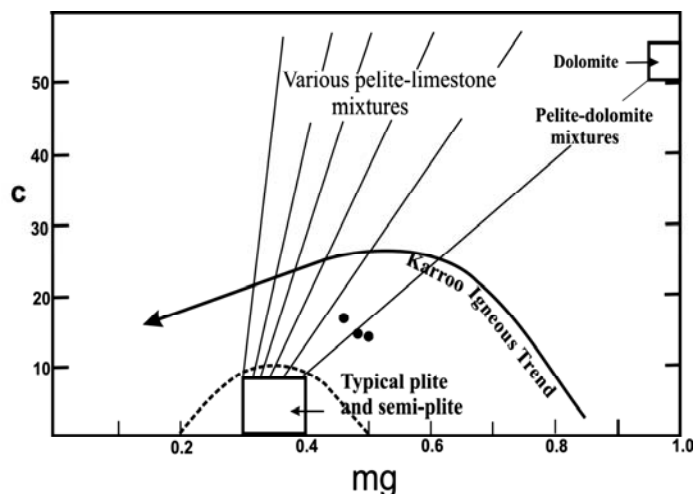
بر روی نمودارهای مورد نظر ترسیم شده‌اند که شامل:  
 ۱- نمودار mg در مقابل c: در این نمودار محدوده سنگ‌های پلیتی ایده‌آل و خطوط آمیختگی پلیت با رسوبات کربناته و دولومیت و همچنین روند آذرین (دولریت) با پیکان مشخص شده است (شکل ۹).  
 آمفیبولیت‌های مورد مطالعه در محدوده میان پلیت و دولریت در کنار خط آمیختگی با دولومیت قرار می‌گیرند.  
 ۲- نمودار mg در برابر Ni: بر روی این نمودار بخش‌های هاشور زده آمفیبولیت رسوبی را نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

نتایج آنالیز ۳ نمونه از سنگ‌های آمفیبولیتی کمپلکس گل‌گهر در جدول ۱ ارائه شده است. در اغلب مطالعاتی که برای تفکیک پارامفیبولیت از اورتوآمفیبولیت صورت گرفته است سعی گردیده عناصر اصلی سنگ کل را بر طبق پارامترهای (Niggli (1954) محاسبه کنند و نتایج بدست آمده را بر روی نمودارهایی که محدوده‌ی آذرین و رسوبی آنها با مطالعه دولریت Karroo و پلیت Littleton مشخص شده است ترسیم نمایند

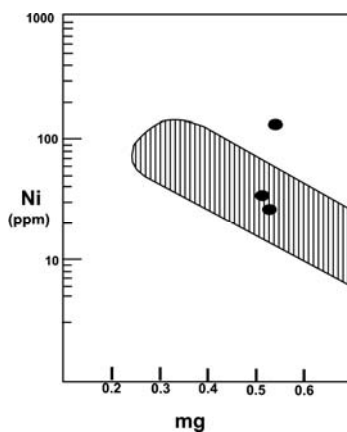
(Folley 1997; Leake 1964; So 1978);

Rivalenti & Sighinolfi 1969; Evans and Leake 1960; Van De Kamp 1968; Ahmed Said and Leake 1992; Moorhouse 1979) تا روند آذرین و یا رسوبی بودن آمفیبولیت‌ها مشخص گردد. داده‌های ژئوشیمیایی آمفیبولیت گل‌گهر نیز پس از تفکیک آهن ۲





شکل ۹- نمودار mg در برابر c، روند تفریق ماگمایی دولریت Karro و میدان پلیت، پلیت- دولومیت و پلیت- کلسیت (Leake 1964; Van De Kamp 1968). آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی گل گهر عمدتاً در محدوده نزدیک به پلیت و خط آغستگی پلیت-دولومیت قرار می‌گیرند.



شکل ۱۰- نمودار پارامتر mg (Niggli 1954) در برابر مقدار Ni (Leak 1964). برای آمفیبولیت‌های گل گهر. محدوده هاشور زده جایگاه رسوبی آمفیبولیت‌ها را نشان می‌دهد.

mg کاهش یابد نشان دهنده تفریق ماگمایی است (Walker and Poldervaart 1949). در آمفیبولیت‌های مورد مطالعه si با al, fm, و alk همبستگی دارد اما si با mg رابطه‌ی واضحی نشان نمی‌دهد بلکه بنظر می‌رسد که با افزایش si، mg نیز افزایش می‌یابد بنابراین از روند ذکر شده برای تفریق ماگمایی پیروی نمی‌کند (شکل ۱۱).

آمفیبولیت‌های گل گهر در نمودار mg-Ni عمدتاً در محدوده رسوبی قرار می‌گیرند. نمونه‌های GO- و GO-218 که هر دو در مقایسه با سایر نمونه‌ها میلونیتی شده‌اند به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار نیکل و کرم را دارا می‌باشند. ۳-نمودارهای si در مقابل al-alk, fm و mg: با توجه به این نمودارها اگر با افزایش si، al و alk افزایش و fm و

جدول ۱- نتایج آنالیز عناصر اصلی (بر حسب درصد وزنی) و کمیاب (بر حسب قسمت در میلیون) متاپلیت ها و آمفیبولیت های گل گهر.

	GO-201	GO-219	GO-220	G45	GO-209	GO-218
SiO <sub>2</sub>	۴۳/۸	۶۶/۸	۵۴/۱	۴۱/۹	۴۹/۱	۴۸/۶
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۶/۴۵	۱۵/۱	۱۲/۶۵	۱۲/۷	۱۳/۰۵	۱۳/۲
*Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۵/۵۵	۳/۴۶	۲/۰/۸	۸/۳۵	۵/۱	۱۲/۵۵
FeO	-	-	-	۱۰/۵	۱۰/۲	۸/۳۶
CaO	۶/۵۶	۲/۱۴	۱/۴۶	۸/۵۹	۵/۹۸	۴/۱۸
MgO	۱/۶۸	۰/۷۳	۱/۵	۹/۹	۸/۷۵	۷/۹۳
Na <sub>2</sub> O	۴/۸۷	۵/۳۶	۰/۸۹	۳/۰۴	۴/۴۴	۴/۳۷
K <sub>2</sub> O	۲/۳۶	۲/۰۶	۲/۳۹	۰/۴۳	۰/۱۲	۰/۱۸
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۶
TiO <sub>2</sub>	۳/۲۹	۰/۶۸	۲/۴۷	۰/۴۲	۱/۶۹	۲/۱۰
MnO	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۳	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۱۴
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۳	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۲۳
LOI	۳/۱۷	۱/۴۹	۱/۳۱	۲/۱	۱/۵۹	۱/۱۶
Totl%	۹۸/۲	۹۸/۲	۹۸/۲	۹۹	۱۰۰/۵	۹۸/۱
Ba	۹۶۶	۱۳۴۵	۲۷۵	۳۵/۱	۳۵/۳	۱۳/۵
Ce	۴۳/۸	۱۶۷	۶۷/۲	۱۳۹/۵	۱۵	۳۴/۲
Co	۲۴/۱	۲/۵	۲۲/۲	۳۳/۵	۴۴/۷	۴۴/۴
Cr	۴۰	۹	۴۰	۹۰	۳۰	۴۱۰
Cs	۰/۵	۰/۳۱	۱/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۰۵
Cu	۴	۴	۴	۱۳۱	۴	۸
Dy	۴/۹۴	۹/۰۱	۷/۴۴	۸/۱	۵/۱۳	۴/۸۴
Er	۲/۶۳	۵/۰۴	۳/۸۳	۴/۰۲	۳/۱۶	۲/۶۱
Eu	۱/۸۹	۳/۶۳	۲/۰۹	۲/۷۱	۱/۴۵	۱/۶۴
Ga	۲۶/۹	۲۵	۲۵/۷	۲۳/۲	۲۲/۱	۱۹/۳
Gd	۵/۹	۱۱/۲	۷/۳۴	۱۱/۳۵	۴/۱	۵/۲۷
Hf	۵/۹	۱۳	۷/۳	۳/۲	۲/۴	۴/۳
Ho	۰/۹۶	۱/۷۵	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۱۲	۰/۹۵
La	۲۱/۵	۸۴/۱	۳۶/۱	۷۹/۵	۶/۸	۱۴/۳
Lu	۰/۳۱	۰/۶۸	۰/۴	۰/۵۵	۰/۳۸	۰/۳
Nb	۲/۳۲	۱۱۶/۵	۴۳/۸	۶/۹	۶/۹	۱۷/۵
Nd	۲۵/۵	۶۷/۷	۳۷/۲	۵۷/۱	۱۰/۴	۲۱/۵
Ni	۷۰	۴	۳۱	۶۵	۵۰	۲۱۰
Pr	۶/۰۴	۱۸/۲	۹/۱۹	۱۵/۱	۲/۱۴	۴/۸۹
Rb	۳۳/۴	۳۵/۹	۵۳/۴	۷/۲	۲/۵	۰/۸
Sm	۶/۱۳	۱۱/۸۵	۸/۰۴	۱۲	۳/۳۵	۵/۳۲
Sr	۱۱۰	۵۹/۱	۱۰۳	۲۴/۷	۷۰/۳	۸۵/۵
Ta	۲/۱	۷/۱	۲/۷	۰/۵	۰/۴	۱/۲
Tb	۰/۹	۱/۶	۱/۲۱	۱/۶	۰/۷۶	۰/۸۷
Th	۳/۵	۱۲/۳۵	۴/۲۸	۱۰/۲۵	۱/۱۶	۲/۶۷
Tl	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
Tm	۰/۳۴	۰/۶۸	۰/۴۹	۰/۵۵	۰/۴۲	۰/۳۵
U	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۶۵	۸/۰۴	۰/۳۸	۰/۷۸
V	۳۱۵	۱۳	۲۰۳	۲۲۰	۴۴۰	۲۱۳
Y	۲۳/۸	۴۵/۳	۳۵/۷	۳۹	۲۷/۴	۲۴
Yb	۲/۲۱	۴/۴۸	۲/۸۵	۳/۶۲	۲/۶۸	۲/۱
Zn	۵۰	۲۵	۴۴	۴۱	۷۰	۱۳۷
Zr	۲۳۰	۵۸۶	۲۹۹	۱۰۵	۸۴	۱۶۳

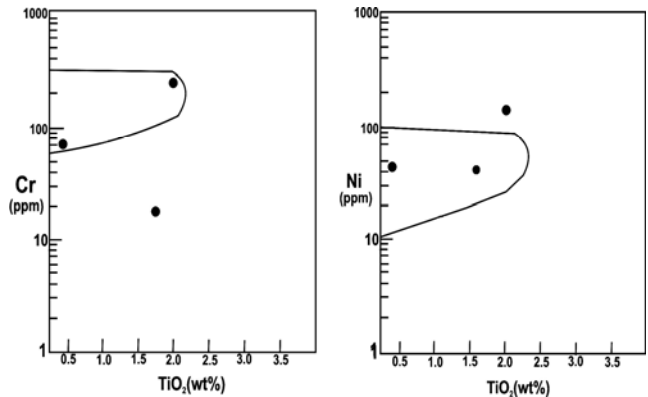
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> FeO

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

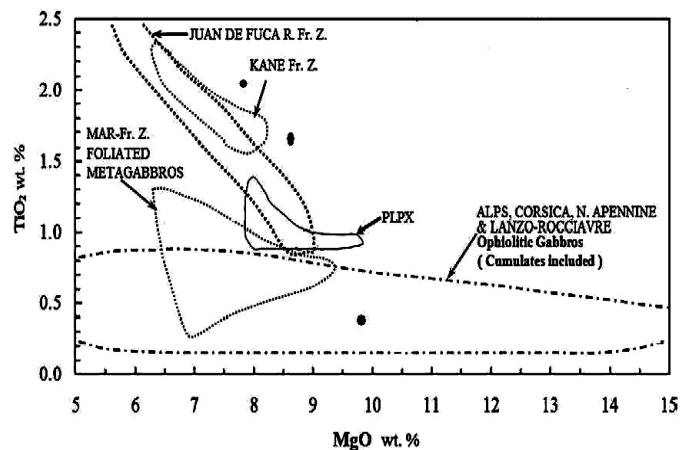
بطوریکه نمونه G45 دارای لنتزهای تفکیک یافته کانی‌های فلسیک از مافیک بوده و غنی از آمفیبول است. نمونه‌های GO-209 و GO-218 عمدتاً میلونیتی شده و مقدار آمفیبول آنها کمتر از G45 بوده و نسبت پلاژیوکلاز به آمفیبول تقریباً مشابهی دارند. در آمفیبولیت G45 نسبت  $Zr/Y$  برابر با ۲/۶۹ و مقدار  $\sum REE$  ۳۳۷ ppm می‌باشد و از LREE غنی شده است. آمفیبولیت GO209 دارای نسبت  $Zr/Y$  ۲/۲۹-۳/۸ بوده و مقدار  $\sum REE$  (۴۷-۱۲۲ ppm) کمتر از G45 است. در نمونه GO218 مقدار  $\sum REE$  ۹۹-۱۱۳ ppm و  $Zr/Y$  ۳/۳-۶/۷ ppm است. عناصر نادر خاکی در میکاشیست‌ها و آمفیبولیت‌های گل‌گهر روند نسبتاً مشابهی را نشان می‌دهند.

### بحث

شواهدی همچون وفور واحدهای شیلی دگرگون شده (میکاشیست‌ها) در توالی با واحدهای کربناته دگرگونی (کلستی-دولومیتی)، مرز تدریجی میان آنها و تغییر تدریجی از واحدهای غنی از شیل به سمت واحدهای غنی از کربنات، عدم وجود دایک و رگه در واحدهای مجموعه گل‌گهر، مقادیر کم پلاژیوکلاز و بالا بودن میزان کوارتز، عدم وجود کانی پیروکسن که طبق نظر (Redby and Murty 1975) نشان‌دهنده آمفیبولیت با سنگ مادر آذرین است، پایین بودن مقدار عناصر Cr, Ni, Co در مقایسه با میزان mg نسبتاً بالای آمفیبولیت‌ها و همچنین عدم کاهش mg با افزایش si سنگ همگی بیانگر این نکته هستند که آمفیبولیت‌های کمپلکس



شکل ۱۱- نمودارهای  $TiO_2$  در مقابل Cr و Ni (Leake 1964) محدوده نشان داده شده مربوط به آمفیبولیت با پروتولیت رسوبی است. آمفیبولیت گل‌گهر عمدتاً در بخش رسوبی این نمودارها تمرکز دارند.



شکل ۱۲- نمودار  $MgO$  در مقابل  $TiO_2$  محدوده‌های مشخص شده انواع سنگ‌های گابرویی مرتبط با کمپلکس‌های افیولیتی آلبی و زون‌های گسل خرده ترانسفورم اقیانوسی است. پراکندگی آمفیبولیت‌های گل‌گهر روی آن نشان داده شده است.

میلونیتی شدن سنگ اتفاق افتاده باشد (Gartzos et al. 2008). همچنین مقادیر تقریباً مشابه REE در متاپلیت‌ها و آمفیبولیت‌ها احتمال هم منشأ بودن این سنگ‌ها را قوت می‌بخشد. البته تفاوت‌های اندکی که در LREE این سنگ‌ها دیده می‌شود احتمالاً در طی دگرگونی، دگرسانی و فرآیند میلونیتی شدن سنگ‌ها حادث شده است. با توجه به این شواهد چنین بنظر می‌رسد که رسوبات شیلی غنی از آهن در زمان‌های مختلف (احتمالاً پالئوزوئیک و پیش از آن) همراه با رسوبات کربناته منیزیم‌دار ته‌نشین شده‌اند. دگرگونی پیش‌رونده تا درجات رخساره آمفیبولیت تشکیل متاپلیت‌ها از رسوبات شیلی و آمفیبولیت از رسوبات مارنی (۵۰٪ کربنات با ۵۰٪ شیل) را باعث گردیده است. بر این اساس می‌توان ستون چینه شناسی واحدهای سنگی کمپلکس گل‌گهر را بازسازی نمود (شکل ۱۳).

گل‌گهر دارای منشأ رسوبی مارنی می‌باشند. از طرفی آمفیبولیت‌های گل‌گهر در مقایسه با آمفیبولیت‌های کمرندهای گرین استون جنوب غربی گرینلند (Calderón et al. 2008; 2009)، کمرند افیولیتی یونان (Gartzos et al. 2008)، حاشیه غربی ایبریا (Nagihara and Casey 2001)، کمپلکس دگرگونی قوری نیریز در ایران (Fazlnia et al. 2009)، کمپلکس دگرگونی ماتیک در مصر (Neumayr et al. 1996) و کمرند زامبیا در زیمبابوه (Munyanyiwa et al. 1997) که همگی منشأ آذرین دارند، مقادیر کرم و نیکل کمتر و  $\Sigma$ REE بالاتری دارد. همچنین کانی‌های پیروکسن و گارنت در اغلب این مناطق همراه با آمفیبولیت گزارش شده‌اند اما در آمفیبولیت گل‌گهر این کانی‌ها دیده نشده‌اند. بالا بودن غیر عادی مقادیر MgO, Cr, Ni همراه با  $TiO_2$  در  $Fe_2O_3$  و V اما پایین بودن غلظت Sr و LREE در آمفیبولیت‌های شماره GO-209, GO-218 نسبت به سایر نمونه‌ها ممکن است در نتیجه نحوی نمونه‌برداری و یا

ارزیابی منشأ رسوبی آمفیبولیت‌ها و متاپلیت‌های میزبان کانسار آهن.....

لیتولوژی	معادل رسوبی واحدهای دگرگونی	واحدهای دگرگونی
	ماسه سنگ	کوارتزیت
	شیل	گارنت میکا شیست
	مارن	آمفیبولیت
	شیل دارای مواد آلی	گرافیت شیست
	مارن	آمفیبولیت
	شیل	میکا شیست
	سنگ آهک دولومیتی	مرمر
	شیل	میکا شیست
	مارن آغشته به مواد آلی	کالک شیست
	سنگ آهک	مرمر

شکل ۱۴- ستون چینه شناسی و لیتولوژی واحدهای سنگی مجموعه گل گهر. ضخامت واحدها نسبی در نظر گرفته شده است.

## نتیجه گیری

با توجه به مشاهدات صحرایی همچون حضور واحدهای پلیتی دگرگون شده در توالی با واحدهای آمفیبولیتی با مرز تدریجی در کمپلکس گل گهر و شواهد پتروگرافی مانند فراوانی کوارتز در مقایسه با پلاژیوکلاز در آمفیبولیت ها و عدم وجود پیروکسن و گارنت در این سنگ ها و نتایج حاصل از بررسی داده های ژئوشیمیایی اعم از فراوانی عناصر Cr, Ni و REE و مقایسه غلظت عناصر نادرخاکی در متاپلیت ها با آمفیبولیت ها و همچنین محاسبه اعداد Niggli (1954) برای آمفیبولیت ها و ترسیم آن روی دیاگرام های تفکیک پارا از اورتوآمفیبولیت چنین استدلال می شود که متاپلیت ها واحدهای شیلی آهنگار و آمفیبولیت های کمپلکس گل گهر نیز رسوباتی با منشأ مارنی هستند که تا درجات رخساره آمفیبولیت دگرگون شده اند.

## منابع

- 1- ابراهیمی پور، ر.، ۱۳۸۲، مطالعه خواص مهندسی درزه ها و جریان سیال در درزه ها در معدن سنگ آهن گل گهر: رساله کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- 2- سبزه ای، م.، ۱۳۷۴، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی گل گهر، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی ایران.
- 3- یعقوبی، ع.، ۱۳۷۸، بررسی ژئوشیمی و ژنز کانسار شماره ۲ گل گهر: رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز.
- 3-Ahmed-Said, Y., and B.E. Leake, 1992, The composition and origin of the Kef Lakhel amphibolites and associated amphibolite and olivine-rich enclaves, Edough, Annaba NE Algeria: Mineralogical Magazine, v. 56, p. 459-468.
- 4- Calderón-Ordóñez, J.C., A. Polat., B.J. Fryer., P.W.U. Appel., J.A.M. van Gool., Y. Dilek., and J.E. Gagnon, 2009, Geochemistry and geodynamic origin of the Mesoarchean Ujarassuit and Ivisaartoq greenstone belts, SW Greenland: Lithos, v. 113, p. 133-157.
- 5- Calderón-Ordóñez, J.C., A. Polat., B.J. Fryer., J.E. Gagnon., J.G. Raith, and P.W.U. Appel, 2008, Evidence for HFSE and REE mobility during calc-6- silicate metasomatism, Mesoarchean (~3075 Ma) Ivisaartoq greenstone belt, southern West Greenland: Precambrian Research., v. 161, p. 317-340.
- 7- So, C.-S., 1978, Geochemistry and Origin of Amphibolite and Magnetite from the Yangyang Iron Deposit in the Gyeonggi Metamorphic Complex, Republic of Korea: Mineral.Deposita., v. 13, p. 105-117.
- 8- Evans, B.W., and B.E. Leake, 1960, The composition and origin of the striped amphibolites of Connemara, Ireland: Petrology, v. 1, p. 337-363.
- 9- Fazlnia, A.n., V. Schenk., F. V. D Straaten, and M.S. Mirmohammadi, 2009, Petrology, geochemistry, and geochronology of trondhjemites from the Qori Complex, Neyriz, Iran: Lithos., v. 112, p. 413-433.
- 10- Folley, M., 1997, Geochemistry and tectonic setting of proterzoic amphibolite from the Southern Front Range and Northern Wet mountains, central

Canada: *The Canadian Mineralogist*, v. 43, p. 263–294.

18- Munyanyiwa, H., R.E. Hansor., T.G. Blenkinsop., and P.J. Treloar, 1997, Geochemistry of amphibolites and quartzofeldspathic gneisses in the Pan-African Zambezi belt, northwest Zimbabwe: evidence for bimodal magmatism in a continental rift setting: *Precambrian Research*, v. 81, p. 179-196.

19- Nagihara, S.S., and J.F. Casey, 2001, 10. Whole-rock geochemistry of amphibolites and metagabbros from the west Iberia margin, leg 1731: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, v. 173, p. 1-20.

20- Neumayr, P., A. Mogessie., G. Hoinkes. and J. Puel, 1996, Geological setting of the Meatiq metamorphic core complex in the Eastern Desert of Egypt based on amphibolite geochemistry: *Journal of African Earth Sciences.*, v. 23, no. 3, p. 331-345.

21- Niggli, P., 1954, *Rocks and mineral deposits*: San Francisco, Freeman., 559 p.

22- Redby, G.L., and M.S. Murty, 1975, Amphibolites from Kuderu and Atmakuru areas, Anantapur district, and Hrapradesh, South India: *Canadian mineralogist*, v. 13, p. 205-207.

23- Rivalenti, G., and G.P. Sighinolfi, 1969, Geochemical study of gray wackes as a possible starting material of para-amphibolites: *Contr. Mineralogy and Petrology*, v. 23, p. 173-188.

24- Sheikholeslami, R., H. Bellon, H. Emami, M. Sabzehei, and A. Pique, 2003, Nouvelles donnees structurales et datations  $40\text{K}-40\text{Ar}$  sur les roches metamorphiques de la region de Neyriz (Zone de Sanandaj-Sirjan, Iran meridional) Leur interet dans

Colorado: Tenth Keck Research Symposium in Geology proceedings, p. 265-268.

11- Gartzos, E., V.J. Dietrich., G. Migiros., K. Serelis. and Th. Lymperopoulou, 2008, The origin of amphibolites from metamorphic soles beneath the ultramafic ophiolites in Evia and Lesvos (Greece) and their geotectonic implication: *Lithos.*, p. 1-19.

12- Herron, M.M., 1988, Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data: *Journal Sedimentary Petrology*, v. 58, p. 820–829.

13- Leake, B.E., 1964, The chemical distinction between ortho-and para- amphibolites: *Journal of Petrology*, v. 5, p. 238-254.

14- Likhanov, I.I., V.V. Reverdatto, and A.E. Vershinin, 2008, Fe-and Al-Rich metapelite of the Teiskaya Group, Yenisei range, geochemistry, protoliths and the behavior of their material during metamorphism: *Geochemistry International*, v. 46, no. 1, p. 17-36.

15- Moorhouse, S.J., and V.E. Moorhouse, 1979, The Moine amphibolite suites of central and northern Sutherland, Scotland: *Min. Mag*, v. 43, p. 211-225.

16- Mucke, A., and R.Younessi, 1994, Magnetite-apatite deposits (Kiruna-type) along the Sanandaj-Sirjan zone and the Bafq area, Iran, associated with ultramafic and calcalkaline rocks and carbonatites: *Mineralogy and petrology*, v. 50, p. 219-244.

17- Mulrooney, D., and T. Rivers, 2005, Redistribution of the rare-earth elements among coexisting minerals in metamafic rocks across the epidote-out isograd: an example from the St. Anthony complex, northern Newfoundland,

and Montana: New data and interpretation: Geological Society of America Bulletin, v. 80, p. 1127-1136.

27- Walker, F., and A. Poldervaart, 1949, Karroo dolerites of the Union of South Africa: Bull. Geol. Soc. Amer, v. 60, p. 591-706.

le cadre du domaine neo- tethysien du Moyen-Orient C. R: Geoscience, v. 335, p. 981-991.

25- Taylor, S.R., and S.M. McLennan, 1988, The continental crust, its composition and evolution: Blackwell Oxford, 379 p.

26- Van de kamp, P.C., 1968, Origin of amphibolites in the Beartooth Mountains, Wyoming