



بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی متاپلیت‌های منطقه گل‌گهر در گستره کانسار آهن گل‌گهر، جنوب-غرب سیرجان

رضوان میرزایی راینی^{۱*}، علی احمدی^۱، حسن میرنژاد^۲، محمدبومری^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

(دریافت مقاله: ۹۶/۵/۷، نسخه نهایی: ۹۶/۹/۱۱)

چکیده: مجموعه دگرگونی گل‌گهر در ۵۵ کیلومتری جنوب‌غرب سیرجان و بخش شرقی پهنه سندرچ-سیرجان قرار دارد. سنگ‌های موجود در منطقه، در رخساره‌های شیست سبز و آمفیبولیت بالایی با سن ژوراسیک میانی دگرگون شده مجموعه‌ای از سنگ‌های متاپلیتی (میکاشیست و گنیس)، متابازیتی، متاکربناتی را تشکیل داده‌اند. بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که رسوبات اولیه متاپلیت‌ها، شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌هایی جورنشده‌ای هستند که اغلب از مواد خاستگاه با ترکیب اسیدی تا حدواسط تشکیل شده‌اند. ناحیه خاستگاه، هوازدگی شیمیایی ضعیف تا متوسط را نشان می‌دهد. مقدار نسبتاً کم کرم با میانگین ۹۹/۶۷ ppm و نیکل با میانگین ۵۶ ppm در شیست‌های مورد بررسی، با تراکم این عناصر در شیست‌های پس از آرکئن همخوانی دارند گنیس‌های منطقه گل‌گهر نشان می‌دهد که این سنگ‌ها ترکیب رسوبی دارند (پاراگنیس) و از سنگ‌های فقیر از آلومینیوم به دست آمده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زمین‌شیمی؛ گل‌گهر؛ متاپلیت؛ پهنه سندرچ-سیرجان.

مقدمه

بررسی زمین‌شیمیایی بر سنگ کل متاپلیت‌ها، اطلاعات ارزشمندی درباره زادگاه رسوبی و همچنین سنگ آذرین مادر رسوبات در اختیار ما قرار می‌دهد. این منطقه توسط برخی از پژوهشگران بررسی شده است [۷-۱]. بیشتر پژوهش‌های انجام شده بر خاستگاه کانسار تاکید دارند و بررسی جامعی بر سنگ‌های میزبان این کانسار که خود نقش مهمی در فهم بهتر شرایط حاکم بر منطقه و در نهایت خاستگاه کانسار دارد، انجام نگرفته است. در این پژوهش با استفاده از زمین‌شیمی سنگ کل و بررسی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر سنگ‌های متاپلیتی موجود در منطقه (شیست‌ها و گنیس‌ها)، ترکیب سنگ مادر (پروتولیت) متاپلیت‌ها در منطقه گل‌گهر بررسی شده و سرانجام با استفاده از داده‌های زمین‌شیمیایی، محیط تشکیل این سنگ‌ها مشخص شده است.

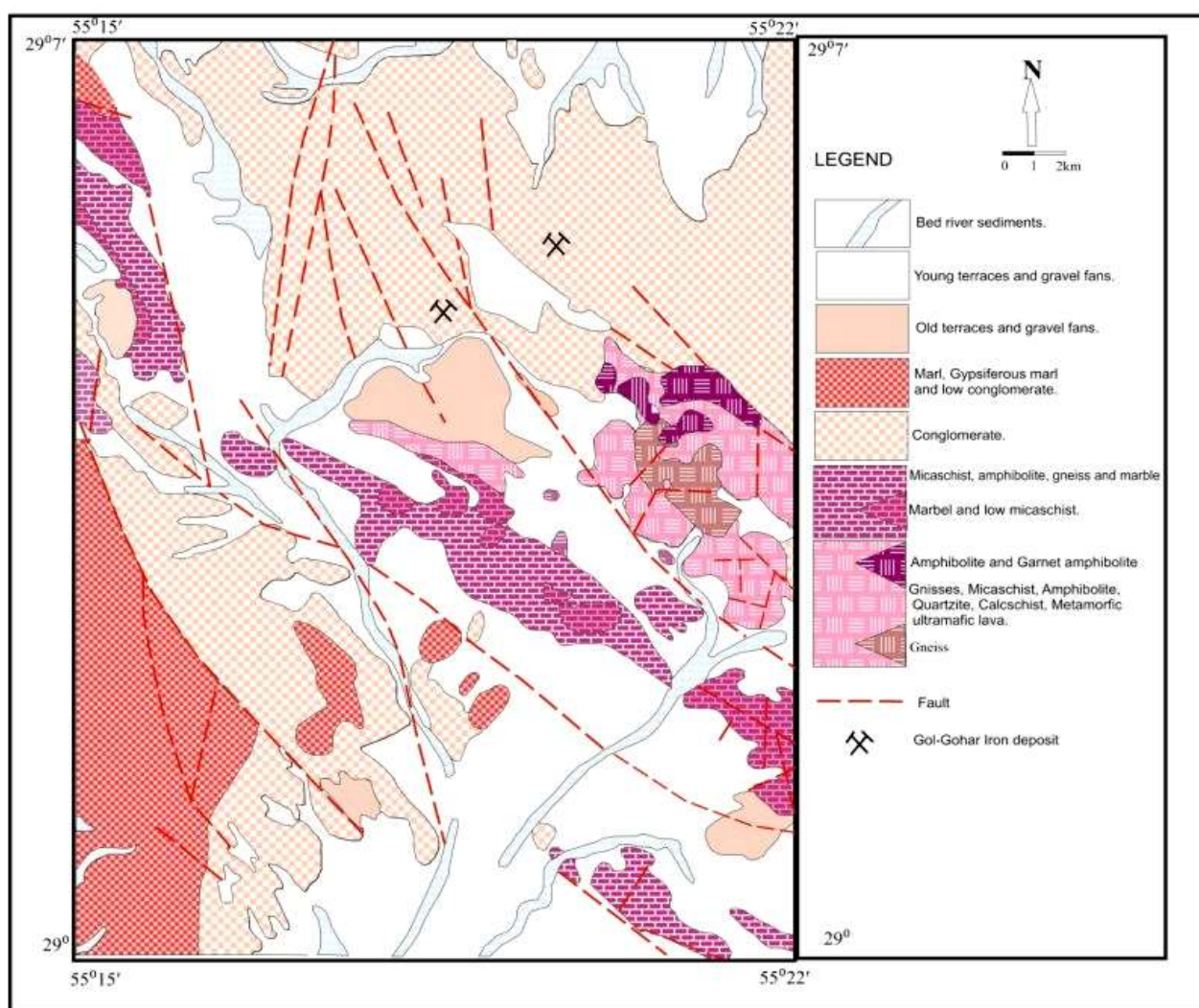
مجموعه دگرگونی گل‌گهر در ۵۵ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان سیرجان در استان کرمان و در بخش شرقی پهنه ساختاری سندرچ-سیرجان قرار دارد. این مجموعه به عنوان قدیمی‌ترین واحد سنگی این منطقه به‌شمار می‌آید و میزبان یکی از بزرگترین کانسارهای آهن در ایران است. واحدهای سنگی مختلفی در منطقه وجود دارد که همه آنها شرایط دگرگونی در رخساره‌های شیست سبز و آمفیبولیت را نشان می‌دهند. بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی سنگ‌های دگرگونه موجود در منطقه، به شناخت ماهیت زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی سنگ‌های رسوبی اولیه کمک می‌کنند و با تکیه بر ترکیب شیمیایی (سنگ‌های اولیه)، به‌ویژه عناصر پایستار در محیط‌های رسوبی، می‌توان سنگ‌های دگرگون موجود در منطقه را از نظر شیمیایی شناسایی کرد. به عبارت دیگر،

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۳۹۷۹۲۳۲، پست الکترونیکی: Rezvanmirzaei@pgs.usb.ac.ir

زمین‌شناسی عمومی منطقه

همبافت دگرگونی گل‌گهر در بخش شرقی پهنه سندرچ-سیرجان قرار دارد. پهنه ساختاری سندرچ-سیرجان به صورت نوار باریکی بین شهرهای سندرچ در شمال غرب و سیرجان در جنوب شرق قرار گرفته است. این همبافت از سنگ‌های دگرگونی مختلفی همچون متاپلیت‌ها، متابازیت‌ها و متاکربنات‌ها تشکیل شده است (شکل ۱). متاپلیت‌های موجود در منطقه به دلیل حضور کانیه‌های شاخص رخساره شیست سبز به رنگ‌های سبز روشن تا تیره متمایل به سیاه دیده می‌شوند و انواع سنگ‌های شیستی به شدت متورق تا گنیس‌ها را شامل می‌شوند. متابازیت‌ها شامل آمفیبول شیست‌ها، آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها هستند که به دلیل سختی بالای آن‌ها طی

بازدیدهای صحرایی، به راحتی از سایر واحدها قابل شناسایی هستند. سنگ‌های متاکربناتی به صورت متناوب همراه با متاپلیت‌ها وجود دارند و رأس همه واحدهای سنگی منطقه را نیز پوشانده‌اند. اندازه گیری نسبت های ایزوتوپی آرگون برای بیوتیت و هورنبلند شیستهای همبافت دگرگونی گل‌گهر، سن دگرگونی را ژوراسیک میانی نشان داده است [۸]. منطقه گل-گهر اغلب از آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است و رخنمون‌های محدودی از سنگ‌های دگرگونی در جنوب و جنوب غرب، سنگ‌های رسوبی در شرق و توده نفوذی گرانیت میلونیتی شده، به شکل گنبد کم ارتفاع، در جنوب کانسار برونزد دارند [۹].



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای ساده شده از منطقه گل‌گهر (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ گل‌گهر [۸] با تغییرات).

روش بررسی

نخست به منظور شناخت مقدماتی منطقه مورد مطالعه، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ گل‌گهر مورد بررسی شد و طی چند روز بازدید صحرایی، نمونه‌برداری از منطقه با استفاده از GPS انجام شد. به منظور بررسی سنگ‌شناسی سنگ‌های منطقه، تعداد ۵۰۰ نمونه مختلف از سنگ‌های مختلف جمع‌آوری و ۱۰۰ عدد از آن‌ها جهت تهیه مقطع نازک و نازک صیقلی انتخاب گردید. مقاطع نازک و نازک صیقلی جهت سنگ‌نگاری و نمونه‌ها برای تجزیه‌های زمین‌شیمیایی انتخاب و بررسی شدند. بررسی‌های زمین‌شیمیایی دقیق‌تر بر سنگ کل سنگ‌های دگرگونی در منطقه انجام گرفت. تعداد ۶ نمونه از شلیست‌ها، ۴ نمونه از گنیس‌ها در منطقه گل‌گهر جهت تعیین عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر در آزمایشگاه Actlabs

کانادا به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی لیزری (RA-ICP-MS) تجزیه شدند. نتایج این تجزیه‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

سنگ‌نگاری سنگ‌های دگرگونه منطقه گل‌گهر

سنگ‌های متاپلیتی در منطقه گل‌گهر اغلب همراه با سایر سنگ‌ها از جمله سنگ‌های متاکربناتی و متابازیت‌ها در نزدیکی توده معدنی دیده می‌شوند. این سنگ‌ها مهم‌ترین و فراوان‌ترین سنگ‌های موجود در منطقه هستند. سطوح براق سنگ‌های متاپلیتی به دلیل فراوانی حضور میکاها، و شلیست‌وارگی این سنگ‌ها، بازدیدهای آن‌ها طی مشاهدات صحرایی موثر است. متاپلیت‌های موجود در منطقه بر حسب کانی‌های فراوان و مهم موجود در آنها انواع مختلفی دارند که در زیر به توضیح آن‌ها می‌پردازیم.

جدول ۱ نتایج تجزیه سنگ کل شلیست‌های منطقه گل‌گهر.

Sample.no.	GO2-16	GO2-70	GO4-70	GO4-103	GO8-88	GO4-270
Major elements oxides (wt%)						
SiO ₂	۵۸٫۹۳	۵۳٫۵۷	۶۵٫۹۵	۶۴٫۵۸	۷۲٫۱۲	۶۶٫۷۸
TiO ₂	۰٫۵۷	۱٫۲۰	۰٫۶۶	۰٫۷۹	۰٫۶۳	۰٫۸۲
Al ₂ O ₃	۱۸٫۳۸	۱۴٫۲۷	۱۳٫۹۱	۱۴٫۲۱	۱۲٫۲۷	۱۳٫۰۰
Fe ₂ O ₃	۷٫۲۸	۹٫۴۸	۵٫۷۸	۵٫۱۵	۴٫۵۲	۴٫۷۲
MgO	۲٫۹۵	۳٫۳۷	۳٫۰۵	۳٫۳۳	۱٫۷۷	۲٫۷۹
CaO	۱٫۳۷	۸٫۷۴	۲٫۸۲	۲٫۹۳	۲٫۱۳	۲٫۸۲
Na ₂ O	۳٫۱۲	۲٫۹۴	۲٫۹۲	۲٫۹۸	۳٫۰۵	۳٫۱۵
K ₂ O	۴٫۳۶	۳٫۰۰	۲٫۶۶	۲٫۸۹	۱٫۷۷	۲٫۸۳
P ₂ O ₅	۰٫۰۹	۰٫۷۹	۰٫۱۸	۰٫۳۳	۰٫۱۷	۰٫۱۵
MnO	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۱۵
L.O.I	۲٫۸۹	۲٫۵۵	۱٫۹۹	۲٫۶۹	۱٫۴۲	۲٫۷۹
مجموع	۹۹٫۹۸	۹۹٫۹۶	۹۹٫۹۸	۹۹٫۹۷	۹۹٫۹۵	۱۰۰٫۰۰
عناصر خاکی نادر (ppm)						
La	۳۰٫۰۰	۴۵٫۰۰	۳۵٫۰۰	۳۷٫۰۰	۳۵٫۰۰	۳۱٫۰۰
Ce	۵۵٫۴۰	۸۳٫۰۰	۸۰٫۷۰	۷۱٫۰۰	۷۲٫۹۰	۵۹٫۰۰
Pr	۶٫۶۶	۹٫۱۲	۸٫۹۶	۷٫۸۲	۷٫۹۳	۶٫۶۲
Nd	۲۲٫۵۰	۳۶٫۲۰	۳۰٫۲۰	۲۸٫۹۰	۲۸٫۶۰	۲۵٫۱۰
Sm	۵٫۱۰	۷٫۳۰	۶٫۴۰	۵٫۸۳	۵٫۹۰	۴٫۹۰
Eu	۱٫۰۸	۱٫۹۰	۱٫۳۲	۱٫۲۹	۱٫۲۶	۱٫۱۴
Gd	۴٫۱۰	۶٫۷۸	۵٫۷۰	۵٫۳۶	۵٫۰۰	۴٫۸۷
Tb	۰٫۶۰	۱٫۰۶	۰٫۹۰	۰٫۸۶	۰٫۸۰	۰٫۹۶
Dy	۴٫۲۰	۵٫۷۱	۴٫۹۰	۴٫۶۸	۴٫۷۰	۶٫۵۶
Er	۲٫۸۰	۳٫۲۷	۲٫۵۰	۲٫۷۴	۲٫۵۰	۳٫۱۰
Tm	۰٫۴۴	۰٫۴۸	۰٫۳۷	۰٫۴۴	۰٫۳۸	۰٫۸۵
Yb	۲٫۹۰	۳٫۵۰	۲٫۵۰	۲٫۸۰	۲٫۶۰	۳٫۲۰
Lu	۰٫۴۶	۰٫۴۱	۰٫۳۹	۰٫۳۷	۰٫۴۰	۰٫۴۸

ادامه جدول ۱

Trace elements (ppm)						
Ag	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
As	۱۳۲.۰۰	۱.۶۰	۰.۰۵	۰.۱۰	۵.۰۰	۱.۲۰
Ba	۵۰۴.۰۰	۴۴۴.۰۰	۵۲۷.۰۰	۴۶۳.۰۰	۲۶۴.۰۰	۵۳۰.۰۰
Be	۳.۰۰	۳۲.۴۰	۲.۰۰	۵.۵۰	۲.۰۰	۱۳.۱۰
Bi	۰.۴۰	۱.۱۰	۰.۴۰	۰.۲۰	۰.۴۰	۰.۱۰
Co	۲۵.۰۰	۲۹.۵۰	۱۷.۰۰	۱۳.۸۰	۱۲.۰۰	۱۸.۹۰
Cr	۱۰۰.۰۰	۹۴.۰۰	۱۱۰.۰۰	۹۹.۰۰	۹۰.۰۰	۱۱۵.۰۰
Cs	۲.۶۰	۲.۴۰	۳.۴۰	۲.۷۰	۲.۵۰	۱.۸۰
Cu	۴۰.۰۰	۴۴.۰۰	۱۰.۰۰	۱۹.۰۰	۳۰.۰۰	۴۴.۰۰
Ga	۲۵.۰۰	۲۴.۰۰	۱۷.۰۰	۱۸.۰۰	۱۳.۰۰	۱۲.۰۰
Ge	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰
Hf	۳.۷۰	۳.۵۰	۵.۴۰	۵.۵۰	۵.۹۰	۵.۵۰
Ho	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۹۰
In	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰
Mo	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰
Nb	۹.۰۰	۸.۰۰	۷.۰۰	۶.۷۰	۸.۰۰	۵.۲۰
Ni	۶۰.۰۰	۴۶.۰۰	۶۰.۰۰	۵۴.۰۰	۵۰.۰۰	۶۶.۰۰
Pb	۵.۰۰	۱۲.۰۰	۲۲.۰۰	۱۱.۰۰	۱۸.۰۰	۱۰.۰۰
Rb	۱۴۵.۰۰	۵۳.۰۰	۱۰۴.۰۰	۶۸.۰۰	۷۶.۰۰	۶۲.۰۰
Sb	۰.۶۰	۰.۳۰	۱.۶۰	۰.۴۰	۰.۸۰	۰.۴۰
Sc	۱۸.۰۰	۲۰.۵۰	۱۲.۰۰	۱۳.۱۰	۹.۰۰	۲۵.۷۰
Sn	۱.۰۰	۴.۷۰	۲.۰۰	۲.۲۰	۲.۰۰	۰.۹۰
Sr	۱۰۱.۰۰	۲۲۴.۷۰	۲۶۲.۰۰	۱۵۶.۱۰	۱۷۹.۰۰	۲۱۲.۱۰
Ta	۰.۸۰	۱.۱۷	۰.۹۰	۰.۸۷	۱.۰۰	۰.۴۳
Th	۱۰.۲۰	۱۴.۵۲	۱۴.۵۰	۱۳.۰۴	۱۳.۸۰	۹.۳۲
U	۳.۰۰	۱.۵۰	۲.۸۰	۲.۴۰	۲.۸۰	۲.۸۰
V	۱۲۴.۰۰	۱۹۵.۰۰	۵.۰۰	۸۹.۰۰	۶۷.۰۰	۱۱۵.۰۰
W	۴.۰۰	۴.۵۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۳.۰۰	۰.۹۰
Y	۲۳.۰۰	۲۷.۸۰	۲۴.۰۰	۲۴.۳۰	۲۳.۰۰	۲۶.۹۰
Zn	۳۰.۰۰	۴۰	۷۰.۰۰	۵۸	۵۰.۰۰	۵۶
Zr	۱۲۴.۰۰	۱۲۲.۰۰	۱۹۸.۰۰	۱۳۰.۰۰	۲۱۷.۰۰	۱۱۸.۰۰

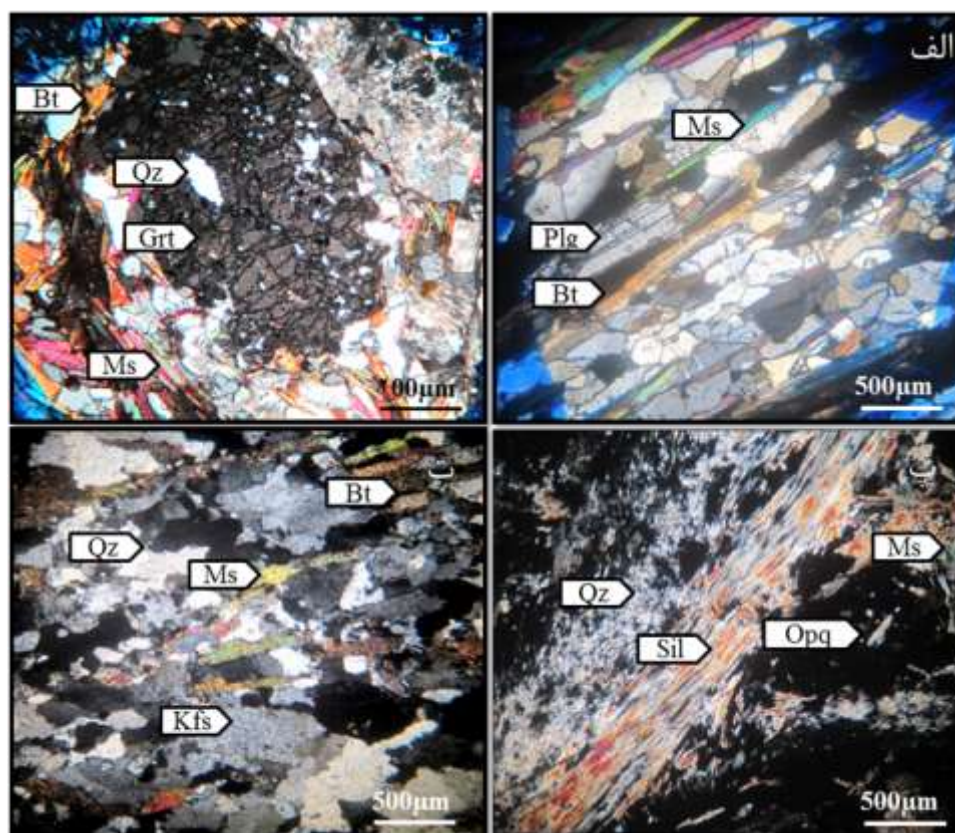
جدول ۲ نتایج تجزیه سنگ کل گنایس‌های منطقه گل‌گهر.

Sample.no.	GO4-11	GO2-149	GO4-15	GO4-12	Sample.no.	GO4-11	GO2-149	GO4-15	GO4-12
Major elements oxides (wt%)					Trace elements (ppm)				
SiO ₂	۷۲.۵۷	۷۳.۳۱	۷۱.۷۵	۷۱.۳۲	Ba	۷۶۵.۰۰	۶۸۶.۰۰	۷۶۵.۰۰	۶۰۱.۰۰
TiO ₂	۰.۲۸	۰.۳۹	۰.۳۵	۰.۲۸	Co	۳.۰۰	۱.۶۰	۱.۳۰	۱.۲۰
Al ₂ O ₃	۱۱.۹۲	۱۲.۸۶	۱۳.۶	۱۲.۵۷	Cr	۴۰.۰۰	۸.۰۰	۹.۰۰	۱۰.۰۰
Fe ₂ O ₃	۱.۵۴	۱.۵۲	۱.۵	۲.۲۵	Cs	۰.۴۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
MgO	۰.۷۴	۰.۷۴	۰.۶۷	۰.۴۷	Cu	۱۰.۰۰	۵.۰۰	۹.۰۰	۲۳.۰۰
CaO	۱.۹۱	۱.۹۶	۱.۷۸	۳.۱۵	Ga	۱۴.۰۰	۱۳.۰۰	۱۴.۰۰	۱۳.۰۰
Na ₂ O	۰.۳۸	۰.۷۱	۰.۷۹	۰.۳۶	Ge	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰	۲.۰۰
K ₂ O	۷.۸۶	۶.۶۶	۷.۷۸	۷.۷۸	Hf	۶.۹۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
P ₂ O ₅	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۵	۰.۰۳	Ho	۱.۶۰	۱.۵۸	۱.۶۰	۱.۴۹
MnO	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	In	۰.۱۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
L.O.I	۱.۶۹	۱.۸۳	۱.۷۷	۱.۸۶	Mo	۱.۳۰	۱.۳۶۰	۰.۸۰	۱.۳۰
Total	۹۹.۰۰	۱۰۰.۰۹	۱۰۰.۰۶	۱۰۰.۰۹	Ni	۱۵.۰۰	۸.۰۰	۹.۰۰	۶.۰۰
Rare earth elements(ppm)					Pb	۳.۰۰	۴.۰۰	۲.۰۰	۳.۰۰
La	۸۱.۳۰	۸۹.۰۰	۸۲.۰۰	۷۸.۰۰	Rb	۱۱۰.۰۰	۱۱۲.۰۰	۱۰۰.۰۰	۱۲۰.۰۰
Ce	۱۵۸.۰۰	۱۳۴.۰۰	۱۵۸.۰۰	۱۳۹.۰۰	Sb	۰.۹۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
Pr	۱۶۸.۰	۱۸۴.۸	۱۴۷.۱	۱۵۳.۸	Sc	۷.۰۰	۹.۹۰	۶.۶۰	۷.۲۰
Nd	۶۲.۹۰	۴۹.۵۰	۶۳.۴۰	۶۷.۰۰	Sn	۶.۰۰	۵.۱۰	۵.۵۰	۴.۲۰
Sm	۱۲.۲۰	۱۰.۱۳	۱۲.۷۰	۱۱.۱۳	Sr	۵۸.۰۰	۴۹.۲۰	۴۲.۲۰	۴۴.۵۰
Eu	۱.۸۳	۰.۸۲	۰.۴۸	۱.۸۰	Ta	۱.۰۰	۰.۹۷	۱.۱۷	۱.۰۰
Gd	۹.۵۰	۴.۶۴	۲.۷۸	۹.۶۶	Th	۱۷.۸۰	۱۳.۴۶	۱۷.۴۹	۱۶.۰۰
Tb	۱.۲۰	۰.۷۶	۰.۵۳	۱.۴۶	Tl	۰.۲۰	۰.۱۶	۰.۲۱	۰.۱۷
Dy	۷.۸۰	۴.۱۹	۳.۰۷	۷.۸۹	U	۴.۳۰	۲.۴۰	۳.۵۰	۳.۲۶
Er	۴.۷۰	۲.۱۹	۲.۰۸	۴.۸۹	V	۲۱.۰۰	۲۰.۰۰	۱۳.۰۰	۱۵.۰۰
Tm	۰.۶۹	۰.۳۶	۰.۳۶	۰.۷۳	W	۴.۰۰	۱.۸۰	۴.۸۰	۳.۹۰
Yb	۴.۷۰	۲.۱۰	۲.۳۰	۴.۴۰	Y	۴۳.۰۰	۲۳.۱۰	۲۱.۴۰	۴۶.۵۰
Lu	۰.۷۶	۰.۲۸	۰.۳۱	۰.۶۷	Zn	۲۵.۰۰	۸.۰۰	۹.۰۰	۵.۰۰
					Zr	۲۴۷.۰۰	۲۳۵.۰۰	۱۹۹.۰۰	۱۹۳.۰۰

اپیدوت، کلریت، کلسیت و کانی‌های کدر به عنوان کانی‌های فرعی هستند. گارنت‌های موجود در این نمونه‌ها بصورت شکل-دار تا نیمه شکل‌دار و در اندازه‌هایی حدود ۵ میلی‌متر تا یک سانتی‌متر حضور دارند و برخی از نمونه‌ها دارای میانبراهایی از کوارتز و بیوتیت هستند که بافت غربالی را تشکیل داده‌اند (شکل ۲ب). پلاژیوکلازهای موجود در این سنگ‌ها اغلب به-صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با ماکل چند ریختی دیده می‌شوند که در برخی نقاط به سریسیست تجزیه شده‌اند. کوارتز در این سنگ‌ها با اندازه‌های ۰/۲ تا ۵ میلی‌متر و به صورت بی-شکل، نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار همراه با خاموشی موجی دیده می‌شود. بلورهای کلسیت نیز به صورت شکل‌دار حضور دارند. وجود کانی‌های میکایی سبب تشکیل بافت ورقه شکفتی در کل سنگ و حضور بخش‌های غنی از کوارتز باعث تشکیل بافت دانه شکفتی در زمینه سنگ شده است. با توجه به این دو بافت می‌توان بافت عمومی دانه ورقه شکفتی را در مورد این سنگ‌ها به-کاربرد.

میکاشیست این سنگ‌ها از نظر سنگ‌نگاری دارای مجموعه کانی‌های کوارتز (۲۰-۳۰ درصد)، موسکویت (۱۰-۲۰ درصد)، بیوتیت (۲۰-۳۰ درصد)، پلاژیوکلاز (۱۰-۱۵ درصد)، کلسیت، و کانی‌های کدر شامل مگنتیت و به مقدار کم تر پیریت (۱۰-۵ درصد) هستند. بلورهای کوارتز به صورت شکل‌دار و نیمه‌شکل-دار با خاموشی موجی از فراوان‌ترین کانی‌های موجود در این سنگ‌ها هستند. پلاژیوکلازهای موجود در این نمونه‌ها سریسیتی شده‌اند. حضور کانی‌های میکایی سبب شیست‌وارگی آشکار و رنگ براق در این سنگ‌ها شده است. بیوتیت موجود در این سنگ‌ها در برخی نقاط به کلریت دگرسان شده و فرآیندهای دگرگونی سبب جهت‌یافتگی در این سنگ‌ها شده است (شکل ۲ الف). کلسیت، اپیدوت، کرافیت و کانی‌های کدر نیز به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شوند.

گارنت میکاشیست این سنگ‌ها اغلب دربردارنده بیوتیت (۳۰-۲۰)، موسکویت (۲۰-۱۰ درصد)، گارنت (۲۰-۱۰ درصد)، فلدسپات قلیایی (۵-۱۰ درصد)، کوارتز (۱۰-۱۵ درصد)، و



شکل ۲ الف: تصاویر میکروسکوپی از متاپلیت‌های منطقه گل‌گهر. الف: موسکویت (Ms)، بیوتیت (Bt) و پلاژیوکلاز (Plg) در میکاشیست‌های منطقه. ب: درشت بلورهای گارنت (Grt) در میکاشیست‌ها. پ: رشته‌های سیلیمانیت (Sil) به همراه کانی‌های کدر (Opq) در شیست‌ها. ت: کوارتز (Qz) و فلدسپات قلیایی (Kfs) به همراه کانی‌های میکایی در گنیس‌ها. علائم اختصاری نام کانی‌ها از مرجع [۱۰] گرفته شده است.

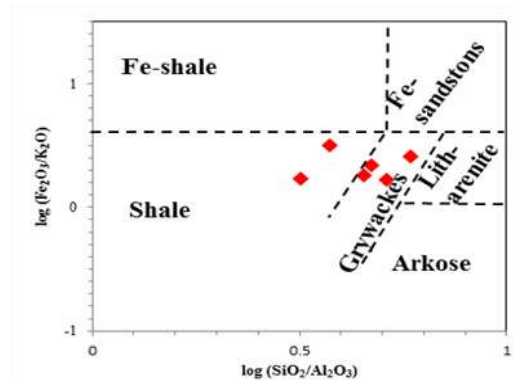
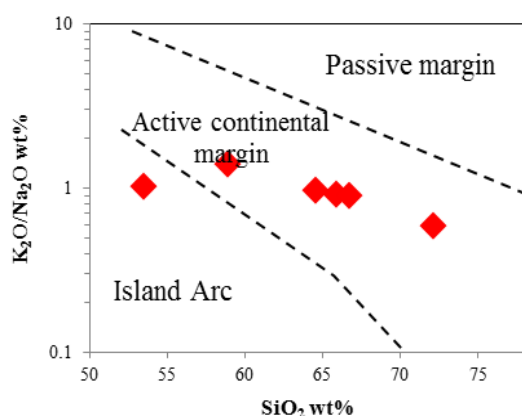
فراوانی حدود ۱۰ درصد حضور دارند و در برخی نقاط به سربست تبدیل شده‌اند. بیوتیت و موسکویت با فراوانی حدود ۵ درصد، از جمله کانی‌های صفحه‌ای موجود در این سنگ‌ها هستند. بیوتیت در برخی نقاط به کلریت تبدیل شده است. حضور کانی‌های میکایی (بیوتیت و موسکویت) و همبری این سنگ‌ها با سنگ‌های رسوبی، دلیلی برای خاستگاه رسوبی این گروه از سنگ‌هاست. بنابراین گنیس‌های موجود در منطقه گل-گهر از نوع پاراگنیس هستند.

ویژگی زمین‌شیمیایی متاپلیت‌ها در منطقه گل‌گهر

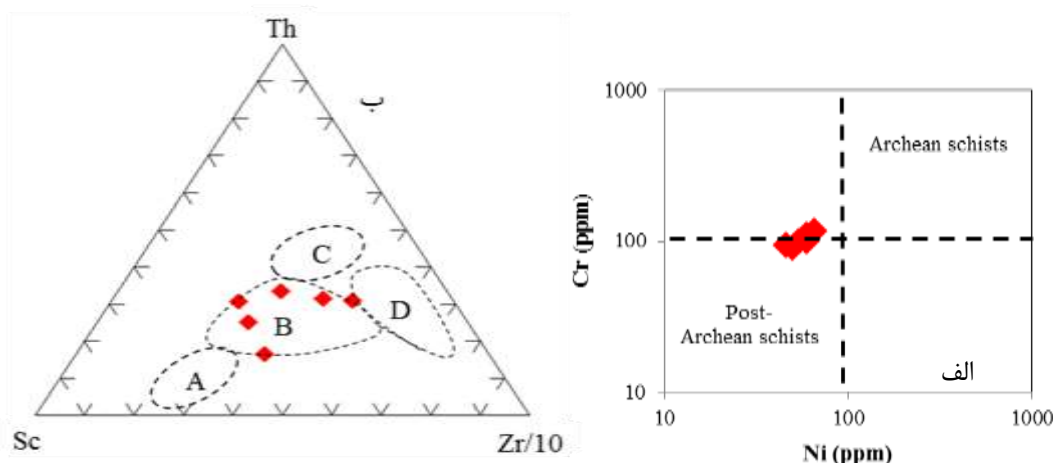
به منظور تعیین ترکیب سنگ مادر (پروتولیت) متاپلیت‌ها، از نمودار تجزیه‌ای $\log \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ نسبت به $\log \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [۱۱] استفاده شد. چنان که در شکل ۳ الف دیده می‌شود، شیت‌های مورد بررسی در گستره شیل و ماسه سنگ تیره قرار دارند و جایگاه کرانه فعال قاره‌ای را نشان می‌دهند [۱۲] (شکل ۳ ب). مقدار کرم با میانگین ۹۹/۶ppm و نیکل با میانگین ۵۶ppm در شیت‌های مورد بررسی با تراکم این عناصر در شیت‌های پس از آرکن همخوانی دارد (شکل ۴ الف) [۱۳]. در حالی که این شیت‌ها کاملاً از رسوبات دگرگونی آرکن مجزا هستند [۱۴، ۱۵]. نسبت فراوانی عناصر کمیاب بسیار ناسازگار Sc، Th و Zr (شکل ۴ ب) نشان می‌دهند که رسوبات پلیتی اولیه در یک جزیره کمانی قاره‌ای نهشته شده‌اند [۱۶]. تجزیه شیمیایی شیت‌های منطقه گل-گهر نشان می‌دهد که این نمونه‌ها از ۷۲-۵۳/۵ درصد وزنی SiO_2 و مقادیر متغیری از قلیایی‌ها $\text{Na}_2\text{O}=2-3\text{wt}\%$ ، $\text{K}_2\text{O}=1-4.3\text{wt}\%$ تشکیل شده‌اند.

سیلیمانیت شیت: سیلیمانیت موجود در سیلیمانیت شیت-های منطقه گل‌گهر به صورت بلورهای طولی و سوزنی شکل و گاهی به شکل دسته‌علفی دیده مشاهده می‌شود که سبب تشکیل بافت نخ‌شکفتی در این سنگ‌ها شده است (شکل ۲ پ). سیلیمانیت شیت‌های موجود در منطقه از کانی‌های گارنت (۱۵-۱۰ درصد)، بیوتیت (۲۰-۱۰ درصد)، موسکویت (۱۰-۵ درصد)، کوارتز (۱۰-۵ درصد)، فلدسپات قلیایی (۱۰-۵ درصد) و سیلیمانیت (۲۰-۳۰ درصد) تشکیل شده‌اند، اما فاقد کانی‌های آندالوزیت و استارولیت هستند. بیوتیت و موسکویت به صورت بلورهای منفرد و گاهی درهم‌تنیده با سیلیمانیت دیده می‌شود. گارنت‌ها به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار همراه با میانبارهایی از بیوتیت، موسکویت و کوارتز نیز در متن سنگ حضور دارند. فلدسپات‌های قلیایی موجود در این گروه از سنگ‌ها به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار وجود دارد. کانی‌های کدر نیز که اغلب مگنتیت هستند، به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شوند.

گنیس کوارتز، فلدسپات، پلاژیوکلاز، موسکویت و بیوتیت از جمله کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها هستند (شکل ۲ ت). کلریت، اپیدوت و کانی‌های کدر نیز به صورت فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. این سنگ‌ها اغلب به صورت ریز تا متوسط دانه در منطقه گل‌گهر دیده می‌شوند. دانه‌های کوارتز با فراوانی حدود ۵۰ درصد و خاموشی موجی، باز تبلور یافته و بافت موزاییکی را تشکیل داده‌اند. فلدسپات‌های قلیایی به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار حدود ۲۰ درصد از سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. پلاژیوکلازها نیز با ماکل چندریختی و



شکل ۳ الف: نمودار $\log \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ نسبت به $\log \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [۱۱]، که نشان‌دهنده ترکیب شیل و ماسه سنگ تیره شیت‌های گل‌گهر است. ب: نمودار تجزیه‌ای $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 [۱۲]، جهت شناسایی جایگاه زمین‌ساختی شیت‌های مورد بررسی.



شکل ۴ الف: نمودار دوتایی Ni-Cr برای شیت‌های مورد بررسی. میدان‌های مشخص شده برای شیت‌های آرکئن و پس از آرکئن برگرفته از مرجع [۱۳] است. ب: نمودار سه تایی Sc-Th-Zr/10 برای شیت‌های مورد بررسی. گستره‌های مشخص شده عبارتند از: A: جزایر کمانی اقیانوسی، B: جزایر کمانی قاره‌ای، C: کرانه فعال قاره‌ای و D: کرانه غیر فعال [۱۶]. پ: ترکیب نمونه‌های گل‌گهر بر نمودار SiO₂ نسبت به K₂O [۱۷].

هوازدگی در ناحیه خاستگاه

شیمی عناصر اصلی و کمیاب گل‌های عهد حاضر^۱ درجه هوازدگی ناحیه خاستگاه را مشخص می‌کند [۱۷]، که می‌توان آن را برای متاپلیت‌ها نیز استفاده کرد [۱۸]. درجات مختلف هوازدگی در ناحیه خاستگاه، باعث تهی‌شدگی نسبی عناصر قلیایی و قلیایی خاکی و غنی‌شدگی Al₂O₃ و TiO₂ و در نتیجه تشکیل سنگ‌های رسوبی آواری می‌شود [۲۱-۱۹]. آثار هوازدگی را می‌توان از نظر کمی، توسط شاخص‌های شیمیایی دگرسانی و یا شاخص‌های شیمیایی هوازدگی برآورد کرد. شاخص شیمیایی دگرسانی $CIA = 100[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)]$ به صورت مولار، و به شرط آن که CaO فقط به صورت موجود در سیلیکات‌ها فرض شود [۲۲] نشان داده می‌شود (جدول ۳). شاخص شیمیایی هوازدگی $(CIW = 100[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)])$ نیز به صورت مولار [۲۱]، محاسبه می‌شود (جدول ۳). به‌طور کلی سنگ‌های آذرین غیرهوازده با شاخص شیمیایی دگرسانی ۵۰، و یا کمتر مشخص می‌شوند؛ در حالی که هوازدگی گسترده رس‌های باقی مانده‌ای را تولید می‌کند که مقدار کائولینیت و گیپسیت بالایی دارند و در نتیجه این به حدود ۱۰۰ می‌رسد. مقدار شاخص شیمیایی دگرسانی نمونه‌های مورد بررسی حدوداً ۳۷ تا ۶۰ با میانگین ۵۰/۵ است. شاخص شیمیایی هوازدگی حدوداً ۴۰ تا ۷۱ با میانگین ۵۷ است. این گستره‌ها

نشان می‌دهند که سنگ‌ها در ناحیه خاستگاه سنگ اولیه رسوبات پلیتی دستخوش درجات پایین تا متوسطی از هوازدگی شیمیایی در مقایسه با میانگین شیل‌ها ($CIA = 70-23$) شده‌اند. شاخص تغییرات ترکیبی، 75، شده‌اند. شاخص تغییرات ترکیبی، $ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO) / (Al_2O_3 + TiO_2)$ [۲۴] فراوانی آلومین نسبت به دیگر کاتیون‌های اصلی در یک سنگ و یا کانی را اندازه‌گیری و به‌طور کلی درجه جورشدگی گل‌سنگ‌های منتقل شده به درون یک حوضه رسوبی را مشخص می‌کند. شاخص تغییرات ترکیبی در رسوبات پلیتی جورنشده بیش از یک است که با مقدار بالایی از کانی‌های سیلیکاتی غیر رسی مشخص می‌شوند. این رسوبات اغلب در محیط‌های زمین‌ساختی فعال یافت می‌شوند [۲۵]. به منظور مقایسه، رسوبات پلیتی جورشده و غنی‌شده از کانی‌های رسی، با شاخص‌های تغییرات ترکیبی کمتر [۲۴] مشخص می‌شوند. این گروه از رسوبات، مشخصه محیط‌های کراتونی یا از نظر زمین‌ساختی خاموش [۲۶]، اما از نظر هوازدگی و تولید مواد فعال هستند. در این پژوهش مقدار ICV در گستره‌ای بین ۱ تا ۳ با میانگین ۲/۰۷ است (جدول ۳). مقدار ICV بالا در نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که سنگ‌مادر متاپلیت‌ها از سنگ‌های پلیتی جورنشده تولید شده و درجه پایین هوازدگی شیمیایی در ناحیه خاستگاه، احتمالاً به دلیل فعالیت‌های زمین‌ساختی است که با موقعیت زمین-ساختی در یک نظام جزایر کمانی قاره‌ای همخوانی دارد (شکل ۴ ب).

1- Modern muds.

جدول ۳ شاخص‌های شیمیایی دگرسانی، هوازگی و تغییرات ترکیب.

Sample.no.	GO2-16 (Micaschist)	GO2-70 (Micaschist)	GO4-70 (Garnet micaschist)	GO4-103 (Micaschist)	GO8-88 (Garnet micaschist)	GO4-270 (Garnet micaschist)
CIA	۵۹٫۸۲	۳۷٫۳۱	۵۲٫۰۶	۵۱٫۵۴	۵۳٫۱۷	۴۹٫۲۹
CIW	۷۰٫۶۸	۴۰٫۷۷	۵۸٫۳۵	۵۸٫۱۴	۵۷٫۹۹	۵۵٫۷۷
ICV	۱٫۶۰	۳٫۱۳	۱٫۹۰	۲٫۰۰	۱٫۷۱	۲٫۰۷

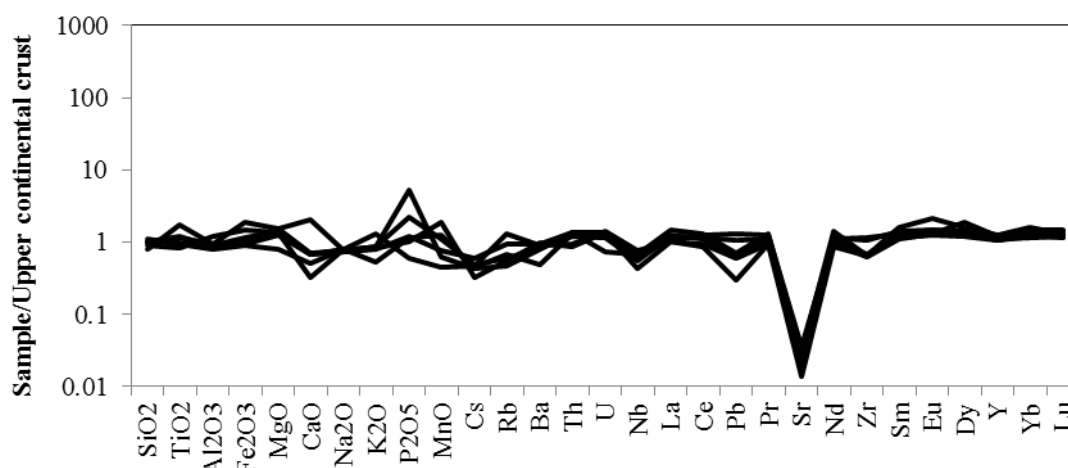
CIA: شاخص شیمیایی دگرسانی. CIW: شاخص شیمیایی هوازگی. ICV: شاخص تغییرات ترکیب.

خاستگاه سنگ‌مادر متاپلیت‌ها

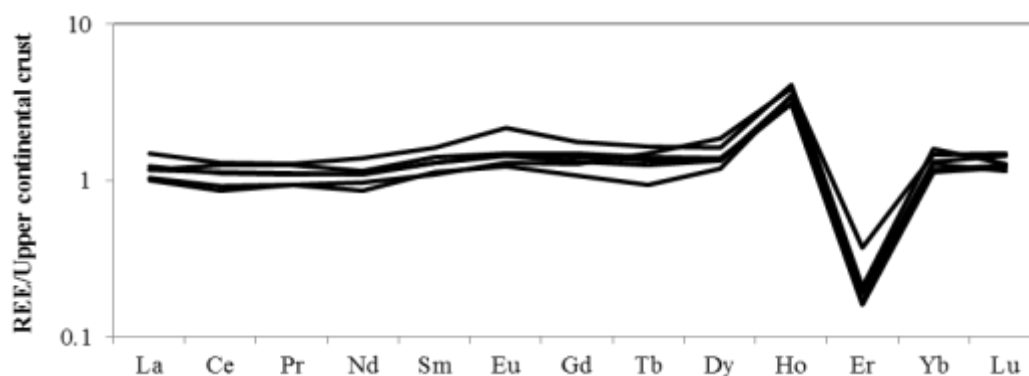
نسبت K_2O به Al_2O_3 به‌عنوان شاخصی برای شناسایی ترکیب خاستگاه سنگ‌های تخریبی دانه‌ریز استفاده می‌شود [۲۴]. بر این اساس، تغییرات نسبت‌های K_2O/Al_2O_3 رس‌ها کمتر از $0.3 <$ و برای فلدسپارهای قلیایی بین 0.4 تا 1 است. کاکس و همکاران [۲۴] نسبت افتراقی تجربی را پیشنهاد کردند که $K_2O/Al_2O_3 = 0.5$. این نسبت برای تشخیص بین فلدسپارهای قلیایی کم و مهم در سنگ خاستگاه پلیتی‌ها استفاده می‌شود. میانگین مقدار K_2O/Al_2O_3 در متاپلیت‌های مورد بررسی 0.2 (در گستره $0.14-0.24$) است که بیانگر مقدار فلدسپار قلیایی کم در سنگ‌های خاستگاه و خود نشان‌دهنده نداشتن ترکیب فلسیک خالص است. گرتی و همکاران [۲۷] از نسبت Al_2O_3/TiO_2 برای تعیین ترکیب سنگ خاستگاه استفاده کردند. آن‌ها پیشنهاد کردند که مقدار Al_2O_3/TiO_2 کمتر از 14 نشان‌دهنده رسوبات برآمده از سنگ‌های مافیک است در حالی که نسبت بین 19 تا 28 نشان‌دهنده منبعی با سنگ خاستگاه آذرین حدواسط است. نسبت Al_2O_3/TiO_2 نمونه‌های مورد بررسی حدود 11 تا 32 با میانگین 19.76 است که نشان می‌دهد که سنگ خاستگاه رسوبات صفحه‌ای اغلب از سنگ‌های آذرین حدواسط تشکیل شده است.

عناصر کمیاب به طور گسترده برای تعیین ترکیب سنگ خاستگاه متاپلیت‌ها استفاده می‌شوند [۲۹، ۲۸، ۲۴]. مقدار Cr و Zr به‌عنوان شاخصی برای مقدار کرمیت و زیرکن استفاده می‌شود، از این‌رو، نسبت Cr/Zr نشان‌دهنده نقش نسبی خاستگاه آذرین فلسی و یا مافیک است. مقدار Cr/Zr متاپلیت

های مورد بررسی حدود $0.4-0.8$ با میانگین 0.64 است که نشان‌دهنده نمونه‌های برآمده از یک خاستگاه آذرین اسیدی تا حدواسط است. بر اساس نظر برخی از پژوهشگران [۲۱، ۲۷]، نسبت Th/Sc بهترین شاخص برای خاستگاه است. این نسبت در نمونه‌های مورد بررسی بین $1.53-0.36$ با میانگین 0.90 است که با مقدار این نسبت در پوسته بالایی 0.78 [۲۳] مشابهت دارد. به‌طور کلی و با توجه به مطالب بیان شده در بالا می‌توان نتیجه گرفت که خاستگاه متاپلیت‌های مورد بررسی اغلب ترکیب اسیدی تا حدواسط دارند. الگوی پراکندگی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر سیستم‌های مورد بررسی در شکل ۵ آمده است. تراکم عناصر به پوسته بالایی قاره‌ای [۳۰] به‌نجار شده است. عناصر اصلی و فرعی تجزیه شده ترکیبی مشابه پوسته قاره‌ای بالایی دارند، تنها با این تفاوت که، به جز یک نمونه، سایر نمونه‌ها از CaO تهی و برخی از آن‌ها از P_2O_5 غنی هستند. عناصر Cs, Nb, Zr و Pb اندکی نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی تهی شده‌اند. استرانسیوم در این نمونه‌ها به شدت تهی شده است. تهی‌شدگی از کلسیم و استرانسیوم احتمالاً در اثر هوازگی و خارج شدن این عناصر از سیستم روی داده است. تراکم سایر عناصر مشابه با ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی است (شکل ۵). الگوی عناصر خاکی نادر نمونه‌های مورد بررسی به‌نجار شده نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی نشان می‌دهد که این نمونه‌ها از Ho غنی و از Er به شدت تهی شده‌اند (شکل ۶). تراکم همه عناصر مورد بررسی توسط کانی‌های رسی و فرعی‌های تخریبی در پروتولیت رسوبی کنترل می‌شود [۳۱].



شکل ۵ الگوی پراکندگی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر شیست‌های منطقه گل‌گهر بهنجار شده نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی [۳۰].



شکل ۶ نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر شیست‌های منطقه گل‌گهر، بهنجار شده نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی [۳۰].

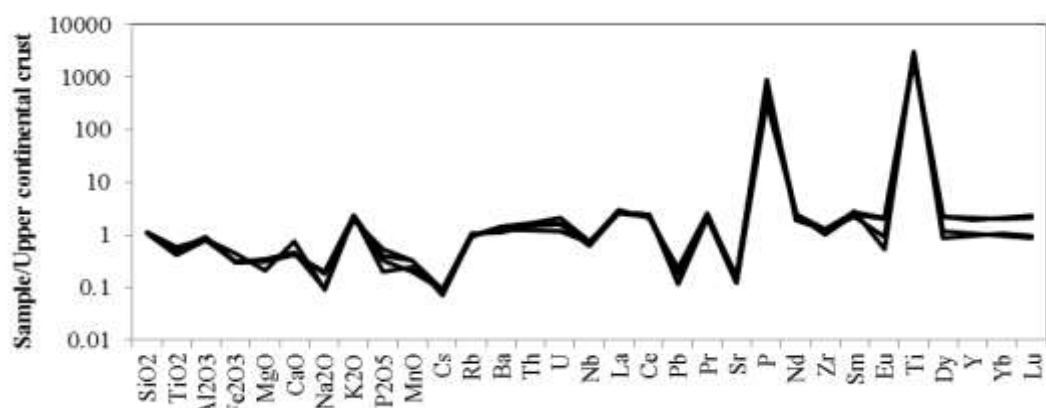
زمین‌شیمی گنیس‌های منطقه گل‌گهر

گنیس‌های موجود در منطقه مورد بررسی دانه متوسط و بیشتر شامل کوارتز، فلدسپات‌های قلیایی، بیوتیت، موسکویت و کلریت هستند. مقادیر عناصر اصلی و کمیاب ۴ نمونه گنیس انتخاب شده در جدول ۳ آمده است. مقدار سیلیس این نمونه‌ها بین ۷۱/۳ تا ۷۳/۳ است. الگوی عناصر کمیاب و خاکی نادر گنیس‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که مقدار $La(N)/Yb(N)$ این نمونه‌ها ۱/۳-۳/۱ است. ناهنجاری منفی Nb, Pb, Cs و Sr همچنین ناهنجاری مثبت P, K, Ti, Pr و Sm از ویژگی‌های مهم این سنگ‌هاست (شکل ۷). در الگوی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی، این سنگ‌ها تهی-شدگی از Er و Eu را نشان می‌دهند (شکل ۸). این نمونه‌ها در نمودار شکل ۹ [۳۲] در گستره پراآلومین قرار می‌گیرند. مقدار غنی از سدیم و پتاسیم فلدسپات‌ها و همچنین کمبود Al_2O_3

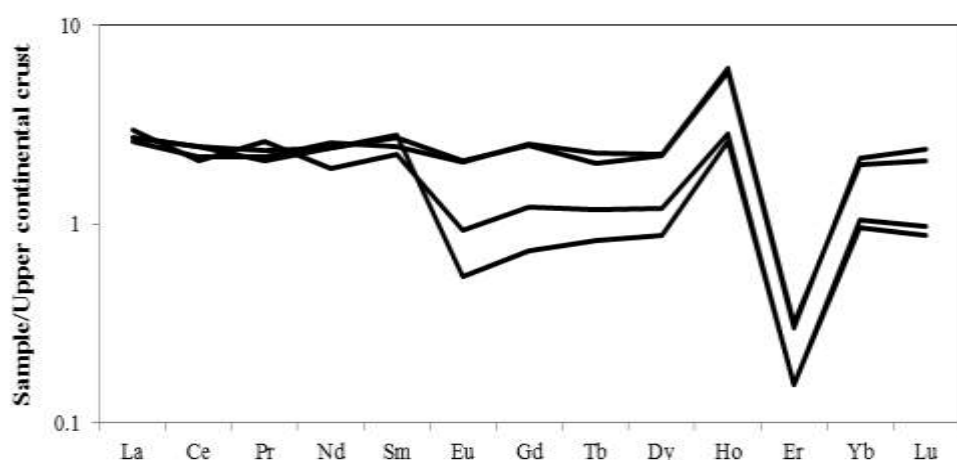
احتمالاً دلیل قرارگیری این نمونه‌ها در گستره پراآلومین است.

برداشت

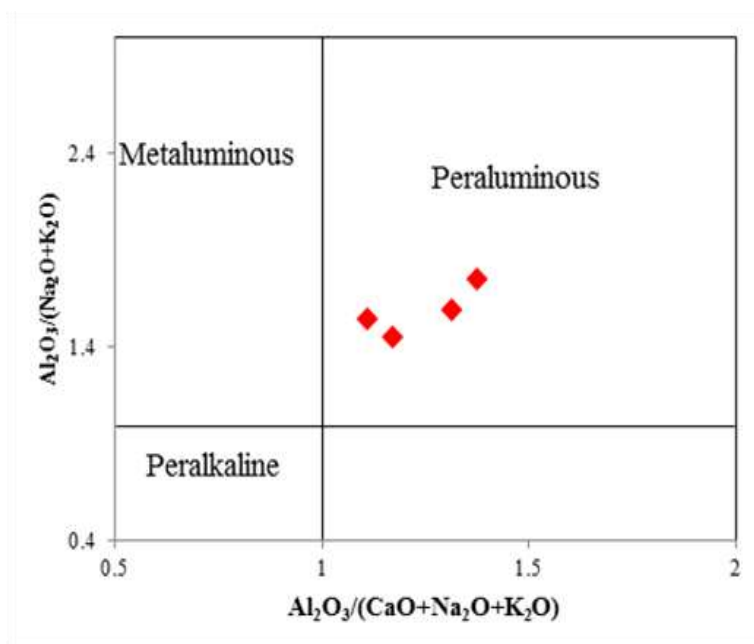
سنگ‌های موجود در منطقه گل‌گهر، شامل سنگ‌های دگرگون پلیتی است که در رخساره‌های شیست سبز تا آمفیبولیت بالایی دگرگون شده‌اند. بررسی ترکیب سنگ‌کل متاپلیت‌ها نشان می‌دهد که سنگ‌مادر این سنگ‌ها، ترکیبات جورنشده‌ای از شیل و ماسه سنگ تیره داشته است. این سنگ‌ها از خاستگاه با ترکیب اغلب اسیدی تا حدواسط تشکیل شده‌اند و دچار هوازدگی شیمیایی ضعیف تا متوسط شده‌اند. تجزیه شیمیایی شیست‌های منطقه گل‌گهر نشان می‌دهد که آن‌ها، از نوع شیست‌های پس از آرکن هستند. بررسی گنیس‌های منطقه گل‌گهر نشان می‌دهد که آن‌ها خاستگاه رسوبی دارند و پاراگنیس نامیده می‌شوند. این گنیس‌ها به دلیل کمبود Al_2O_3 ، از نوع پراآلومین هستند.



شکل ۷ نمودار عنکبوتی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر بهنجار شده نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی از [۳۰] در گنیس‌های منطقه گل‌گهر.



شکل ۸ الگوی پراکندگی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی [۳۰] در گنیس‌های منطقه گل‌گهر.



شکل ۹ نمودار جهت تعیین ویژگی شیمیایی گنیس‌ها [۳۲] و موقعیت گنیس‌های مورد بررسی بر آن.

قدردانی

- [12] Roser B.P., Korsch R.J., "Discrimination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio", *Journal of Geology* 94 (1986) 635-650.
- [13] Taylor S.R., McLennan S.M., "The Continental Crust: Its Composition and Evolution", Blackwell Oxford, (1988), (1985; Mir, Moscow).
- [14] Condie K.C., "Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales", *Chemical Geology* 104 (1993) 1-37.
- [15] Bolhar R., Kamber B.S., Moorbath S., Whitehouse M.J., Collerson K.D., "Chemical characterization of earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69 (6) (2005) 1555-1573.
- [16] Bhatia M.R., Crook K.A.W., "Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins", *Contribution Mineralogy and Petrology* 92, (1986) 181-193.
- [17] Nesbitt H.W., MacRae N.D., Kronberg B.I., "Amazon deepsea fan muds: light REE enriched products of extreme chemical weathering", *Earth and Planetary Science Letter* 100(1990)118-123.
- [18] White MW (2005) *Geochemistry*. John Hopkins University Press, 701p.
- [19] Nesbitt H.W., Markovics G., Price R.C., "Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44(1980) 1659-1666.
- [20] Grandstaff D.F., Edlman M.J., Foster R.W., Zbinden E., Kimberly M.M., "Chemistry and mineralogy of Precambrian paleosols at the base of the Dominion and Pongola Groups, (Transvaal, South Africa)", *Precambrian Research* 32(1986) 97-132.
- [21] Harnois L., "The CIW index: a new chemical index of weathering", *Sedimentary Geology* 55, 319-322 (1988).
- [22] Nesbitt H.W., Young G.M., "Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites", *Nature* 299(1982) 715-717.

نگارندگان مقاله از شرکت ایمیدرو و معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر تأمین هزینه‌های این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند. همچنین، از راهنمایی‌های ارزشمند آقایان مهندس طاهری و مهندس فرخ‌نژاد و سایر پرسنل محترم معادن شماره ۲ و ۴ گل‌گهر طی عملیات صحرایی نیز قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1] Yaghoobi A., "Investigation of geochemistry and genesis of number 3 anomaly Gol-Gohar deposit", Msc thesis, Shiraz Unieversity, (1999) (130p) (In persian).
- [2] Poorkhak F., "Paragenesis, Petrogenesis and Petrochemicals of Gol-Gohar Iron Ore (Anomaly No. 30)", Msc thesis, Shahid Bahonar Unieversity, (2003) (296p) (In persian).
- [3] Babaki A., Aftabi A.J., "Investigation on the model of Iron mineralization at Gol-Gohar Iron deposit, Sirjan-Kerman", *Iranian of Geology Science*, 16 (61) (2006) 40-59 (in Persian).
- [4] Bayati rad Y., "Investigation origin of Gol-Gohar iron deposit", Msc thesis, Tehran Unieversity, (2009) (In persian).
- [5] Asghari g., "Investigation of genesis and formation conditions of Gol-Gohar iron ore deposit and host rocks", Msc thesis, Tehran Unieversity, (2009) (In persian).
- [6] Torabian S., "Mineralization and genesis of number 3 anomaly in Gol-Gohar mine, based on the trace elements", Msc thesis, Tarbiat Moalem Unieversity, Tehran (2006) (130p) (In persian).
- [7] Dalfardi M., "Investigation of sulfur origin in minerals of sulfide mines 1, 2 and 3 of Gol-Gohar Iron Ore", Msc thesis, Damghan Unieversity, (2011) (134p).
- [8] Ghalamghash J., Mirnejad H., "Report of dating Gol-Gohar metamorphic complex", Tehran padir consulting engineer company, 40p (2008).
- [9] Sabzehei M., "Geological map of Iran, 1:00000 series, Gol-gohar quadrangle", Geological Survey, Iran, (1994).
- [10] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals", *American Mineralogists*, 68 (1983) 277-279.
- [11] Herron M.M., "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core of log data", *Journal of Sedimentary Petrology* 58 (5) (1988) 820-829.

- [29] Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M., "Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance", *Geology* 23(1995) 921–924.
- [30] McLennan S.M., "Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust", *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2, 2000GC000109 (electronic publication), (2001).
- [31] Varga A.R., Szakmány G., "Geochemistry and provenance of the upper carboniferous sandstones from borehole disviszl-3 (Téseny Sandstone Formation, SW Hungary)", *Acta Mineralogica-Petrographica*, Szeged (45/2) (2004) 7–14.
- [32] Pearce J.A., Harris B.W., Tindle A.G., "Trace element of iseriminant diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal Petrology*, 25(1984) 956–983.
- [23] Taylor S.R., McLennan S.H., "The Continental Crust: Its Composition and Evolution", Blackwell, Oxford, (1985) 312 pp.
- [24] Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L., "The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59 (1995) 2919–2940.
- [25] van de Kamp P.C., Leake B.E., "Petrography and geochemistry of feldspathic and mafic sediments of the northeastern Pacific margin", *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 76(1985) 411–449.
- [26] Weaver C.E., "Clays, Muds, and Shales" Elsevier, Amsterdam (1989) 819 pp.
- [27] Girty G.H., Ridge D.L., Knaack C., Johnson D., Al-Riyami R.K., "Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite, Sierra Nevada, California", *Journal of Sedimentary Research* 66(1996) 107–118.
- [28] McLennan S.M., Hemming S., "Samarium/Neodymium elemental and isotopic systematics in sedimentary rocks", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56(1992) 887–898.