مجله زمین‌شناسی اقتصادی
جلد ۶، شماره ۲ (سال ۱۳۹۳)
صفحات ۲۵۹ تا ۲۷۶

Journal of Economic Geology
Vol. 6, No. 2 (2014-2015)
ISSN 2008-7306

کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، منشأ و مصرف صنعتی سیلیس منطقه عارفی، جنوب مشهد

محمدحسن کریم‌پور[1*]، آزاده ملکزاده شفارودی[1] و سعید سعادت[2]

۱) گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲) دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، گروه زمین‌شناسی، مشهد، ایران

دریافت: ۱۳۹۳/۲/۱، پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۱

چکیده

کنگلومرای کوارتزدار عارفی (با سن ژوارسیک میانی) در زون ساختاری بینالود واقع شده است. این واحد دارای روند شمال غربی-جنوب شرقی است و در ۲۵ کیلومتری جنوب مشهد رخنمون دارد. بیش از ۹۷ درصد کنگلومرا از انواع مختلف کوارتز در قالب کوارتزهای مونوکریستالین، پلی‌کریستالین و به مقدار خیلی کمتر خرده‌سنگ از نوع چرت، کوارتزیت و یا میکا شیست تشکیل‌شده است. کمتر از ۳ درصد دیگر شامل فلدسپات، میکا، کلریت، هورنبلند، تورمالین، زیرکن، اسفن و کانی اوپاک است. سیمان از نوع سیلیسی است.

مطالعه سیالات درگیر در کوارتزهای مونوکریستالین و پلی‌کریستالین نشان‌دهنده حضور سیالات سه فازی LVS حاوی نمک طعام است. دمای همگن شدن آنها بین ۴۸۴ تا بیش از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین دمای ۵۵۹ درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۴۹/۶ تا ۷۲/۱ درصد NaCl با میانگین ۶۱/۲ درصد می‌باشد که مؤید ماهیت ماگمایی آنهاست. دامنه دمای همگن شدن در سیالات درگیر دوفازی LV در کوارتز دگرگونی بین ۲۸۷ تا ۳۶۵ درجه سانتی‌گراد با میانگین دمای ۳۱۸ درجه سانتی‌گراد است. مهمترین منشأ کوارتزهای موجود در کنگلومرا، رگه‌های کوارتز در بخش فوقانی توده‌های گرانیتی – پگماتیتی (تریاس فوقانی) محدوده خواجه مراد و رگه‌های کوارتز تشکیل شده در زمان دگرگونی ناحیه‌ای است.

برپایه تجزیه ژئوشیمیایی ۹۳ نمونه برداشت شده از سطح (روش کانالی) و حفاری پودری از عمق، مقدار SiO_2 عمدتا بیش از ۹۸ درصد، مقدار TFeO کمتر از ۰/۴۲ درصد و TiO_2 کمتر از ۰/۱۶ درصد است. میزان ذخیره قطعی بیش از ۵۰ میلیون تن است. با انجام آزمایشهای مغناطیسی خشک مقدار TFeO به ۰/۰۳ درصد و TiO_2 به ۰/۰۲ درصد نیز کاهش یافته است. ذخیره سیلیس عارفی از نوع سیلیس درجه یک محسوب شده و برای انواع مختلف صنایع سرامیک می‌تواند استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: *کنگلومرای غنی از سیلیس، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، منشأ کوارتز، مصارف صنعتی، منطقه عارفی*

مقدمه

تنوع اشکال سیلیس و خواص ویژه آن از قبیل سختی بالا، بی‌اثر بودن از لحاظ شیمیایی و نقطه ذوب بالا باعث شده است که کاربرد وسیعی در صنایع مختلف داشته باشد. یک عامل اصلی و مهم در به کارگیری سیلیس مقدار SiO_2 است. در نتیجه سیلیس در صنایع مختلفی نظیر شیشه‌سازی، سرامیک، بلور و کریستال، ریخته‌گری، تولید بتن سبک، سندبلاست، دیرگدازها، تصفیه مایعات، تولید سیلیکات سدیم و غیره مصرف می‌شود. سیلیس مصرفی در هر یک از صنایع باید کیفیت خاصی داشته باشد. ترکیب شیمیایی، ساختمان کانی‌شناسی و خواص فیزیکی سیلیس، تعیین‌کننده کیفیت و موارد مصرف آن در هر یک از صنایع مذکور می‌باشد. در صورتی‌که درصد اکسیدهای دیگر غیر از SiO_2 از حدود معینی تجاوز کند، کاربرد آن را در صنایع مختلف محدود و یا غیرممکن می‌سازد. مهمترین اکسیدهای مزاحم، TFeO، Al_2O_3 و TiO_2 هستند.

منطقه عارفی در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب مشهد و در محدوده بین طولهای جغرافیایی ″۴۵ ′۲۸ °۵۹ تا

*مسؤول مکاتبات: karimpur@um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

″۳۲′۳۲ °۵۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۵۲′۰۴ °۳۶ تا ″۵۲′۰۷ °۳۶ شمالی واقع شده است. این محدوده در حدفاصل روستاهای عارفی و آغنج قرار دارد (شکل ۱). از لحاظ تقسیمات ساختاری این منطقه جزو زون بینالود محسوب می‌شود. درون یک حوضه تکتونیکی باریک با روند NW-SE در جنوب بینالود، کنگلومرا، شیل و سیلتاستون دیده می‌شود. کنگلومرای قاعده در قسمت شمالی حوضه وجود دارد و در جهت SW به سیلتاستون و شیل تغییر می‌یابد. این کنگلومرا شامل پبل‌ها و قلوه‌هایی از متافلیش، تونالیت، گرانودیوریت، فلدسپات مونزوگرانیت پورفیری، ماسه سنگ، سیلتاستون و شیل است. افقهای کمی از زغال درون شیل‌ها دیده می‌شود. به طرف قسمتهای فوقانی، کنگلومرایی با پبلهای کوارتز شیری گرد شده مشاهده می‌گردد که در جهت SW نزدیک توده لوکوگرانیتی، پبل‌های کوارتز افزایش می‌یابد. نزدیک روستای عارفی کنگلومرای کوارتزی با ۹۰ درصد کوارتز شیری گردشده مشاهده می‌گردد. هاشمی (Hashemi, 2004) معتقد است که کنگلومراهای این ناحیه از نوع کنگلومرای ارتوکوارتزیتی و پلی میکتیک و ماسه‌سنگها نیز عمدتاً کوارتزوز و کوارتزولیتیک می‌باشند که نشان می‌دهد این رسوبات حاصل کوهزایی هستند که از کمربندهای چین‌خورده - تراستی شده و کمربندهای درزه‌ای شده‌ای که طی برخورد صفحه ایران و توران ایجاد شده‌اند، منشأ گرفته و در یک حوضه فورلند تشکیل شده‌اند. فسیلهای گیاهی که به‌طور کلی در این رسوبات پیدا شده سن لیاس- دوگر (ژوراسیک) را برای آنها تداعی می‌کند (Khatonie Molayossefi, 2000).

با توجه به گستردگی استفاده از منابع سیلیس در صنایع مختلف، اکتشاف و مطالعه تفصیلی این‌گونه ذخایر، آن هم در نزدیکی شهرهای بزرگ، گام مهمی در جهت رونق صنایع معدنی و صنعتی وابسته می‌باشد. هدف از این مقاله بررسی دقیق کانی‌شناسی کنگلومرای عارفی با تأکید ویژه بر نوع، اندازه، درصد و آغشتگی پبلهای کوارتز با اکسیدهای آهن، ژئوشیمی با تاکید ویژه بر مقدار سیلیس و عناصر مزاحم، منشأ دانه‌های کوارتز با کمک شواهد زمین‌شناسی و نیز مطالعه سیالات درگیر و بررسی مصرف صنعتی آن با نگاه ویژه برای ساخت چینی‌آلات و سرامیک، به‌عنوان یکی از منابع غنی از سیلیس نزدیک به مشهد بوده است.

روش مطالعه

۱- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ که در قالب برداشت ۳۰ پروفیل عمود بر امتداد لایه‌بندی انجام شد. در هر پروفیل ابتدا به تغییرات لیتولوژیکی منطقه توجه شد. پس از آن در بخشهایی که پروفیل وارد واحد اصلی مدنظر یعنی کنگلومرای کوارتزدار می‌شد، نکاتی مانند اندازه دانه‌های کوارتز، درصد سیمان، فراوانی کوارتزهای سفید و خاکستری، درصد اکسید آهن، درصد دیگر پبلهای کنگلومرا و شیب و امتداد لایه برداشت شده است.

۲- مطالعه ۶۵ مقطع نازک از واحد کنگلومرای کوارتزدار.

۳- آماده‌سازی و تجزیه ۹۳ نمونه ژئوشیمیایی برداشت‌شده از محل ترانشه‌ها و چالهای اکتشافی به روش XRF برای ارزیابی میزان اکسیدهای سیلیسیم، آهن، تیتان و کلسیم. به منظور بررسی تغییرات ژئوشیمیایی عناصر مهم مانند اکسید سیلیس، اکسید آهن، اکسید تیتان و اکسید کلسیم در کنگلومرای کوارتزدار، ابتدا مکانهایی عمود بر امتداد لایه‌بندی کنگلومرا برای برداشت نمونه انتخاب شد. انتخاب محل نمونه‌برداری با توجه به ضخامت لایه، تغییرات مقدار و اندازه پبلهای کوارتز و مقدار اکسید آهن صورت گرفت. روش نمونه‌برداری ترانشه‌ای بوده است. در این مرحله ۶۳ ترانشه با ابعاد میانگین حدود ۷ متر × ۱۰ سانتی‌متر × ۱۰ سانتی‌متر تعریف شد. طول ترانشه‌ها براساس تغییرات در مقدار و اندازه کوارتز و مقدار اکسید آهن در نظر گرفته شدند. از هر ترانشه نمونه‌هایی با وزن حدود ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم برای تجزیه ژئوشیمیایی جمع‌آوری شد. ابتدا کل هر نمونه خردایش شد و سپس بعد از همگن نمودن، با دقت تقسیم شده و مقدار ۱۰۰ گرم نمونه با استفاده از آسیاب با آلیاژ تنگستن کاربید نرمایش شد. آسیاب با جنس تنگستن کاربید برای نرمایش نمونه‌هایی که هدف اصلی تجزیه اکسید سیلیس و اکسید آهن است، ضروری می‌باشد تا از ورود هرگونه آلودگی عناصر سیلیسیم و آهن به داخل نمونه خودداری شود. دستگاه XRF مدل فیلیپس و متعلق به آزمایشگاه گروه کارخانجات چینی مقصود بوده است.

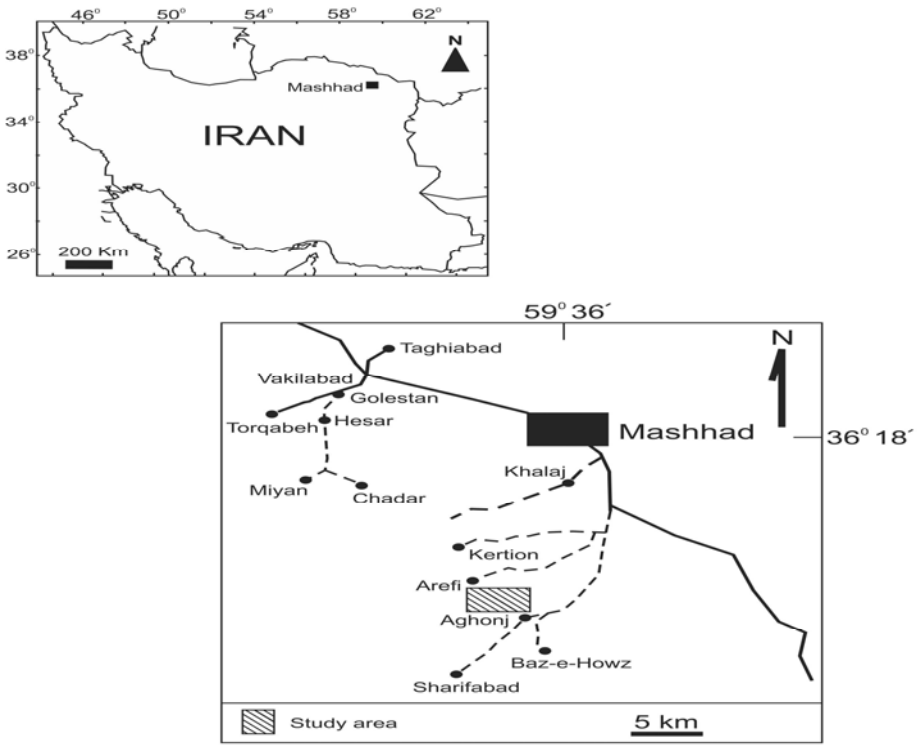
۴- آزمایش فرآوری نمونه‌ها در آزمایشگاه شرکت مهندسی دانش فراوران.

۵- مطالعه سیالات درگیر بر روی ۴ مقطع دوبرصیقل (ویفر) از پبلهای کوارتز. آزمایشهای مربوطه با استفاده از یک دستگاه سردکننده و گرم‌کننده ساخت شرکت لینکام مدل

Archive of SID

www.SID.ir

THM 600 در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفته است. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن ±1°C و محدوده حرارتی دستگاه بین (۱۹۰-) تا (۶۰۰+) درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مقدار شوری و دانسیته سیالات درگیر با استفاده از برنامه HOKIEFLINCS-H2O-NACL محاسبه شده است (Steele-MacInnis et al., 2012; Lecumberri-Sunchez et al., 2012). هیستوگرام‌های مناسب در نرم‌افزار SPSS ترسیم شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به محدوده عارفی در شمال شرق ایران

Fig. 1. Location and access roads to the Arefi area, NE Iran

زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در گوشه جنوب غربی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد (Taheri and Ghasemi, 1993) واقع شده است (شکل ۲). براساس این نقشه قدیمی‌ترین واحد رخنمون یافته در این ناحیه سنگ آهک و آهک دولومیتی سازند بهرام به سن دونین می‌باشد که در بعضی نقاط دارای کرینوئید فراوان است. این واحد در جنوب روستای عارفی و غرب روستای آغنج برون‌زد دارد. در کلیه این نواحی، سطح تماس این واحد با دیگر واحدها گسله و عمدتا راندگی است (شکل ۲) (Taheri and Ghasemi, 1993).

مجموعه توربیداتی دگرگون شده پرمین شامل اسلیت، فیلیت، مرمر، کالک شیست، کنگلومرای دگرگون شده، اولیستولیت، توف و لاپیلی توف دگرگون شده و مقادیر اندکی چرت و گدازه ولکانیکی حفره‌دار در شمال شرقی ناحیه مورد مطالعه برون‌زد دارد که در واقع زون درز محسوب می‌شوند (شکل ۲). یکنواختی لایه‌ها و وجود میان‌لایه‌های چرتی در این واحد بیانگر پلاژیک بودن این واحد رسوبی و رسوب‌گذاری در پهنه‌های کف اقیانوسی است. متاکنگلومرای کربناته گسترش کمتری داشته و عدسی‌شکل و توده‌ای هستند که کمتر از ده متر ضخامت و چند ده متر طول دارند. در این سنگها شن و قلوه‌سنگهای کربناته در زمینه دانه‌ریز کربناته جای گرفته‌اند. مرز تحتانی و فوقانی آنها با اسلیت و فیلیت تدریجی است. در تعدادی از آنها قطعات کرینوئید دیده می‌شود که بیانگر محیط دریایی کم‌عمق برای رسوب‌گذاری اولیه است. توف و لاپیلی توف‌های دگرگون شده گسترش کمی دارند و حاصل فعالیت انفجاری در محیطهای خشکی و کم‌عمق دریایی هستند (Taheri and Ghasemi, 1993). همراهی این واحد با بقیه مجموعه، بیانگر وجود فعالیت آتشفشانی بوده و احتمالاً حاصل

Archive of SID

www.SID.ir

فوران در قوس آتشفشانی است (Alavi, 1991). بخشی از توده‌های گرانیتی نوع S (سری ایلمنیت- احیایی) تریاس زون بینالود که حاصل ذوب‌بخشی پوسته قاره‌ای بوده و در اثر برخورد دو صفحه ایران و توران در یک زون برخوردی تشکیل شده و در سنگهای رسوبی- دگرگونی نفوذ نموده‌اند، در شمال شرقی منطقه دیده می‌شود (شکل ۲) (Karimpour et al., 2009; Karimpour et al., 2010). شیلهای تیره‌رنگ و ماسه سنگ سبز تیره تریاس با دگرگونی خفیف در جنوب غربی ناحیه رخنمون دارد (شکل ۲). بر روی این مجموعه، کنگلومرای کشف‌رود با دگرشیبی قرار دارد. این واحد از نظر رخساره سنگی مشابه سازند میانکوهی است که در منطقه آق دربند معرفی شده است (Taheri and Ghasemi, 1993). کنگلومرای ژوراسیک با روند شمال غربی- جنوب شرقی در شمال شرقی محدوده قرار دارد که عضو قاعده‌ای ژوراسیک محسوب می‌شود (شکل ۲). مرز آن با واحدهای مجاور گسله و از نوع راندگی است. این کنگلومرا با ویژگیهایی مانند عدم جورشدگی و گردشدگی و نیز دارابودن زمینه‌ای از جنس رس که شنهای تشکیل دهنده آن اغلب از خرده‌های گرانیتوئیدی، سنگهای الترامافیک و مافیک، ماسه سنگ، فیلیت و به مقدار کم آهک است، مشخص می‌شود (Taheri and Ghasemi, 1993).

شیل و ماسه‌سنگ تیره ژوراسیک با رگه‌های زغالی نسبتاً فراوان و آثار فسیل گیاهی در جنوب شرقی محدوده رخنمون دارد (شکل ۲). تناوب شیل تیره و کنگلومرای کوارتزدار که گاهی اوقات میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی دارد و به‌طور تدریجی به کنگلومرای کوارتزدار عارفی تبدیل می‌شود، بخش اعظم منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است و بخشی از محدوده مورد مطالعه در این واحد قرار می‌گیرد (شکل ۲). سنگ آهک اوربیتولین‌دار کرتاسه زیرین متوسط‌لایه تا نازک‌لایه که به‌صورت تدریجی بر روی واحد کنگلومرایی کرتاسه قرار گرفته است، رخنمون اندکی در جنوب غربی ناحیه دارد. رخنمونهای کوچکی از واحدهای آتشفشانی داسیت- آندزیت و کوارتز آندزیت در جنوب غربی ناحیه نیز دیده می‌شود (شکل ۲) (Taheri and Ghasemi, 1993).

منطقه مورد مطالعه از لحاظ تکتونیکی در ناحیه زون درز قرار دارد و به‌طور کلی گسلهای راندگی و صفحات روراندە، عمده‌ترین ساختمانهای زمین‌شناسی در منطقه هستند. تقریباً تمامی گسلهای راندگی روند شمال غربی- جنوب شرقی داشته و سوی حرکت در تمامی آنها از شمال، شمال شرق به سمت جنوب، جنوب غرب است. این راندگیها بیانگر کوتاه شدگی در راستای شمال شرق- جنوب غرب هستند که تحت تأثیر یک میدان استرس انقباضی ایجاد شده و به ایجاد گسلهای امتدادلغز و شکستگیهای کششی نیز منجر شده است. عامل این استرس انقباضی را می‌توان به بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس و تصادم قطعات لیتوسفری توران و ایران مرتبط دانست (Alavi, 1991).

نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه و در شکل ۳ نشان داده شده است. قدیمی‌ترین واحد منطقه، سنگ‌آهک است که در جنوب محدوده رخنمون دارد (شکل ۳). بقیه پوشش زمین‌شناسی منطقه را می‌توان در دو واحد شیل- ماسه سنگ- کنگلومرای ژوراسیک عمدتاً در نیمه غربی و کوارتز کنگلومرای عارفی در نیمه شرقی تقسیم کرد (شکل ۳). واحد شیل- ماسه سنگ- کنگلومرای غرب محدوده مورفولوژی تپه ماهوری دارد و بیرون‌زدگیهایی از کنگلومرای کوارتزدار به‌صورت بین‌لایه‌ای در آن دیده می‌شود (شکل ۴-A). در حالی که کوارتز کنگلومرای عارفی مورفولوژی نسبتاً خشن دارد و بخش عمده آن از کوارتزهای نسبتاً گردشده تشکیل شده است. مقدار کوارتز، درصد سیمان و مقدار اکسید آهن در نقاط مختلف متفاوت است (شکلهای ۴-B، C و D). امتداد لایه‌بندی کنگلومرای عارفی عمدتاً حدود ۲۰ تا ۷۰ درجه شمالی شرقی- جنوب غربی و شیب آن غالباً بین ۱۰ تا ۴۰ درجه به سمت شمال غربی یا جنوب شرقی متغیر است. کوارتزدار سفید عارفی که بیش از ۹۰ درصد پبل‌های تشکیل دهنده آن را دانه‌های کوارتز با گردشدگی خوب تا متوسط و ۱۰ درصد آن را خرده‌سنگهای دگرگونی و چرت تشکیل می‌دهد، هدف اصلی این مقاله است. سیمان این واحد سیلیسی و طبقه بندی آن متوسط تا ضخیم است (شکل ۴-B).

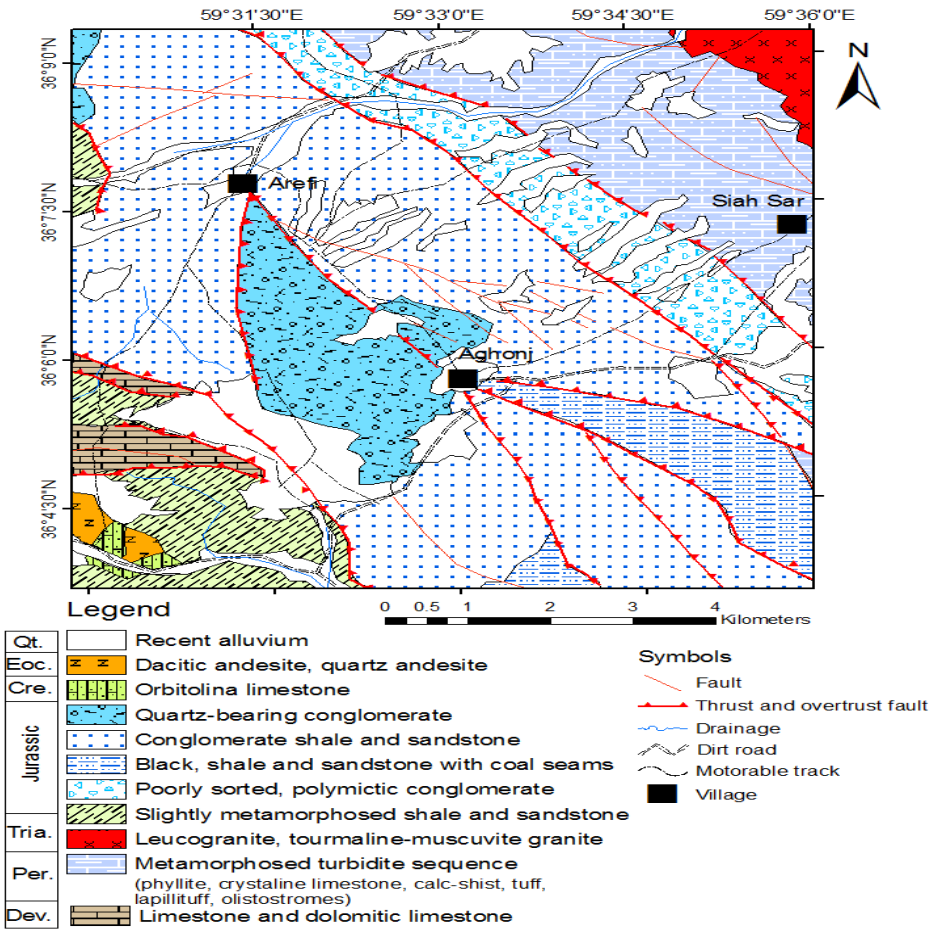
سنگ‌شناسی

کنگلومرای عارفی براساس طبقه‌بندی بافتی سنگهای رسوبی آواری (Blair and Macpherson, 1999) از نوع کنگلومرا (G) (دانه‌های ماسه‌ای کمتر از ۱۰ درصد)، کنگلومرای ماسه‌ای (sG) (دانه‌های ماسه بین ۲۰ تا ۷۰ درصد) و

Archive of SID

www.SID.ir

کنگلومرای دارای اندکی ماسه ((s)G) (دانه‌های ماسه بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) می‌باشد. براساس طبقه‌بندی بافتی سنگهای رسوبی آواری (Pettijohn, 1975) از نوع کنگلومرای پلی میکتیک یا چند منشایی است، زیرا از دانه‌های مختلف تشکیل شده است. از آن‌جایی که ذرات تشکیل‌دهنده کنگلومرا در اثر تخریب سنگهای قدیمی و در خارج حوضه رسوبی تشکیل شده‌اند و عمدتاً ذرات تخریبی آواری با منشأ قاره‌ای اسکلت این سنگها را تشکیل می‌دهد، طبق طبقه‌بندی (Pettijohn, 1975) می‌توان آنها را از نوع برون حوضه‌ای دانست. این کنگلومرای برون حوضه‌ای خود از نوع کنگلومراهای عادی یا ارتوکنگلومرا محسوب می‌شود، زیرا متعلق به محیط رودخانه‌ای پرانرژی بوده و دانه‌های درشت و ریز با تراکم بالا توسط یک سیمان سیلیسی به یکدیگر متصل شده‌اند (Sahabi, 1996). از آنجایی‌که این واحد از دانه‌ها و خرده‌سنگهای سخت و مقاوم در برابر هوازدگی و فرسایش نظیر کوارتز، کوارتزیت و چرت تشکیل شده و از گردشدگی خوبی برخوردار بوده و اندازه آنها از چند سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند، می‌تواند در گروه کنگلومراهای ارتوکوارتزیتی قرار بگیرد.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه عارفی (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد) (Taheri and Ghasemi, 1993)

Fig. 2. Regional geologic map of the Arefi area (according to the geologic map of Mashhad in scale 1:100,000) (Taheri and Ghasemi, 1993)

هاشمی (Hashemi, 2004) رخساره‌های سنگی متعددی را براساس اختصاصات بافتی و ساختمانهای رسوبی شناسایی کرد. وی براساس طبقه بندی (Miall, 1996; Miall, 2000) رخساره‌ها را به سه گروه گراولی، ماسه‌ای و گلی تقسیم‌بندی نمود. رخساره‌های گراولی از ضخامت بسیار زیادی در منطقه عارفی برخوردار است. طبقات توده‌ای، لایه‌بندی افقی،

www.SID.ir

طبقه‌بندی مورب و طبقه‌بندی تدریجی از جمله ساختمانهای رسوبی مهم موجود در این نوع رخساره است (Miall, 2000). معمولاً طبقات توده‌ای در شرایط جریان آشفته و مقدار بالای بار رسوبی تشکیل شده‌اند (Mousavi Harami, 1995). رخساره‌های گراولی موجود در کنگلومرای عارفی شامل رخساره‌های سنگی Gh, Gmm, Gmg, Gcm و Gp است (Hashemi, 2004). رخساره‌های ماسه‌ای از ضخامت کمتری برخوردار است. این رخساره‌ها معمولاً تحت جریانهای کششی تشکیل شده‌اند و ساختمانهای رسوبی شامل طبقه‌بندی مورب مسطح، طبقه‌بندی مورب عدسی شکل، طبقه‌بندی تدریجی، طبقات توده‌ای، لایه‌بندی افقی، لامیناسیون مسطح، ریپل مارک و حفرات کنده شده و پرشده در آنها دیده می‌شود (Miall, 2000). رخساره‌های ماسه‌ای موجود در این واحد شامل رخساره‌های سنگی Sl, St, Sp, Sr, Sm, Sh و Se است (Hashemi, 2004). رخساره گلی به مقدار بسیار ناچیز در منطقه عارفی دیده می‌شود. این رخساره دارای ساختمان رسوبی لایه‌بندی افقی نازک تا بسیار نازک و گاهی لامیناسیون مسطح است. رخساره سنگی Fl تنها رخساره این نوع است که بسیار اندک دیده می‌شود (Hashemi, 2004).

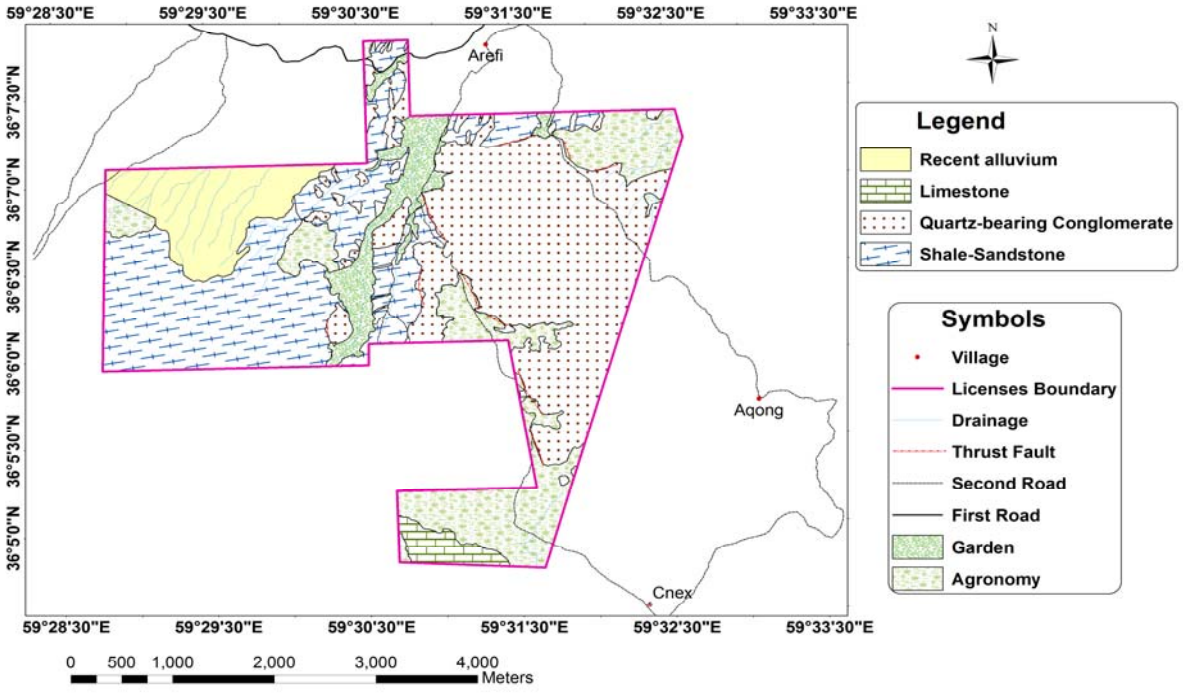
به طور کلی بیش از ۹۷ درصد تمام نمونه‌های مطالعه شده کنگلومرا از انواع مختلف کوارتز در قالب کوارتزهای مونوکریستالین (Qm)، پلی کریستالین (Qp) و به مقدار خیلی کمتر خرده‌سنگ رسوبی از نوع چرت و خرده‌سنگ دگرگونی از نوع کوارتزیت و یا میکا شیست تشکیل شده است. کوارتز هم بخش اعظم قطعات را تشکیل می‌دهد و هم سیمان اصلی بین ذرات است. کمتر از ۳ درصد کانیهای دیگری مانند میکروکلین، ارتوکلاز، پلاژیوکلاز، مسکویت، بیوتیت، هورنبلند، کلریت، تورمالین، کانی اوپاک، زیرکن و اسفن همراه با سیمان اکسید آهن و به ندرت کربناته در نمونه‌ها دیده می‌شود.

کوارتز: در نمونه‌های کنگلومرا، مقدار کوارتزهای پلی‌کریستالین از مونوکریستالین بیشتر است و در مجموع بین ۵۵ تا ۹۰ درصد قطعات را در بخشهای مختلف تشکیل می‌دهند. گردشدگی آنها عمدتاً بالا تا متوسط بوده و اندازه آنها از ۰/۱ میلی‌متر تا ۵ سانتی‌متر متغیر است (شکلهای ۵-A، B، C، D، E و F). دانه‌های کوارتز برحسب منشأ، اغلب از نوع کوارتزهای دگرگونی، کوارتزهای پلوتونیکی و مقدار کمتری کوارتزهای رسوبی است. براساس طبقه‌بندی (Folk, 1980)، کوارتزهای دگرگونی می‌تواند شامل کوارتزهای دگرگونی محصول تبلورمجدد، کوارتزهای شیستوز و کوارتزهای دگرگونی کشیده شده باشد که البته نوع اول فراوانتر است. کوارتزهای دگرگونی محصول تبلور مجدد، پلی‌کریستالین بوده به‌طوری‌که کریستالها به‌صورت یک دسته موزاییکهایی با ابعاد یکسان و با کناره‌های مسطح تا نیمه مضرس و گاهی مضرس مشاهده می‌شوند. خاموشی آنها مستقیم و گاهی انکلوزیونهایی از میکا و واکوئول در آنها مشاهده می‌شود. به‌دلیل استحکام پایین، احتمال خردشدن آنها بالاست، به‌طوری‌که در خیلی قسمتها شکستگی و گاهی خردشدگی مشاهده می‌گردد. این نوع کوارتزها تحت فشار زیاد، ذوب و مجدداً تبلور یافته‌اند و احتمالاً از سنگهای شدیداً دگرگون شده مانند شیست منشأ گرفته‌اند. کوارتزهای دگرگونی شیستوز نیز پلی‌کریستالین بوده و کریستالها به‌صورت کشیده و اضلاع تقریباً موازی در بین ورقه‌های میکا رشد کرده‌اند. خاموشی آنها مستقیم و گاهی کمی موجی است. این نوع کوارتز احتمالاً در حین تشکیل تدریجی شیست‌ها به‌وجود آمده‌اند و نهایتاً از آنها منشأ گرفته‌اند. کوارتزهای دگرگونی کشیده شده نیز پلی‌کریستالین هستند و کریستالها به‌طور طویل یا صفحه‌ای با کنتاکتهای به شدت مضرس در کنار هم قرار گرفته‌اند (شکلهای ۵-B و C). خاموشی از نوع موجی ضعیف یا قوی و شامل انکلوزیونهایی از میکاست. این کوارتزها احتمالاً در اثر خرد شدن سنگهای کوارتزدار قدیمی مثل ماسه‌سنگ، گرانیت و شیست حاصل شده‌اند (Sahabi, 1996).

کوارتزهای پلوتونیکی با شکل هندسی نامنظم و با خاموشی مستقیم تا کمی موجی جزو فراوانترین کوارتزهای آذرین این واحد هستند. این کوارتزها می‌توانند از گرانیت‌های منطقه منشأ گرفته باشند. کوارتزهای هیدروترمال یا رگه‌ای نیز اغلب به‌صورت دانه‌های درشت با خاموشی مستقیم و گاهی کمی موجی و مقدار فراوان واکوئولهای آب که منظره سفید شیری رنگی به آنها داده است، دیده می‌شوند. اینها از رگه‌های کوارتز داخل واحدهای گرانیتی یا پگماتیت‌ها منشأ گرفته‌اند. مقدار کمی کوارتز میکروکریستالین متشکل از بلورهای ریز کوارتز و به فرم مرکب مشاهده می‌گردد که می‌تواند از ماسه سنگهای ریز دانه یا کوارتزیت منشأ گرفته باشد.

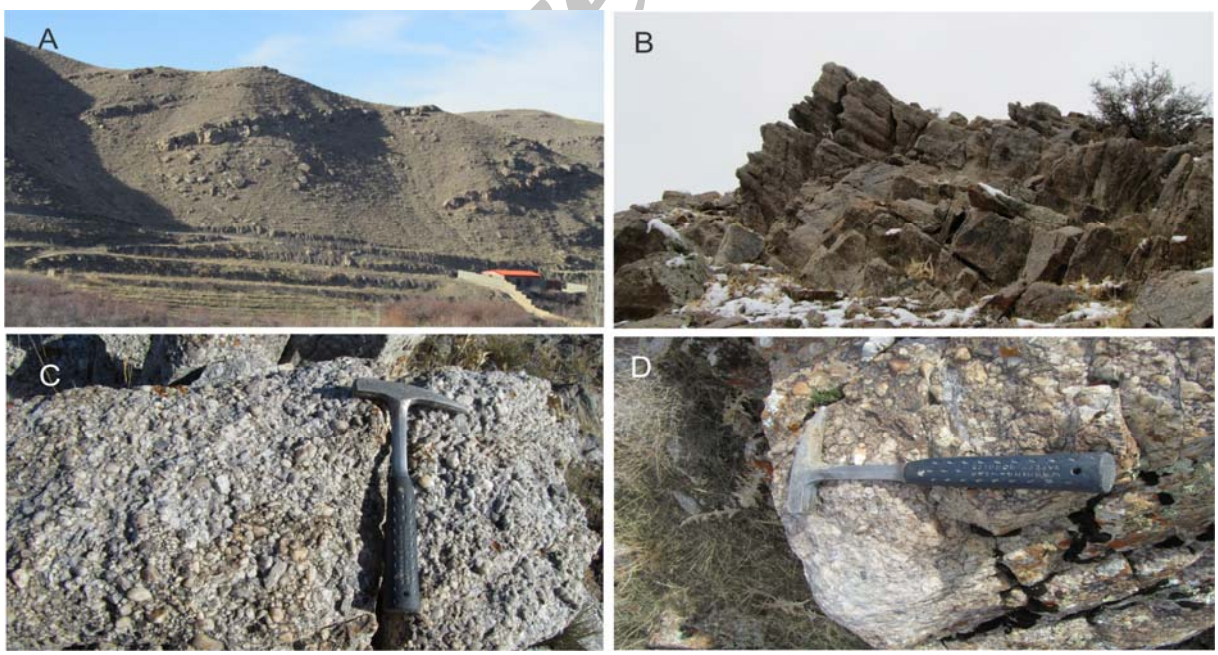
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی محدوده عارفی

Fig. 3. Geologic map of the Arefi area



شکل ۴. A: واحد شیل و ماسه‌سنگ همراه با بیرون‌زدگیهایی از کنگلومرای کوارتزدار به‌صورت بین‌لایه‌ای (دید به غرب)، B: مورفولوژی خشن کنگلومرای عارفی همراه با طبقه‌بندی متوسط تا ضخیم لایه (دید به شمال شرقی)، C: گردشدگی دانه‌ها در کنگلومرا غنی از کوارتز، D: کوارتز کمتر و درصد سیمان و اکسید آهن بیشتر در کنگلومرا.

Fig. 4. A: Shale and sandstone with intercalations of quartz-bearing conglomerate (looking W), B: Hard morphology of medium to thick-bedded Arefi conglomerate (looking NE), C: rounded grains in quartz-rich conglomerate, D: Low quartz associated with high Fe-oxide and cement in conglomerate

www.SID.ir

خـــرده‌ســـنگها: در نمونـه‌هـای کنگلـومرای عـارفی عمـدتاً خرده‌سنگهای رسوبی از نوع چرت و خرده‌سنگهای دگرگونی از نوع کوارتزیت و مسکویت شیست و به‌نـدرت بیوتیـت شیسـت دیده مـی‌شـود (شـکلهای ۵-A، B، C و D). خـرده‌سـنگهای چرت عمـدتاً از گردشـدگی بـالایی برخـوردار هسـتند. مقـدار خرده‌سنگها از ۱ تا ۴۰ درصد نمونه و با انـدازه‌هـای ۰/۲ تـا ۹ میلی‌متر در بخشـهای مختلـف متغیـر اسـت. خـرده‌سـنگهای دگرگونی نیز بسیار فراوان‌تر هستند.

سایر اجـزا: از دیگـر کانیهـای موجـود در کنگلـومرای عـارفی می‌تـوان بـه فلدسـپات، میکـا، آمفیبـول، کلریـت، تورمـالین، کانیهای اوپاک و غیره اشاره نمود کـه مقـدار آنهـا در مجمـوع بسیار ناچیز است (کمتر از یک درصد با اندازه ۰/۱ تا حـداکثر ۲ میلی‌متر). فلدسپات‌ها به‌دلیل مقاومت فیزیکـی و شـیمیایی کمتر نسبت به کوارتز به مقـدار کمتـری مشـاهده مـی‌شـوند. عمده فلدسپات در این واحد رسوبی میکروکلین (شـکل ۵-E) و کمتر ارتوکلاز و پلاژیوکلاز تشخیص داده شد که می‌توانـد از گرانیت‌ها منشأ گرفته باشد. از کانیهای خانواده میکا دو کـانی مسکویت (شکل ۵ -C) و بیوتیت کم آهـن (بـا رنـگ قهـوه‌ای خیلی روشن در نور ppl) دیده می‌شود. به دلیل مقاومت بالای میکاها، گردشدگی در آنها کمتر دیده می‌شـود ولـی بـه‌دلیـل قابلیت انعطاف‌پذیری، گاهی بـه‌صـورت میکـای خمیـده بـین دانه‌های دیگر مشاهده می‌گردد. میکاها هـم بـه‌صـورت قطعـه جداگانه و هم داخل خرده‌سنگهای دگرگـونی شیسـتی وجـود دارند. کلریت بسیار ناچیز در برخـی نمونـه‌هـا دیـده شـد کـه می‌تواند حاصل تجزیـه کانیهـای فرومنیـزین باشـد. هورنبلنـد (شـکل ۵- F)، تورمـالین، زیـرکن، اسـفن و کانیهـای اپـاک (مگنتیت و ایلمنیت) (حداکثر تا ۰/۵ درصـد) نیـز بـه مقـدار ناچیز و البته متغیر در نمونه‌ها حضور دارد.

سیمان: سیمانی شدن یکی از فرآیندهای دیاژنز اسـت کـه در کنار فرآیند فشردگی، سبب تبدیل رسوبات به سنگ می‌شـود. نوع سیمان معمولا توسط عواملی چون ترکیـب ذرات تشـکیل دهنـده سـنگ، ترکیـب آبهـای درون حفـره‌ای و شـرایط فیزیکوشیمیایی محیط دیـاژنز کنتـرل مـی‌گـردد (Tucker, 2001). مقدار سیمان کنگلومرای مطالعـه شـده بـین ۱ تـا ۶ درصد کل نمونه‌ها در بخشهای مختلف متغیر است. مهمتـرین سـیمان کنگلـومرای عـارفی از نـوع سیلیسـی اسـت. سـیمان سیلیسی معمولاً به‌صورت رورشدی در اطراف دانه‌های کـوارتز و به‌صورت پرکننده حفرات و درز و شکستگیها دیده می‌شـود. از جمله عمده‌ترین منابع سیمان سیلیسی به ترتیب اهمیت در این واحد می‌توان به سیلیس آزاد شـده از انحـلال فشـاری در کنتاکت بین دانه‌ها، سـیلیس محلـول در آبهـای بـین دانـه‌ای حاصل از سایش دانه‌های کوارتز در حین حمل و نقل و انحلال آن در آب، سـیلیس محلـول در آبهـای متئوریـک حاصـل از دگرسـانی کانیهـای سـیلیکاته در زون هـوازدگی، سـیلیس آزادشـده از دگرسـانی فلدسـپات و سـیلیس آزاد شـده از جانشینی کربناتها به جای سیلیکاتها اشاره نمود (Hashemi, 2004).

سیمان اکسید آهـن بعضـاً در فضـای بـین دانـه‌هـا، در درز و شکستگیها و در حاشیه دانه‌های کوارتز بـین کمتـر از ۰/۱ تـا حداکثر ۳ درصد دیده می‌شود. خوشبختانه در درون دانه‌هـای کوارتز اکسید آهن وجود نـدارد. آهـن آزاد شـده از هـوازدگی سنگهای رسوبی و آذریـن در سرمنشـأ، بـه‌صـورت محلـول در آبهای بین ذره‌ای در یک محیط اکسیدان، سبب تشـکیل ایـن سیمان می‌گردد. مقداری اکسید آهن نیز در طی مراحل دیاژنز نهایی رسوبات در اثر دگرسـانی کانیهـای فرومنیـزین تشـکیل می‌شوند (Tucker, 2001). سیمان کربناته سومین سیمان از لحاظ فراوانـی در کنگلـومرای عـارفی اسـت. سـیمان کربناتـه می‌تواند در اعماق کم در اثر تبخیر آب بـین ذره‌ای، در اعمـاق بالا در اثر بالا رفتن درجه حـرارت و pH محـیط و بـه‌صـورت جانشینی کلسیت به جای سیلیس و در زمـان بـالا آمـدگی از آبهـای جـوی غنـی از کربنـات کلسـیم منشـأ گرفتـه باشـد (Tucker, 2001). در منطقه عارفی به‌دلیل نبود خرده‌سـنگ کربناته، رس‌دار و شیلی، منشأ خارج از حوضه داشته و حاصل از رسوب‌گذاری از محلولهای اشباع شـده از یونهـای کلسـیم و بیکربنات ناشی از فشردگی و انحلال سنگهای آهکـی، رسـی و شیلی مجاور می‌باشد (Hashemi, 2004).

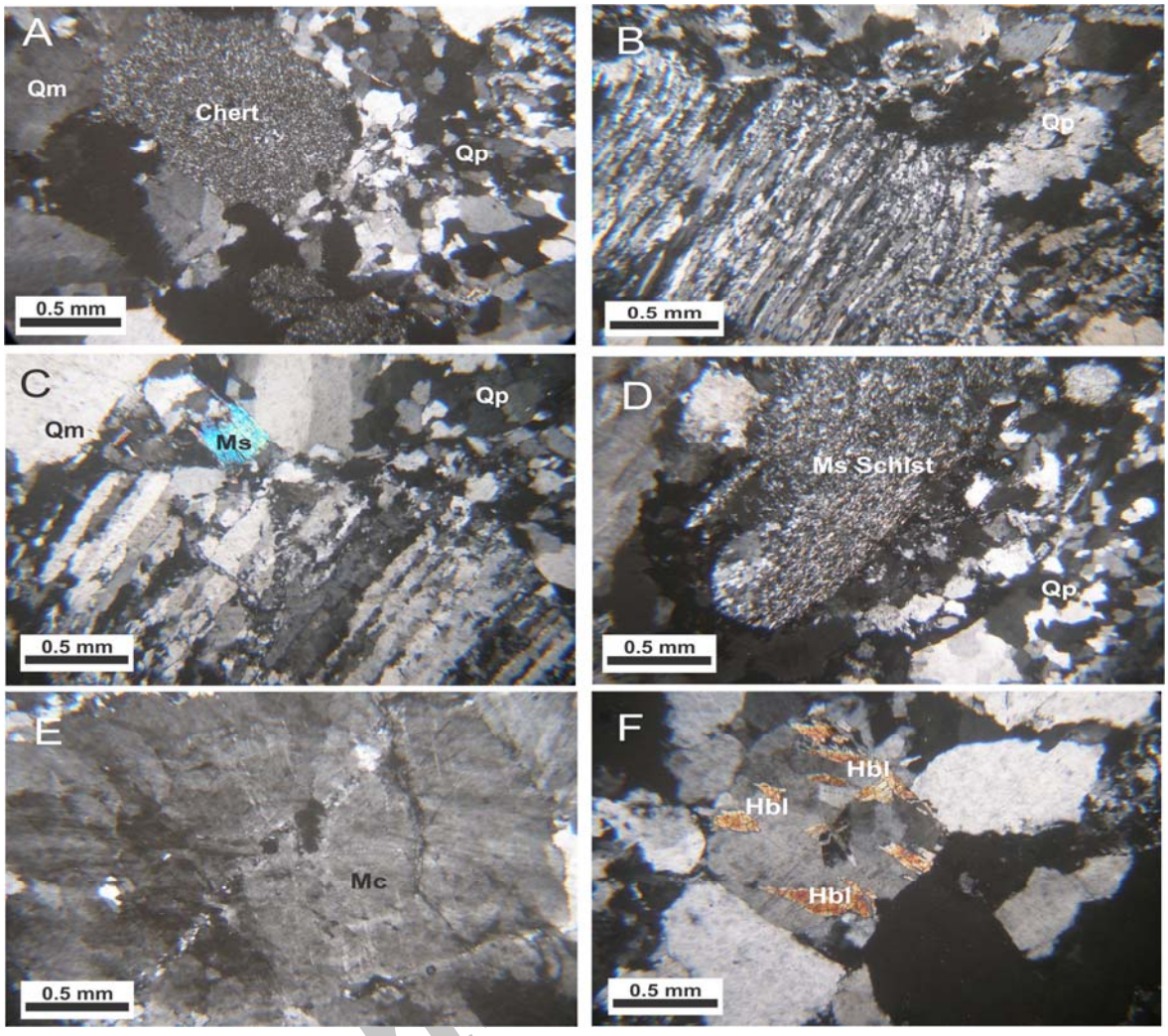
ژئوشیمی

نتایج تجزیه کل نمونه‌هـای ژئوشـیمیایی در شـکلهای ۶ تـا ۹ ارائه شده و خلاصه آن به شرح زیر است:

اکسید سیلیسیم: مقدار SiO_2 از ۹۳/۷ تا ۹۹/۵ درصـد متغیـر است. بیشـتر نمونـه‌هـا بـین ۹۸/۱۶ تـا ۹۹/۵ درصـد اکسـید سیلیسیم دارند و بـالاترین مقـادیر در نمونـه‌هـایی در شـمال، جنوب شرقی و غرب محدوده دیده می‌شـود. کمتـرین مقـادیر در شمال شرقی منطقه مشاهده می‌گردد (شکل ۶).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. A: کوارتز مونوکریستالین، پلی‌کریستالین و خرده‌سنگ چرت گرد شده (نمونه S-12)، B: کوارتز پلی‌کریستالین و کوارتز دگرگونی کشیده شده (نمونه S-30)، C: کوارتز مونوکریستالین، پلی‌کریستالین و دگرگونی کشیده شده همراه با قطعه مسکویت (نمونه S-2)، D: کوارتز پلی‌کریستالین و خرده‌سنگ دگرگونی مسکویت شیست (نمونه S-29)، E: قطعه میکروکلین (نمونه S-1)، F: قطعات هورنبلند بین کوارتزهای مونوکریستالین (نمونه S-13). (Qm= کوارتز مونوکریستالین، Qp= کوارتز پلی‌کریستالین، Ms= مسکویت، Mc= میکروکلین، Hbl= هورنبلند)

Fig. 5. A: Monocrystalline and polycrystalline quartz and rounded chert fragment (sample S-12), B: polycrystalline and metamorphic quartz (sample S-30), C: monocrystalline, polycrystalline, and metamorphic quartz associated with mouscovite (sample S-2), D: polycrystalline quartz and mouscovite schist fragment (sample S-29), E: microcline (sample S-1), F: hornblende within monocrystalline quartz (sample S-13). (Qm = monocrystalline quartz, Qp = polycrystalline quartz, Ms = mouscovite, Mc = microcline, Hbl = hornblende)

اکسید آهن: مقدار TFeO از ۰/۰۴ تا ۲/۷۲ درصد متغیر است. بیشتر نمونه‌ها بین ۰/۰۴ تا ۰/۴۲۵ درصد اکسید آهن دارند و کمترین مقادیر در نمونه‌هایی در جنوب، جنوب غربی و شمال محدوده دیده می‌شود. بالاترین مقادیر در شمال شرقی منطقه و منطبق بر نمونه‌های با کمترین اکسید سیلیسیم مشاهده می‌گردد (شکل ۷).

اکسید تیتان: مقدار TiO_2 از ۰/۰۲ تا ۰/۱۶ درصد متغیر است. بیشتر نمونه‌ها بین ۰/۰۲ تا ۰/۱۶ درصد اکسید تیتان دارند. بالاترین مقادیر در شمال شرقی و جنوب منطقه و تقریباً منطبق بر نمونه‌های با کمترین اکسید سیلیسیم و بیشترین اکسید آهن مشاهده می‌گردد (شکل ۸).

اکسید کلسیم: مقدار CaO از صفر تا ۰/۶ درصد متغیر است. غالب نمونه‌ها کمتر از ۰/۲ درصد اکسید کلسیم دارند. فقط در ۷ نمونه مقدار این اکسید به بیش از ۰/۵ درصد افزایش یافته است (شکل ۹).

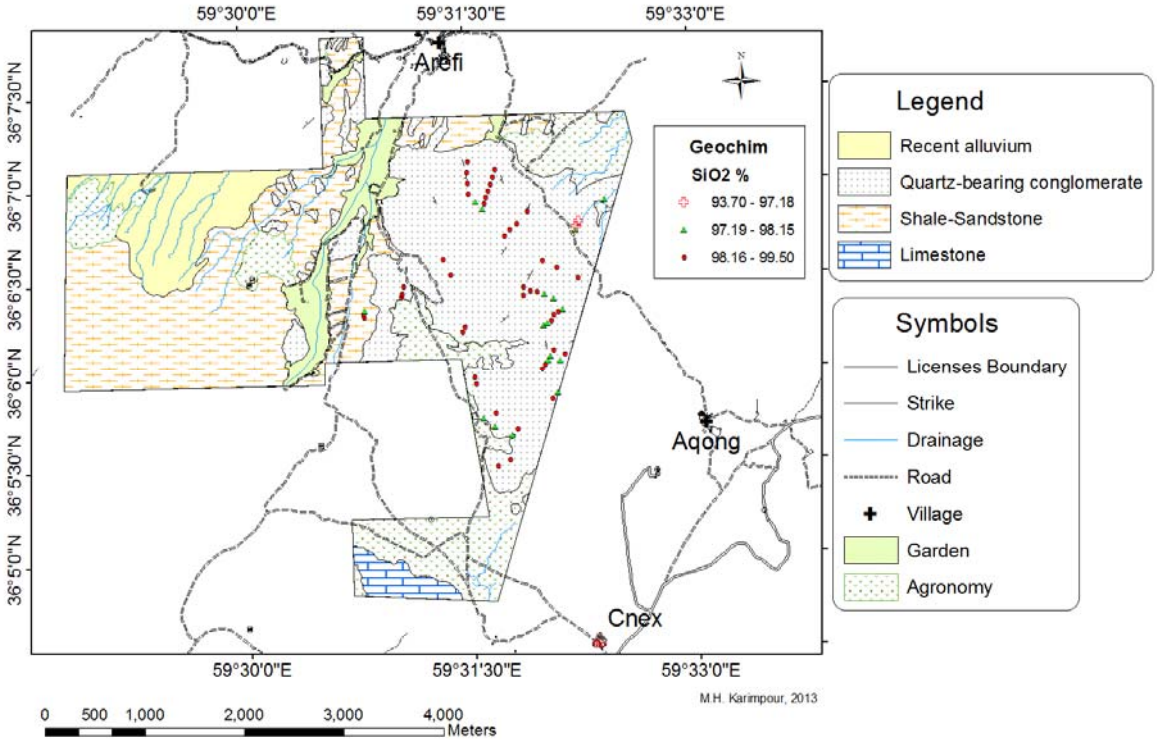
Archive of SID

www.SID.ir

در مرحله دوم به‌منظور بررسی عمقی کنگلومرا، تعداد ۱۰ چاله اکتشافی به عمق ۱۵ متر حفاری شد و هر ۵ متر حفاری (پودری) یک نمونه برداشت شده و به‌روش XRF برای اکسیدهای مذکور تجزیه شد. دامنه تغییرات میزان SiO_2 در مقابل TFeO و TiO_2 برای اعماق صفر تا ۵ متری، ۵ تا ۱۰ متری و ۱۰ تا ۱۵ متری در نمودارهای A-۱۰ تا F-۱۰ نمایش داده شده‌اند. میزان SiO_2 در اعماق مختلف عمدتاً در محدوده ۹۸ تا ۹۹ درصد است. میزان TFeO کمتر از ۰/۲ درصد و میزان TiO_2 بین ۰/۰۸ تا ۰/۰۲ درصد متغیر است (شکل A-۱۰ تا F-۱۰). در مجموع هیچ‌گونه تغییر مهمی بین نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌ها و نمونه‌های عمقی حاصل از حفاری به لحاظ عیار سیلیس، اکسید آهن و اکسید تیتانیم مشاهده نمی‌شود.

مطالعه سیال درگیر

به منظور تعیین منشأ کوارتزهای موجود در کنگلومرای عارفی، مطالعات سیالات درگیر بر روی ۴ نمونه از کوارتزهای مونوکریستالین- پلی‌کریستالین و نیز یک نمونه کوارتز دگرگونی کشیده شده انجام شد که خلاصه نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر در کوارتزهای مونوکریستالین و پلی‌کریستالین نشان داد که عمده سیالات درگیر از نوع ثانویه و بسیار ریز (کمتر از ۴ میکرون) هستند و به‌ندرت سیال درگیر اولیه در آنها یافت می‌شود. سیالات درگیر اولیه عمدتاً بزرگتر و به‌صورت مجزا بودند. براساس تقسیم‌بندیهای متداول (Roedder, 1984; Sheppherd et al., 1985)، سیالات درگیر ثانویه همگی از نوع دوفازی غنی از مایع (LV) بوده و به‌دلیل ریز بودن امکان دماسنجی آنها وجود نداشت. سیالات درگیر اولیه نیز عمدتاً بی‌شکل تا بیضوی بوده و اندازه آنها از ۸ میکرون تجاوز نمی‌کرد؛ به‌طوری‌که بخش زیادی از آنها در حد ۴ یا ۵ میکرون بودند. نوع آنها سه فازی و شامل بلور نمک طعام (LVS) است.

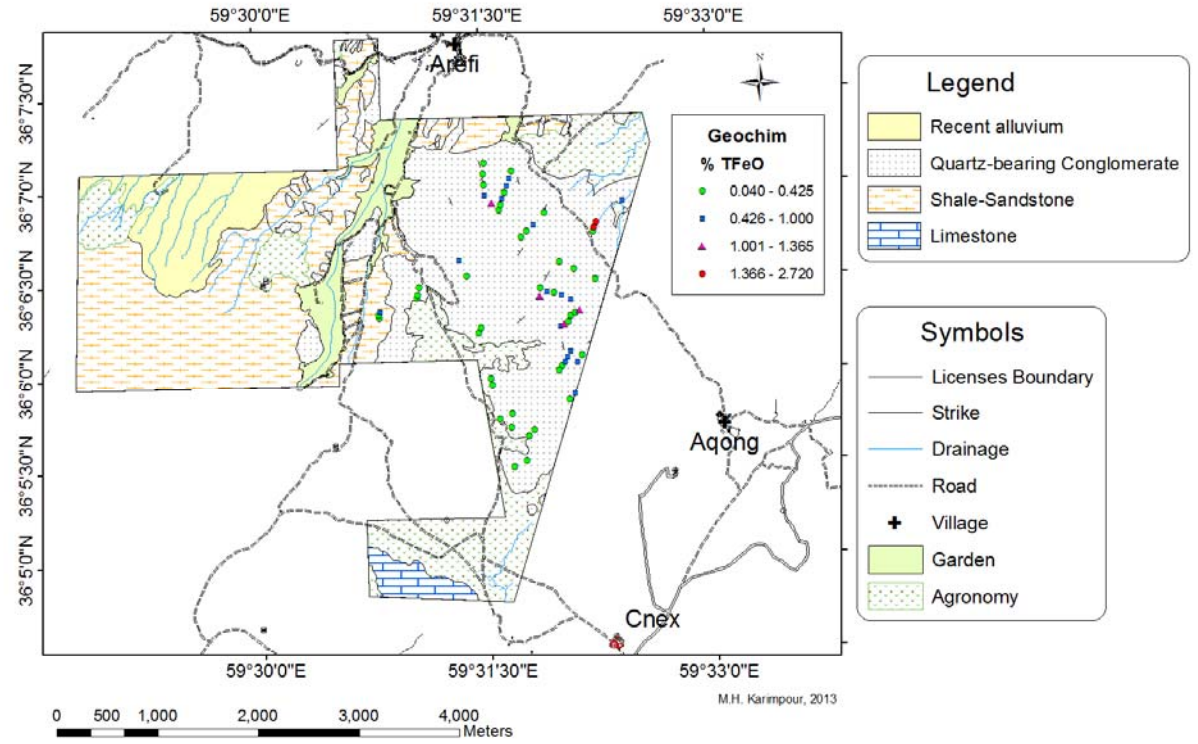


شکل ۶. مقدار SiO_2 بر روی نقشه زمین‌شناسی محدوده عارفی

Fig. 6. Content of SiO_2 overlain on geologic map of the Arefi area

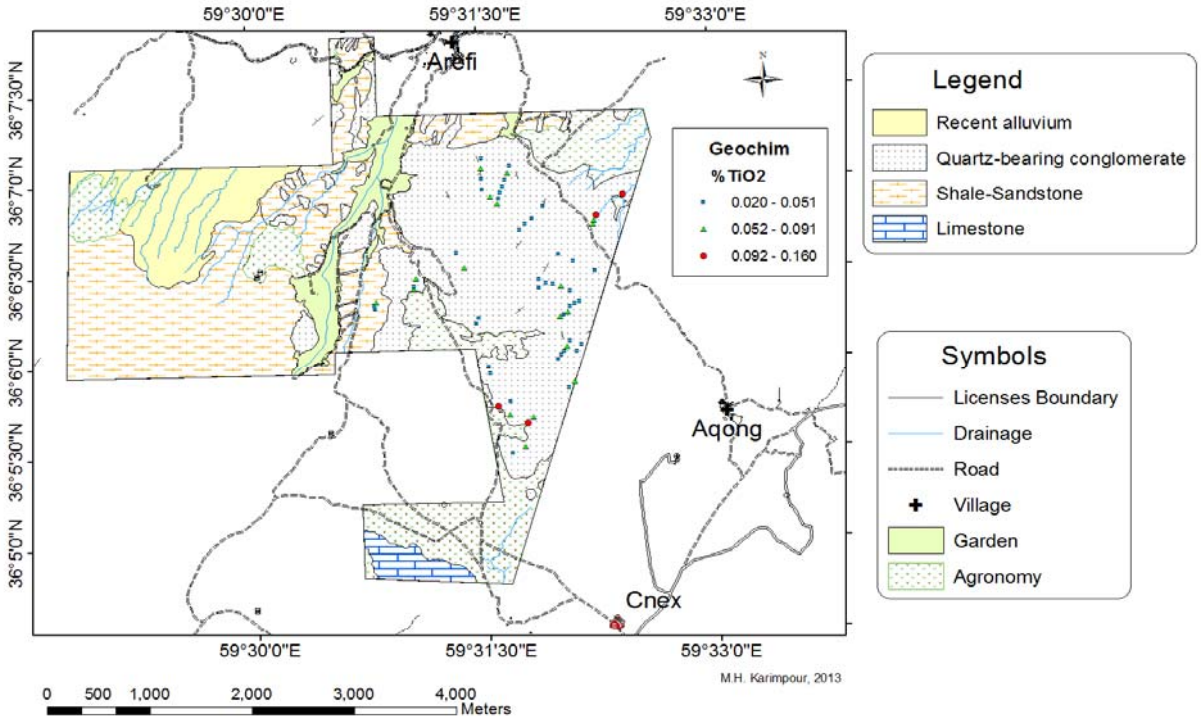
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷. مقدار TFeO بر روی نقشه زمین‌شناسی محدوده عارفی

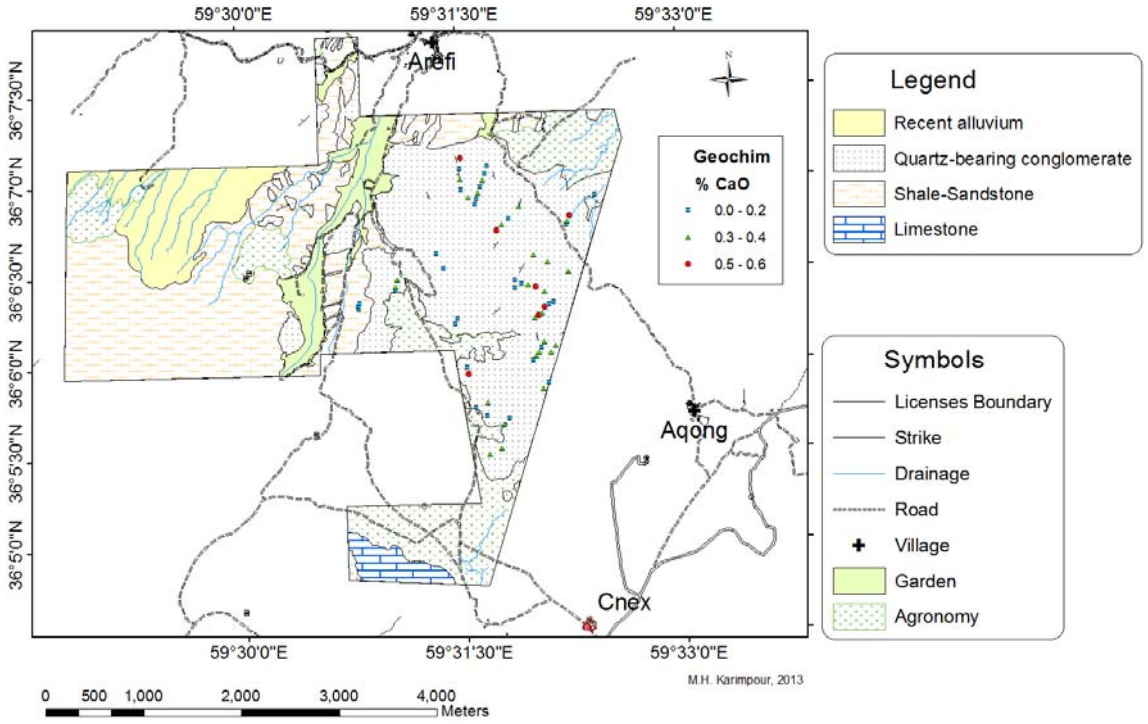
Fig. 7. Content of TFeO overlain on geologic map of the Arefi area



شکل ۸. مقدار TiO_2 بر روی نقشه زمین‌شناسی محدوده عارفی

Fig. 8. Content of TiO_2 overlain on geologic map of the Arefi area

www.SID.ir



شکل ۹. مقدار CaO بر روی نقشه زمین‌شناسی محدوده عارفی

Fig. 9. Content of CaO overlain on geologic map of the Arefi area

جدول ۱. اطلاعات ریزدماسنجی سیالات درگیر اولیه در پبلهای کوارتز کنگلومرای عارفی. (Qm= کوارتز مونوکریستالین، Qp= کوارتز پلی‌کریستالین، LVS= سیال سه فازی محتوی نمک، LV= سیال دوفازی غنی از مایع)

Table 1. Microthermometric data of primary fluid inclusions in the Arefi conglomerate quartz pebbles (Qm = Monocrystalline quartz, Qp = Polycrystalline quartz, LVS = Three-phase fluid including halite, LV = Two-phase liquid-rich

Sample No.	Quartz type	Fluid inclusion type	Number	Size (μm)	T_h(L-V) (°C)	T_m(NaCl) (°C)	Salinity (wt. % equiv.)	Density (gr/cm^3)
S3	Qm, Qp	LVS	6	4 to 7	562–>600	425–542	49.6–65.3	1–1.2
A17	Qm	LVS	5	4 to 6	484–>600	469–586	55.5–71.8	1.1–1.3
S13	Qm, Qp	LVS	7	4 to 8	493–>600	446–588	52.5–72.1	1.1–1.2
S17	Qm	LVS	5	4 to 6	514–589	462–554	54.5–67	1–1.2
	Metamorphic	LV	7	4 to 6	287–365	-	-	-

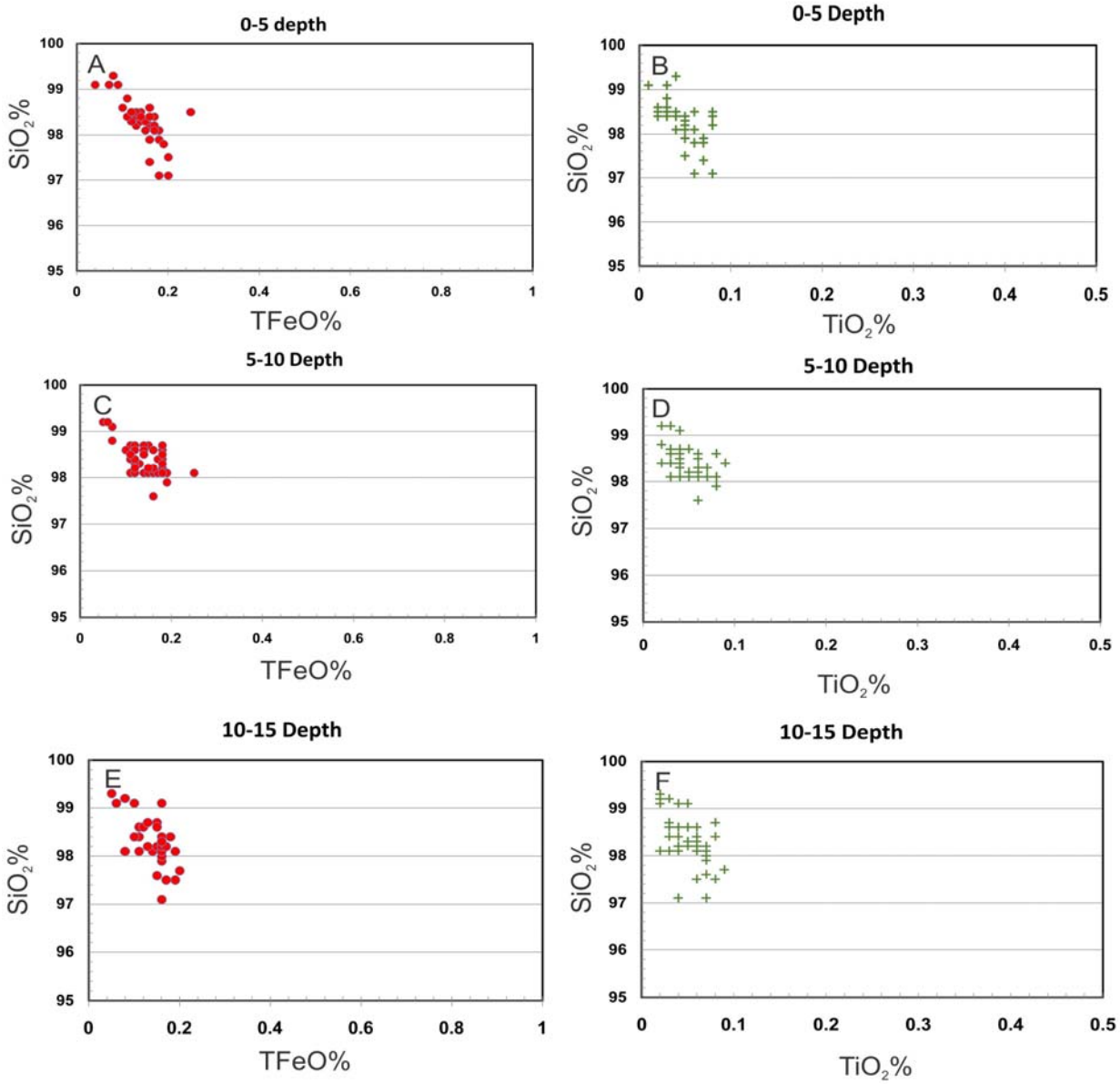
اندازه‌گیریهای دماسنجی و تعیین شوری بر روی این سیالات درگیر صورت گرفت (جدول ۱). در نمونه کوارتز دگرگونی کشیده شده نیز عمده سیالات درگیر ثانویه و از نوع LV بودند و به‌ندرت سیال درگیر اولیه با ابعاد ۴ تا ۶ میکرون یافت شد که آنها نیز دوفازی غنی از مایع بودند (جدول ۱). به‌علت ریز بودن سیالات در این نمونه فقط مطالعات دماسنجی انجام شد و شوریها اندازه‌گیری نشد.

در طی عمل گرمایش در سیالات درگیر اولیه در کوارتزهای مونوکریستالین و پلی‌کریستالین ابتدا فاز نمک طعام ذوب شده و سپس فاز حباب از بین رفت، به‌طوری‌که همگی آنها با از بین رفتن فاز بخار همگن شدند. دمای همگن شدن (T_h) سیالات درگیر اولیه نوع LVS بین ۴۸۴ تا بیش از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین دمای ۵۵۹ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۱ و شکل ۱۱-A). همچنین دمای ذوب شدن بلور

Archive of SID

www.SID.ir

نمک طعام (T_m) بین ۴۲۵ تا ۵۸۸ درجه سانتی‌گراد با میانگین دمای ۵۱۱ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۱ و شکل ۱۱-B). براساس سیستم H_2O-NaCl (Steele-MacInnis et al., 2012; Lecumberri-Sunchez et al., 2012) و مقدار T_m اندازه‌گیری شده، مقدار شوری بین ۴۹/۶ تا ۷۲/۱ درصد NaCl با میانگین ۶۱/۲ درصد متغیر است (جدول ۱ و شکل ۱۱-C).



شکل ۱۰. A: تغییرات SiO_2 به TFeO از عمق صفر تا ۵ متری چاله‌های اکتشافی، B: تغییرات SiO_2 به TiO_2 از عمق صفر تا ۵ متری چاله‌های اکتشافی، C: تغییرات SiO_2 به TFeO از عمق ۵ تا ۱۰ متری چاله‌های اکتشافی، D: تغییرات SiO_2 به TiO_2 از عمق ۵ تا ۱۰ متری چاله‌های اکتشافی، E: تغییرات SiO_2 به TFeO از عمق ۱۰ تا ۱۵ متری چاله‌های اکتشافی، F: تغییرات SiO_2 به TiO_2 از عمق ۱۰ تا ۱۵متری چاله‌های اکتشافی

Fig. 10. A: SiO_2 vs. TFeO from 0 to 5m of exploration hole, B: SiO_2 vs. TiO_2 from 0 to 5m of exploration hole, C: SiO_2 vs. TFeO from 5 to 10m of exploration hole, D: SiO_2 vs. TiO_2 from 5 to 10m of exploration hole, E: SiO_2 vs. TFeO from 10 to 15m of exploration hole, F: SiO_2 vs. TiO_2 from 10 to 15m of exploration hole

www.SID.ir

این سیالات درگیر بسیار چگال بوده و چگالی آنها نیز بین ۱ تا ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد (جدول ۱). حداقل دمای تشکیل و شوری بسیار بالای سیالات درگیر در کوارتزهای مونوکریستالین و پلی‌کریستالین نشان‌دهنده ماهیت ماگمایی این کوارتزهاست و ارتباط آنها با توده‌های آذرین را تأیید می‌کند (شکل ۱۲).

همچنین دامنه دمای همگن شدن در سیالات درگیر دوفازی نمونه کوارتز دگرگونی کشیده شده بین ۲۸۷ تا ۳۶۵ درجه سانتی‌گراد با میانگین دمای ۳۱۸ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۱ و شکل ۱۱-D). با توجه به این‌که بلور نمک طعام در آنها دیده نشده است، مقدار شوری نیز کمتر از ۲۴ درصد وزنی می‌باشد، اما شوری دقیق سیالات به‌دلیل ریز بودن اندازه‌گیری نشد. دمای همگن شدن این سیالات نسبتاً متوسط بوده و ماهیتی شبیه به آبهای دگرگونی (۱۷۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد) (Kesler, 2005) را نشان می‌دهد. اما آبهای دگرگونی شوری کمتر از ۱۰ درصد دارند (Kesler, 2005) که تأیید این موضوع در نمونه مورد مطالعه نیاز به تعیین دقیق میزان شوری دارد (شکل ۱۲).

فرآوری سیلیس عارفی

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، یک عامل اصلی و مهم در کاربرد سیلیس، مقدار SiO_2 است و مهمترین اکسیدهای مزاحم، TFeO، Al_2O_3 و TiO_2 هستند. نمونه‌های سیلیس عارفی دارای مقدار SiO_2 عمدتا بیش از ۹۸ درصد، مقدار TFeO کمتر از ۰/۴۲ درصد و TiO_2 کمتر از ۰/۱۶ درصد است که به لحاظ کارآیی بسیار مطلوب به‌نظر می‌رسد. اما به‌منظور کاهش بیشتر مقدار TFeO و TiO_2 نمونه‌ها، تعدادی نمونه مورد آزمایشهای فرآوری قرار گرفت. مطالعات فرآوری شامل خردایش، آسیاکنی، دانه‌بندی، کلاسیفایر هوایی و جدایش مغناطیسی بوده است. در مرحله خردایش، نمونه طی سه مرحله سنگ‌شکنی (فکی بزرگ، فکی کوچک و مخروطی) به فراکسیون ابعادی کوچکتر از ۲ میلی‌متر رسانده شد. محصول سنگ‌شکنی جهت جدایش فراکسیون‌های ابعادی درشت‌دانه و ریزدانه مورد آنالیز سرندی قرار گرفت. میانگین عیار متوسط TFeO در نمونه ریز دانه، در کل نمونه و در بازه ابعادی ۸۵۰+ تا ۱۰۶+ میکرون به ترتیب، ۰/۵۱ و ۰/۳۹به دست آمد. با حذف ابعاد کمتر از ۱۰۶ میکرون، میانگین عیار متوسط TFeO، به مقدار ۰/۱۲ کاهش یافت. همچنین میانگین عیار متوسط TFeO در نمونه درشت‌دانه، در کل نمونه و در بازه ابعادی ۶/۱۶+ تا ۱+ میلی‌متر و در بازه ابعادی ۶/۱۶ و ۱+ میلی‌متر به ترتیب، ۰/۴۰ ، ۰/۳۳ و ۰/۲۸ به‌دست آمد. با حذف ابعاد کمتر از ۱ میلی‌متر میانگین عیار متوسط TFeO، به مقدار ۰/۰۷ کاهش یافت. مرحله آسیا کنی سیلیس به دلایل زیر انجام شده است:

۱- در صورت امکان آزاد کردن ذرات آهن‌دار

۲- دانه‌بندی محصول مورد نظر در ابعاد مطلوب

۳- بهینه‌سازی زمان خردایش و محاسبه بار در گردش آزمایش آسیاکنی به همراه آنالیز سرندی در زمانهای مختلف.

پس از آن آزمایش کلاسیفایر هوایی انجام شد که نتایجی برای حذف آهن در نمونه‌ها نداشت. پس از آن جهت کاهش مقدار آهن محتوی نمونه اولیه سیلیس، آزمایش مغناطیسی خشک با شدت میدان بالا (۱۴۰۰۰ گوس) انجام گرفت. در بهترین شرایط عیار TFeO به ۰/۰۳ درصد و TiO_2 به ۰/۰۲ درصد رسید که می‌تواند برای صنایع شیشه کاربرد داشته باشد و در صورت استفاده از روش فرآوری تر قطعاً کیفیت خروجی سیلیس فرآوری شده بالاتر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

کنگلومرای کوارتزدار عارفی با وجود بیش از ۹۷ درصد کوارتز در قالب قطعات و سیمان و مقدار اکسید آهن پایین و نیز نزدیکی به شهر مشهد، یکی از منابع غنی از سیلیس و حایز اهمیت برای صنایع مختلف محسوب می‌شود.

ارتفاعات بینالود نواری چین‌خورده و گسلیده از نوع نازک پوسته‌ای است که به‌دنبال تصادم میان قطعات لیتوسفری ایران و توران و از بین رفتن اقیانوس پالئوتتیس در تریاس پسین در حاشیه شمال شرقی ایران تشکیل شده است. به دنبال این تصادم، توده‌های نفوذی با ترکیب اسیدی- حدواسط از نوع سری ایلمنیت (احیایی) در نتیجه ذوب‌بخشی پوسته قاره‌ای تشکیل شدند. براساس مطالعات سن‌سنجی به‌روش U-Pb بر روی کانی زیرکن (Karimpour et al., 2009; Karimpour et al., 2010; Karimpour et al., 2011) توده گرانودیوریتی کوهسنگی در ۲۱۷ میلیون سال پیش، توده دیوریتی ده‌نو در ۲۱۵ میلیون سال پیش، لوکوگرانیت‌های خواجه مراد در ۲۰۵ میلیون سال پیش و

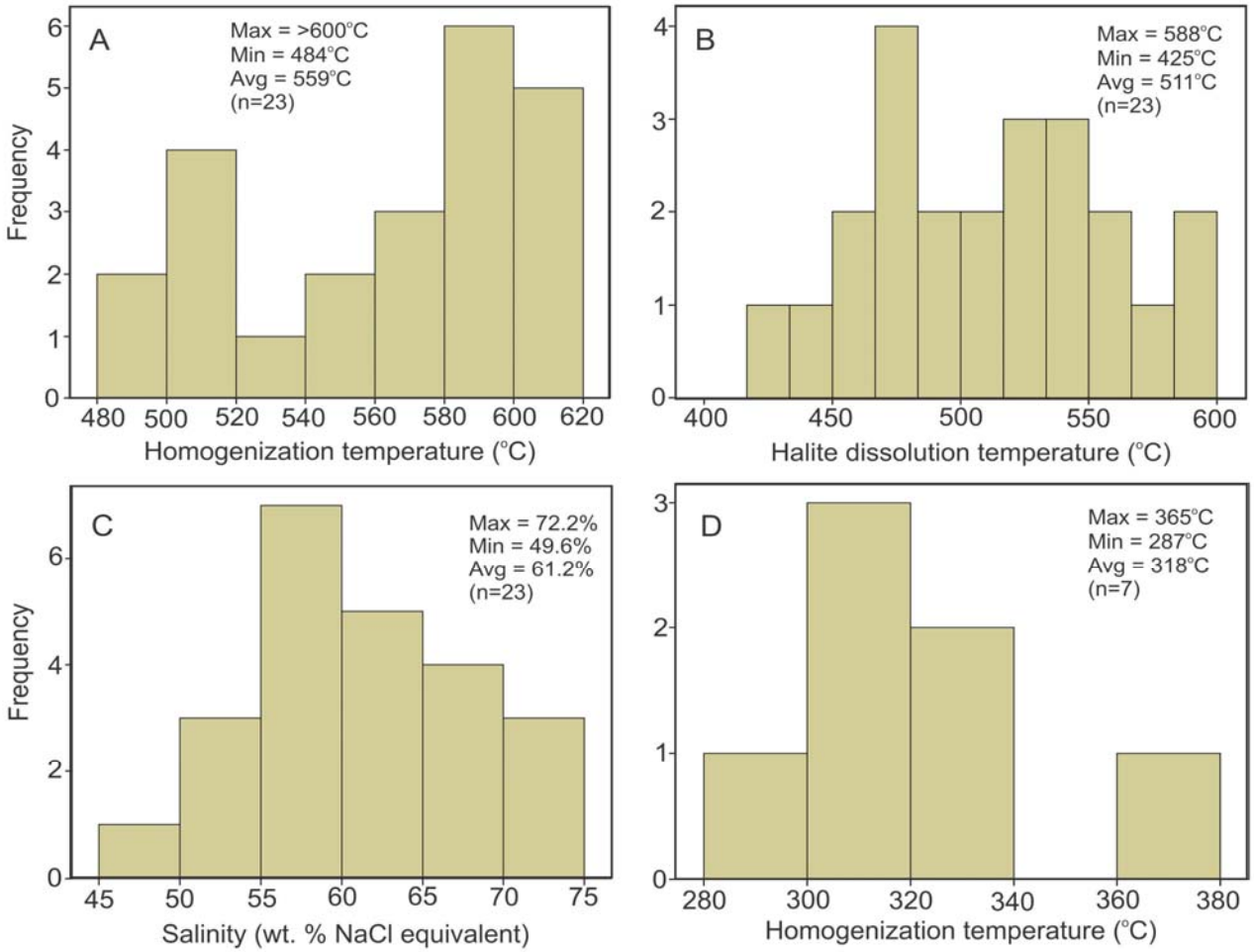
Archive of SID

www.SID.ir

مونزوگرانیت‌های سنگ‌بست در ۲۲۵ میلیون سال پیش یعنی اواخر تریاس تشکیل شده‌اند. همچنین دو مرحله دگرگونی ناحیه‌ای در منطقه اتفاق افتاده است که اولی مربوط به کوه‌زایی هرسینین در اواخر پالئوزوئیک و دومی مربوط به کوه‌زایی سیمیرین در اوایل ژوراسیک است (Karimpour et al., 2009).

سن تقریبی کنگلومرای عارفی ژوراسیک میانی تعیین شده است و این رسوبات پس از وقوع دگرگونی‌های ناحیه‌ای و نفوذ توده‌های احیایی تشکیل شده‌اند. از سوی دیگر (Lammerer et al, 1983) در تکمیل وقایع تکتونیکی بینالود، به یک چین‌خوردگی و تراستی شدن شدید ارتفاعات بینالود در فاصله زمانی بین ژوراسیک تحتانی و فوقانی اشاره کرده‌اند.

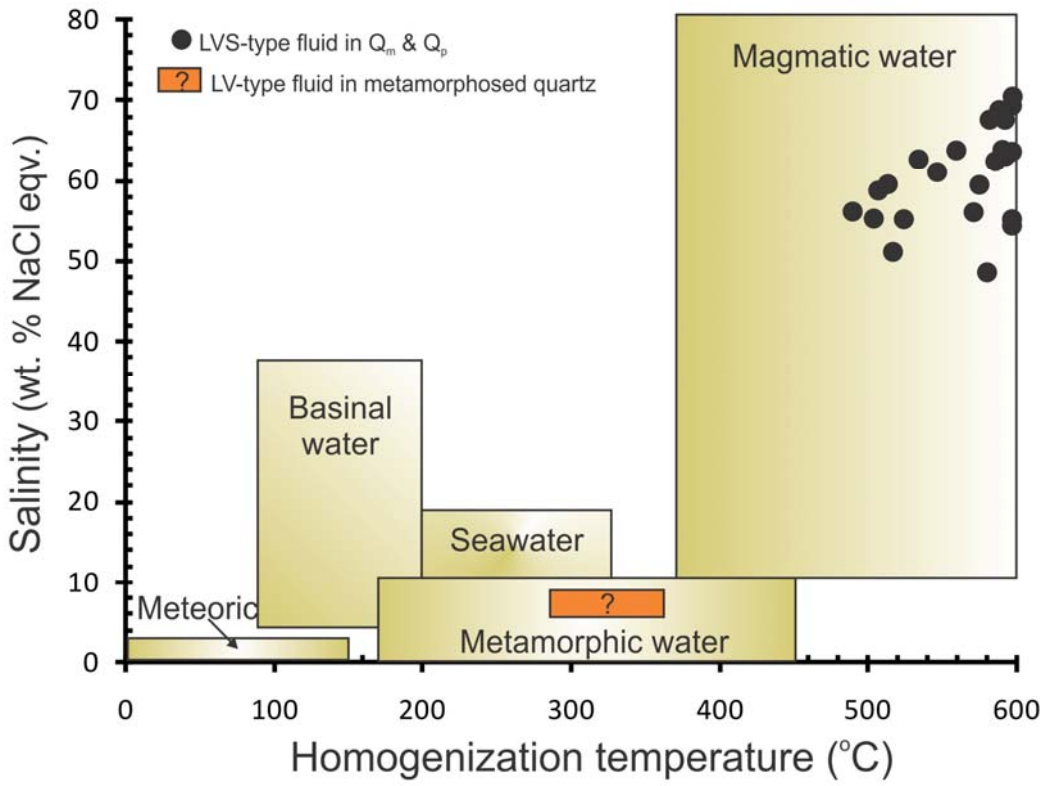
رحیمی (Rahimi, 1992)، سه نسل گسلهای راندگی را در ارتفاعات بینالود معرفی کرد که نسل اول با حرکات سیمیرین و آلپ پیشین همراه بوده و باعث تشکیل رسوبات آواری در تریاس فوقانی، ژوراسیک تحتانی، ژوراسیک میانی و قاعده کرتاسه شده است.



شکل ۱۱. A: هیستوگرام دمای همگن شدن سیالات درگیر سه فازی LVS در کوارتزهای مونوکریستالین و پلی‌کریستالین، B: هیستوگرام دمای ذوب بلور نمک طعام سیالات درگیر سه فازی LVS در کوارتزهای مونوکریستالین و پلی‌کریستالین، C: هیستوگرام مقدار شوری سیالات درگیر سه فازی LVS در کوارتزهای مونوکریستالین و پلی‌کریستالین، D: هیستوگرام دمای همگن شدن سیالات درگیر دوفازی LV در کوارتز دگرگونی

Fig. 11. A: Homogenization temperature histogram of three-phase fluid inclusions (LVS) in monocrystalline and polycrystalline quartz, B: halite dissolution temperature histogram of three-phase fluid inclusions (LVS) in monocrystalline and polycrystalline quartz, C: Salinity histogram of three-phase fluid inclusions (LVS) in monocrystalline and polycrystalline quartz, D: homogenization temperature histogram of two-phase fluid inclusions (LV) in metamorphic quartz

www.SID.ir



شکل ۱۲. نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن سیالات درگیر با محدوده آبهای مختلف از (Kesler, 2005). سیالات نوع سه فازی در کوارتز مونوکریستالین و پلی‌کریستالین در محدوده آبهای ماگمایی و سیالات نوع دو فازی کوارتزهای دگرگونی احتمالاً در محدوده آبهای دگرگونی قرار می‌گیرند (Qm= کوارتز مونوکریستالین، Qp= کوارتز پلی‌کریستالین)

Fig. 12. Homogenization temperature vs. salinity diagram for fluid inclusions with fields for various fluid types after Kesler (2005). Three-phase fluid inclusions in mono- and polycrystalline quartz plot in magmatic water field and two-phase types in metamorphic quartz probability plot in metamorphic water field (Qm = monocrystalline quartz, Qp = polycrystalline quartz)

زمانی که یک حوضه اقیانوسی بسته می‌شود؛ به‌علت برخورد دو صفحه قاره‌ای و افزایش ضخامت لیتوسفر یک کمربند کوه‌زایی تشکیل می‌گردد که باعث دگرشکلی یا دگرگونی در قسمتهای زیرین پوسته و گسل خوردگی در ترازهای بالای کمربند کوه‌زایی می‌شود. در مجاورت این کمربند کوه‌زایی در حاشیه پوسته قاره‌ای یک حوضه فورلند تشکیل می‌گردد (Miall, 1981). نظیر این رویداد در شمال شرق ایران رخ داده است. فعالیت گسلهای راندگی جدید، بالا آمدگی و فرسایش سنگهای قدیمی را به همراه داشته و مقادیر فراوانی از رسوبات آواری را به حوضه فورلند مجاور این کمربند کوه‌زایی حمل و باعث تشکیل طبقات کنگلومرایی عارفی شده است (Hashemi, 2004). لذا مهمترین منشأ کوارتزهای موجود در کنگلومرا، رگه‌های کوارتز در بخش فوقانی توده‌های گرانیتی – پگماتیتی (تریاس فوقانی) محدوده خواجه مراد و رگه‌های کوارتز تشکیل شده در زمان دگرگونی ناحیه‌ای، است. مطالعات سیالات درگیر در کوارتزها نیز این مسأله را تأیید می‌کند؛ به‌طوری‌که کوارتزهای مونوکریستالین و پلی‌کریستالین که بخش اعظم کنگلومرا را تشکیل می‌دهند، از سیالی با دما و شوری بسیار بالا (میانگین دمای ۵۵۹ درجه سانتی‌گراد و شوری ۶۱ درصد) تشکیل شده‌اند که ماهیت ماگمایی دارد. کوارتزهای دگرگونی نیز سیالات درگیری دارند که میانگین دمای تشکیل آنها ۳۱۸ درجه سانتی‌گراد با شوری کمتر از ۲۴ درصد است و نشان‌دهنده احتمالاً ماهیت آبهای دگرگونی است.

براساس مقدار SiO_2، سیلیس را می‌توان به سه نوع درجه یک (بیش از ۹۶ درصد SiO_2)، درجه دو (بین ۸۵ تا ۹۶ درصد

Archive

www.SID.ir

(SiO_2) و درجه سه (بین ۷۰ تا ۸۵ درصد SiO_2) تقسیم کرد. سیلیس درجه یک عمدتاً در صنایع شیشه‌سازی، لعاب، صنایع شیمیایی، فروسیلیس، پشم شیشه، سیلیکات سدیم، فروکروم و ماسه تست سیمان؛ سیلیس درجه دو در صنایع ریخته‌گری، ماسه سندبلاست، فیلتراسیون و دیرگدازها؛ و سیلیس درجه سه در صنایع آجر ماسه آهکی و آجر سبک، کارخانجات تولید سیمان و بتن سبک کاربرد دارد. برپایه مطالعات ژئوشیمیایی سطحی و عمقی، نمونه‌های سیلیس عارفی دارای مقدار SiO_2 عمدتاً بیش از ۹۸ درصد، مقدار TFeO کمتر از ۰/۴۲ درصد و TiO_2 کمتر از ۰/۱۶ درصد هستند که با انجام آزمایشهای مغناطیسی خشک مقدار TFeO به ۰/۰۳ درصد و TiO_2 به ۰/۰۲ درصد نیز کاهش یافته است. لذا ذخیره سیلیس عارفی از نوع درجه یک محسوب شده و برای صنایع شیشه‌سازی و ظروف شیشه‌ای مرغوب پیشنهاد می‌شود.

قدردانی

اعتبار پژوهشی این پروژه از محل پژوهه در دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۲۹۰۵۷/۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۰/۳ تأمین شده است. نویسندگان از شرکت مهندسی دانش فراوران برای انجام آزمایشهای فرآوری سپاس‌گزاری می‌کنند.

References

Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103(8): 983-992.

Blair, T.C. and Macpherson, J.G., 1999. Grain size and textural classification of coarse sedimentary particles. Journal of Sedimentary Research, 69(1): 6-19.

Folk, R L., 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill publishing, Austin, Texas, 182 pp.

Hasemi, S.F., 2004. Petrology and depositional environment of Jurrasic conglomerate in south of Mashhad. Unpublished M.Sc. thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 200 pp. (in Persian)

Karimpour, M.H., Farmer, G.L. and Stern, C.R., 2009. Geochronology, radiogenic isotope geochemistry, and petrogenesis of Sangbast Paleo-Tethys monzogranite, Mashhad, Iran. Iranian Crystallography and Mineralogy of Iran, 17(4): 706-719. (in Persian)

Karimpour, M.H., Farmer, G.L. and Stern, C.R., 2011. Rb–Sr and Sm–Nd Isotopic Compositions, U-Pb Age and Petrogenesis of Khajeh Mourad Paleo-Tethys Leucogranite, Mashhad, Iran. Scientific Quarterly Journal Geosciences, 20(80): 171-182. (in Persian)

Karimpour, M.H., Stern, C.R. and Farmer L., 2010. Zircon U-Pb geochronology, Sr-Nd isotope analyses, and petrogenetic study of the Dehnow diorite and Kuhsangi granodiorite (Paleo-Tethys), NE Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 37(4): 384-393.

Kesler, E.S., 2005. Fluids in Planetary Systems: ore-Forming Fluids. Elements, 1(1): 13–18.

Khatonie Molayossefi, M., 2000. The study of stratigraphy and plants fossils of Shemshak formation in Shandiz area. Unpublished M.Sc. thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 222 pp. (in Persian)

Lammerer, B., Lamgheinrich, G. and Danai, M.M., 1983. The tectonic evolution of the Binalood mountains (NE Iran). In Geodynamic project (geotraverse) in Iran, Geological Survey of Iran, Report 51, pp. 91-102.

Lecumberri-Sanchez, P., Steel-MacInnis, M. and Bodnar, R.J., 2012. A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance. Geochim Cosmochim Acta, 92: 14-22.

Miall, A.D., 1981. Alluvial sedimentary basins: tectonic setting and basin architecture. In: A.D. Miall (Editor), Sedimentation and tectonics in alluvial basins. Geological Association of Canada, Special paper 23, pp. 1-33.

Miall, A.D., 1996. The Geology of fluvial deposits. Sedimentary facies. Basin Analysis and Petroleum Geology, Springer-Verlag, New York, 582 pp.

Miall, A.D., 2000. Principle of sedimentary basin analysis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 668 pp.

Moussavi Harami, S.R., 1995. Sedimentology. Press Astan Quds Razavi, Mashhad, 479 pp. (in Persian)

Pettijohn, F.J., 1975. Sedimentary rocks. 3rd edition, Harper and Row, New York, 628 pp.

Rahimi, B., 1992. Structural analysis of Binaloud mountains in east and northeast of Neyshabour (Droud map). Unpublished M.Sc. thesis,

Archive of SID

www.SID.ir

Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran, 179 pp. (In Persian)

Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy 12, 644 pp.

Sahabi, F., 1996. Sedimentary petrology. Tehran University Press, Tehran, 266 pp. (in Persian)

Sheppherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie and Son, Virginia, 239 pp.

Steele-MacInnis, M., Lecumberri-Sanchez, P. and Bodnar, R.J., 2012. HOKIEFLINCS-H2O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H_2O–NaCl. Computers Geosciences, 49: 334–337.

Taheri, J. and Ghasemi, F., 2001. Geologic map of Mashhad, scale 1:100,000. Geological Society of Iran, Tehran.

Tucker, M.E., 2001. Sedimentary petrology. 3rd edition, Blackwells, Oxford, 260 pp.

Archive of SID

www.SID.ir