

کانی شناسی، زمین شیمی، منشأ و مصرف صنعتی سیلیس منطقه عارفی، جنوب مشهد

محمدحسن کریم پورا*، آزاده ملکزاده شفارودی و سعید سعادت

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

چکیدہ

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 تشکیل شده 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 پلی کریستالین نشاندهنده حضور سیالات سه فازی LVS حاوی نمک طعام است. دمای همگن شدن آنها بین ۴۸۴ تا بیش از ۶۰۰ درجه سانتی گراد با میانگین دمای ۵۵۹ درجه سانتی گراد 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 سانتی گراد با میانگین دمای ۳۱۸ درجه سانتی گراد 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 SiO₂ عمدتا بیش از ۹۸ درصد، مقدار TFeO کمتر از ۰/۴۲ درصد و TiO2 کمتر از ۰/۱۶ درصد است. میزان ذخیره قطعی بیش از ۵۰ میلیون تـن است. بـا انجام آزمایشهای مغناطیسی خشک مقدار TFeO به ۰/۰۳ درصد و TiO2 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 SiO₂ است. در نتیجه سیلیس در صنایع مختلفی نظیر شیشهسازی، سرامیک، بلور و کریستال، ریخته گری، تولید بتن سبک، سندبلاست، دیرگدازها، تصفیه مایعات، تولید سیلیکات سدیم و غیره مصرف می شود. 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 صورتی که درصد اکسیدهای دیگر غیر از SiO از حدود معینی تجاوز کند، کاربرد آن را در صنایع مختلف محدود و یا غیرممکن میسازد. مهمترین اکسیدهای مزاحم، TFeO، Al₂O₃

منطقه عارفی در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب مشهد و در محـدوده بـین طولهـای جغرافیـایی ۲۸٬۴۵[°] ۲۹ تـا

۳۲´۳۲″ ۵۹ شـرقی و عرضـهای جغرافیـایی ۳۲´۴۰[°]۳۶ تـا ۳۶٬۰۷٬۵۲‴ شمالی واقع شده است. این محدوده در حدفاصل روستاهای عارفی و آغنج قرار دارد (شکل ۱). از لحاظ تقسيمات ساختاري اين منطقه جزو زون بينالود محسوب می شود. درون یک حوضه تکتونیکی باریک با رونـد NW-SE در جنوب بینالود، کنگلومرا، شیل و سیلتاستون دیده می شود. کنگلومرای قاعده در قسمت شمالی حوضه وجود دارد و در جهت SW به سیلتاستون و شیل تغییر می یابد. این کنگلومرا شامل پبلها و قلوههایی از متافلیش، تونالیت، گرانودیوریت، فلدسپات مونزوگرانیت پورفیری، ماسه سنگ، سیلت استون و شیل است. افقهای کمی از زغال درون شیل ها دیده می شود. به طرف قسمتهای فوقانی، کنگلومرایی با پبلهای کوارتز شیری گرد شده مشاهده می گردد که در جهت SW نزدیک توده لوکوگرانیتی، پبلهای کوارتز افزایش می یابد. نزدیک روستای عارفی کنگلومرای کوارتزی با ۹۰ درصد کوارتز شیری گردشده مشاهده می گردد. هاشمی (Hashemi, 2004) معتقد است که کنگلومراهای این ناحیه از نوع کنگلومرای ارتوکوراتزیتی و پلی میکتیک و ماسهس نگها نیز عمدتاً کوارتوز و کوارتوزلیتیک میباشند که نشان میدهد. ایـن رسـوبات حاصـل کـوهزایـی هسـتند کـه از کمربنـدهای چین خورده - 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 کلے در این رسوبات پیدا شدہ سن لیاس- دوگر (ژوراسیک) را برای آنها تداعی میکند (Khatonie

با توجه به گستردگی استفاده از منابع سیلیس در صنایع مختلف، اکتشاف و مطالعه تفصیلی این گونه ذخایر، آن هم در نزدیکی شهرهای بزرگ، گام مهمی در جهت رونـق صنایع معدنی و صنعتی وابسته میباشد. هدف از ایـن مقالـه بررسی دقیق کانیشناسی کنگلومرای عارفی با تأکیـد ویـژه بـر نـوع، اندازه، درصد و آغشتگی پبلهای کـوارتز بـا اکسیدهای آهـن، ژئوشیمی با تاکید ویژه بر مقدار سیلیس و عناصر مزاحم، منشأ دانههای کوارتز با کمک شـواهد زمـینشناسـی و نیـز مطالعـه سیالات درگیر و بررسی مصرف صنعتی آن با نگاه ویـژه بـرای 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 برداشت شده از محل ترانشهها و چالهای اکتشافی به روش XRF برای ارزیابی میزان اکسیدهای سیلیسیم، آهن، تیتان و کلسیم. به منظور بررسى تغييرات ژئوشيميايى عناصر مهم مانند اكسيد سيليس، 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 سانتی متر × ۱۰ سانتی متر 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 جمع آوری 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 نمونه هایی 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 فیلییس و متعلق به آزمایشگاه گروه کارخانجات چینی مقصود بوده است. ۴- آزمایش فرآوری نمونهها در آزمایشـگاه شـرکت مهندسـی 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

www.SID.ir

.(Molayossefi, 2000

600 THM در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفته است. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن C°1± و محدوده حرارتی دستگاه بین (۱۹۰-) تا (۴۶۰۰) درجه سانتی گراد می باشد. مقدار شوری و دانسیته سیالات در گیر با

استفاده از برنامیه HOKIEFLINCS-H2O-NACL محاسبه شده است (Steele-MacInnis et al., 2012; محاسبه شده است Lecumberri-Sunchez et al., 2012) هیستوگرامهای مناسب در نرمافزار SPSS ترسیم شد.



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

زمينشناسى

منطقه مورد مطالعه در گوشه جنوب غربی نقشه ۲۰۰۰۰۰۱ منطقه مورد مطالعه در گوشه جنوب غربی نقشه ۲۹۹۵ واقع شده است مشهد (Taheri and Ghasemi, 1993) واقع شده است (شکل ۲). براساس این نقشه قدیمی ترین واحد رخنمون یافته در این ناحیه سنگ آهک و آهک دولومیتی سازند بهرام به سن دونین می اشد 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 لایپلی 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 لایپلی توفهای دگرگون شده گسترش کمی دارند و حاصل فعالیت انفجاری در محیطهای خشکی و کمعمق دریایی هستند انفجاری در محیطهای خشکی و کمعمق دریایی هستند محموعه، بیانگر وجود فعالیت آتشفشانی بوده و احتمالاً حاصل

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 زمین شناسی محدوده اکتشافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه و در شکل ۳ نشان داده شده است. قدیمی ترین واحد منطقه، سنگآهک است که در جنوب محدوده رخنمون دارد (شکل ۳). بقیه پوشش زمین شناسی منطقه را می توان 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 کوار تزدار به صورت بین لایه ای در آن دیده می شود (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 B-۴ ، C 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 مىدهد، هـدف اصلى ايـن مقالـه اسـت. سـيمان ايـن واحـد 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 فوران در قوس آتشفشانی است (Alavi, 1991). بخشی از تودههای گرانیتی نوع S (سری ایلمنیت- احیایی) تریاس زون بینالود که حاصل ذوب بخشی 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 می شود (شکل ۲) (Karimpour et al., 2009; Karimpour et al., 2010). شيلهای تيرهرنگ 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 شـرقی در شمال شرقی محدوده قرار دارد که عضو قاعدهای ژوراسیک محسوب می شود (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 می گیرد (شکل ۲). سنگ آهک اوربیتولیندار کرتاسه زیرین متوسط لایه تا نازکلایه که به صورت 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 می شود (شکل ۲) (Taheri and Ghasemi, 1993). منطقه مورد مطالعه از لحاظ تکتونیکی در ناحیه زون درز قرار دارد و بهطور کلی گسیلهای راندگی و صفحات رورانده، عمدهترین ساختمانهای زمینشناسی در منطقه هستند.

ارتوکنگلومرا محسوب میشود، زیرا متعلق به محیط رودخانهای پرانرژی بوده و دانههای درشت و ریز با تراکم بالا توسط یک سیمان سیلیسی به یک دیگر متصل شدهاند (Sahabi, 1996). از آنجایی که 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 نمی کند، میتواند در گروه کنگلومراهای ارتوکوارتزیتی قرار بگیرد. کنگلومرای دارای اندکی ماسه (G(s)) (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



شکل ۲. نقشه زمین شناسی ناحیه ای منطقه عارفی (بر گرفته 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)

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، هاشمی (Hashemi, 2004) رخسارههای سنگی متعددی را براساس اختصاصات بافتی و ساختمانهای رسوبی شناسایی کرد. وی براساس طبقه بندی (Miall, 1996; Miall, 2000)

1980)، کوارتزھای دگر گونی مے تواند شامل کوارتزھای دگرگونی محصول تبلورمجدد، کوارتزهای شیستوز و کوارتزهای دگرگونی کشیده شده باشد که البته نوع اول فراوانتر است. کوارتزهای دگرگونی محصول تبلور مجدد، پلی کریستالین بوده بهطوری که کریستالها بهصورت یک دسته موزاییکهایی با ابعاد یکسان و با کنارههای مسطح تا نیمه مضرس و گاهی مضرس مشاهده می شوند. خاموشی آنها مستقیم و گاهی انکلوزیونهایی از میکا و واکوئول در آنها مشاهده می شود. به دلیل استحکام پایین، احتمال خردشدن آنها بالاست، بهطوری که در خیلی قسمتها شکستگی و گاهی خردشدگی مشاهده می گردد. این نوع کوارتزها تحت فشار زیاد، ذوب و مجدداً تبلور یافتهاند و احتمالاً از سنگهای شـدیداً دگرگون شده مانند شیست منشأ گرفتهاند. کوارتزهای دگر گونی شیستوز نیز پلی کریستالین بوده و کریستالها به صورت 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 منشاً 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 B-۵ و C). خاموشی از نوع موجی ضعیف یا قوی و شامل انکلوزیونهایی از میکاست. این کوارتزها احتمالاً در اثر خرد شدن سنگهای کوار تزدار 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. 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 رسوبي تشکيل شدهاند (Mousavi Harami, 1995). رخسارههای گراولی موجود در کنگلومرای عارفی شامل رخسارەهای 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 می شود (Miall, 2000). رخسارههای ماسدای موجود در این واحد شامل رخسارههای سنگی Sl, St, Sp, Sr, Sm, Sh و Sl است (Hashemi, 2004). رخساره گلی به مقدار بسیار ناچیز در منطقه عارفی دیده می شود. این رخساره دارای ساختمان رسوبی لایهبندی افقی نازک تا بسیار نازک و گاهی لامیناسیون مسطح است. رخساره سنگی Fl تنها رخساره ایـن نوع است که بسیار اندک دیده می شود (Hashemi, 2004). به طور کلی بیش از ۹۷ درصد تمام نمونه های 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 ميكروكلين، ارتوكلاز، پلاژيوكلاز، مسكويت، بيوتيت، هورنبلند، کلریت، تورمالین، کانی اوپاک، زیرکن و اسفن همراه با سیمان اکسید آهن و به ندرت کربناته در نمونهها دیده می شود. **کــوارتز**: در نمونــههـای کنگلـومرا، مقـدار کوارتزهـای

پلی کریستالین از مونو کریستالین بیشتر است و در مجموع بین ۵۵ تـا ۹۰ درصـد قطعـات را در بخشـهای مختلـف تشـکیل میدهند. گردشدگی آنها عمدتاً بالا تا متوسط بـوده و انـدازه آنها از ۰/۱ میلیمتر تا ۵ سانتیمتر متغیر است (شـکلهای ۵-A، A، C، D، C اع و F). دانههای کوارتز برحسب منشأ، اغلـب از نـوع کوارتزهـای دگرگـونی، کوارتزهـای پلوتـونیکی و مقـدار Solk, کمتری کوارتزهای رسوبی است. براساس طبقهبنـدی (



شکل ۴. A: واحد شیل و ماسهسنگ همراه با بیرونزدگیهایی از کنگلومرای کوارتزدار بهصورت بینلایهای (دیـد بـه غـرب)، B: مورفولـوژی خشـن کنگلومرای عارفی همراه با طبقهبندی متوسط تا ضخیم لایه (دید به شمال شرقی)، C: گردشدگی دانهها در کنگلـومرا غنـی از کـوارتز، D: کـوارتز 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

خردهسنگها: در نمونههای کنگلومرای عارفی عمدتاً خردهسنگهای رسوبی از نوع چرت و خردهسنگهای دگرگونی از نوع کوارتزیت و مسکویت شیست و بهندرت بیوتیت شیست دیده می شود (شکلهای ۵-۸، B، C و D). خردهسنگهای چرت عمدتاً از گردشدگی بالایی برخوردار هستند. مقدار خردهسنگها از ۱ تا ۴۰ درصد نمونه و با اندازههای ۲/۰ تا ۹ میلیمتر در بخشهای مختلف متغیر است. خردهسنگهای دگرگونی نیز بسیار فراوانتر هستند.

سایر اجـزا: از دیگـر کانیهـای موجـود در کنگلـومرای عـارفی مى توان به فلدسات، ميكا، أمفيبول، كلريت، تورمالين، کانیهای اوپاک و غیره اشاره نمود که مقدار آنها در مجموع بسیار ناچیز است (کمتر از یک درصد با اندازه ۰/۱ تا حداکثر ۲ میلیمتر). فلدسپاتها بهدلیل مقاومت فیزیکی و شیمیایی کمتر نسبت به کوارتز به مقدار کمتری مشاهده میشوند. عمده فلدسیات در این واحد رسوبی میکروکلین (شکل E-۵) و كمتر ارتوكلاز و پلاژيوكلاز تشخيص داده شد كه ميتواند از گرانیتها منشأ گرفته باشد. از کانیهای خانواده میکا دو کانی مسکویت (شکل ۵ -C) و بیوتیت کم آهـن (بـا رنـگ قهـوهای خیلی روشن در نور (ppl) دیده می شود. به دلیل مقاومت بالای میکاها، گردشدگی در آنها کمتر دیده میشود ولی بهدلیل قابلیت انعطاف پذیری، گاهی به صورت میکای خمیده بین دانههای دیگر مشاهده می گردد. میکاها هـم بـهصـورت قطعـه جداگانه و هم داخل خردهسنگهای دگرگونی شیستی وجود دارند. کلریت بسیار ناچیز در برخی نمونهها دیده شد که مى تواند حاصل تجزيه كانيهاى فرومنيزين باشد. هورنبلند (شـکل ۵- F)، تورمالین، زیرکن، اسفن و کانیهای ایاک (مگنتیت و ایلمنیت) (حداکثر تا ۰/۵ درصد) نیز به مقدار ناچیز و البته متغیر در نمونهها حضور دارد.

سیمان: سیمانی شدن یکی از فرآیندهای دیاژنز است که در کنار فرآیند فشردگی، سبب تبدیل رسوبات به سنگ می شود. نوع سیمان معمولا توسط عواملی چون ترکیب ذرات تشکیل دهنده سنگ، ترکیب آبهای درون حفرهای و شرایط فیزیکوشیمیایی محیط دیاژنز کنترل می گردد (, Tucker 2001). مقدار سیمان کنگلومرای مطالعه شده بین ۱ تا ۶ درصد کل نمونه در بخشهای مختلف متغیر است. مهمترین سیمان کنگلومرای عارفی از نوع سیلیسی است. سیمان سیلیسی معمولاً به صورت رورشدی در اطراف دانه های کوارتز

و بهصورت پرکننده حفرات و درز و شکستگیها دیده می شود. از جمله عمدهترین منابع سیمان سیلیسی به ترتیب اهمیت در این واحد می توان به سیلیس آزاد شده از انحلال فشاری در کنتاکت بین دانهها، سیلیس محلول در آبهای بین دانهای حاصل از سایش دانههای کوارتز در حین حمل و نقل و انحلال آن در آب، سیلیس محلول در آبهای متئوریک حاصل از دگرسانی کانیهای سیلیکاته در زون هوازدگی، سیلیس آزادشده از دگرسانی فلدسپات و سیلیس آزاد شده از جانشینی کربناتها به جای سیلیکاتها اشاره نمود (, 2004).

سيمان اكسيد أهـن بعضـاً در فضـاى بـين دانـههـا، در درز و شکستگیها و در حاشیه دانههای کوارتز بین کمتر از ۰/۱ تا حداکثر ۳ درصد دیده می شود. خوشبختانه در درون دانه های کوارتز اکسید آهن وجود نـدارد. آهـن آزاد شـده از هـوازدگی سنگهای رسوبی و آذرین در سرمنشا، به صورت محلول در آبهای بین ذرهای در یک محیط اکسیدان، سبب تشکیل این سیمان می گردد. مقداری اکسید آهن نیز در طی مراحل دیاژنز نهایی رسوبات در اثر دگرسانی کانیهای فرومنیزین تشکیل می شوند (Tucker, 2001). سیمان کربناته سومین سیمان از لحاظ فراوانی در کنگلومرای عارفی است. سیمان کربناته می تواند در اعماق کم در اثر تبخیر آب بین ذرهای، در اعماق بالا در اثر بالا رفتن درجه حرارت و pH محيط و بـهصورت جانشینی کلسیت به جای سیلیس و در زمان بالا آمدگی از آبهای جوی غنی از کربنات کلسیم منشأ گرفته باشد (Tucker, 2001). در منطقه عارفی به دلیل نبود خرده سنگ كربناته، رسدار و شيلي، منشأ خارج از حوضه داشته و حاصل از رسوب گذاری از محلولهای اشباع شده از یونهای کلسیم و بیکربنات ناشی از فشردگی و انحلال سنگهای آهکی، رسی و شيلی مجاور میباشد (Hashemi, 2004).

ژئوشيمى

نتایج تجزیه کل نمونه های ژئوشیمیایی در شکلهای ۶ تا ۹ ارائه شده و خلاصه آن به شرح زیر است: اکسید سیلیسیم: مقدار SiO₂ از ۹۳/۷ تا ۹۹/۵ درصد متغیر است. بیشتر نمونه ها بین ۹۸/۱۶ تا ۹۹/۵ درصد اکسید سیلیسیم دارند و بالاترین مقادیر در نمونه هایی در شمال، جنوب شرقی و غرب محدوده دیده می شود. کمترین مقادیر در شمال شرقی منطقه مشاهده می گردد (شکل ۶).



شکل ۵. A: کوارتز مونوکریستالین، پلیکریستالین و خردهسنگ چرت گرد شده (نمونه 12-S)، 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 پلیکریستالین و خردهسنگ دگرگونی مسکویت شیست (نمونه S-29)، E: قطعه میکروکلین (نمونه I-S)، F: قطعات هورنبلند بین کوارتزهای مونوکریستالین (نمونه S-13). (Qm= کوارتز مونوکریستالین، Qp= کوارتز پلیکریستالین، Ms= مسکویت، Me میکروکلین، الها

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)

بالاترین مقادیر در شمال شرقی و جنوب منطقه و تقریباً منطبق بر نمونههای با کمترین اکسید سیلیسیم و بیشترین اکسید آهن مشاهده می گردد (شکل ۸). اکسید کلسیم: مقدار CaO از صفر تا ۰/۶ درصد متغیر است. غالب نمونهها کمتر از ۲/۲ درصد اکسید کلسیم دارند. فقط در ۷ نمونه مقدار این اکسید به بیش از ۵/۵ درصد افزایش یافته است (شکل ۹). اکسید آهن: مقدار TFeO از ۲/۰۴ تا ۲/۲۲ درصد متغیر است. بیشتر نمونهها بین ۲۰/۴۴ تا ۲۴۵۵ 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 می گردد (شکل ۷). اکسید تیتان: مقدار 2iO از ۲۰/۰ تا ۱/۶۶ درصد متغیر است. بیشتر نمونهها بین ۰/۲ تا ۱/۶۶ درصد اکسید تیتان دارند.

در مرحله دوم به منظ ور بررسی عمقی کنگل ومرا، تعداد ۱۰ چاله اکتشافی به عمق ۱۵ متر حفاری شد و هر ۵ متر حفاری (پودری) یک نمونه برداشت شده و به روش XRF برای اکسیدهای مذکور تجزیه شد. دامنه تغییرات میزان SiO₂ در مقابل TFeO و TiO2 برای اعماق صفر تا ۵ متری، ۵ تا ۱۰ مقابل ۲۰۵۵ و ۲iO2 برای اعماق صفر تا ۵ متری، ۵ تا ۱۰ متری و ۱۰ تا ۱۵ متری در نمودارهای ۱۰-A تا ۱۰-نمایش داده شدهاند. میزان SiO₂ در اعماق مختلف عمدتاً در محدوده ۹۸ تا ۹۹ درصد است. میزان TFeO کمتر از ۲/۰ نمونههای برداشت شده از ترانشهها و نمونههای عمقی حاصل نمونههای برداشت شده از ترانشهها و نمونههای عمقی حاصل از حفاری به لحاظ عیار سیلیس، اکسید آهن و اکسید تیتانیم مشاهده نمی شود.

مطالعه سیال درگیر به منظور تعیین منشأ کوارتزهای موجود در کنگلومرای عارفی، مطالعـات سـیالات درگیـر بـر روی ۴ نمونـه از کوارتزهـای

مونوکریستالین – پلی کریستالین 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 پلی کریستالین 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 می شود. سیالات درگیر اولیه عمدتاً بزرگتر و به صورت مجزا بودند. براساس تقسیم،ندیهای متداول (Sheppherd et al., 1985) نوع دوفازی غنی از مایع (LV) بوده و به دلیل ریز بودن امکان دماسنجی آنها وجود نداشت. سیالات درگیر ثانویه همگی از بی شکل تا بیضوی بوده و اندازه آنها از ۸ میکرون تجاوز نمی کرد؛ به طوری که بخش زیادی از آنها در حد ۴ یا ۵ میکرون بودند. نوع آنها سه فازی و شامل بلور نمک طعام میکرون بودند. نوع آنها سه فازی و شامل بلور نمک طعام (LVS)



شکل ۶. مقدار SiO₂ بر روی نقشه زمینشناسی محدوده عارفی

Fig. 6. Content of SiO₂ overlain on geologic map of the Arefi area



شکل ۷. مقدار TFeO بر روی نقشه زمین شناسی محدوده عارفی Fig. 7. Content of TFeO overlain on geologic map of the Arefi area







شکل ۹. مقدار CaO بر روی نقشه زمینشناسی محدوده عارفی

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

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)
S 3	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	-	-	-

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 (Th) 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 اندازه گیریهای 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 اندازه گیری نشد.

نمک طعام (T_m) بین ۴۲۵ تا ۵۸۸ درجه سانتی گراد با میانگین دمای ۵۱۱ درجه سانتی گراد است (جدول ۱ و شکل B-۱۱). براساس سیستم Steele-MacInnis) H₂O-NaCl). براساس

مقدار Tm اندازه گیری شده، مقدار شوری بین ۴۹/۶ تا ۷۲/۱ درصد NaCl با میانگین ۶۱/۲ درصد متغیر است (جدول ۱ و شکل C-۱۱).



شکل ۱۰. A: تغییرات SiO₂ به TFeO از عمق صفر تا ۵ متری چالههای اکتشافی، B: تغییرات SiO₂ به SiO₂ از عمق صفر تا ۵ متـری چالـههـای اکتشافی، C تغییرات SiO₂ به TFeO از عمق ۵ تا ۱۰ متری چالههای اکتشافی، D. تغییرات SiO₂ به SiO₂ از عمق ۵ تا ۱۰ متری چالههای اکتشافی، E: تغییرات SiO₂ به SiO از عمق ۱۰ تا ۱۵ متری چالههای اکتشافی، F: تغییرات SiO₂ به SiO از عمق ۱۰ تا ۱۵متری چالههای اكتشافى

1

98

97

96 95

0

0.1

0.2

0.3

TiO₂%

0.4

0.5

Fig. 10. A: SiO₂ vs. TFeO from 0 to 5m of exploration hole, B: SiO₂ vs. TiO₂ from 0 to 5m of exploration hole, C: SiO₂ vs. TFeO from 5 to 10m of exploration hole, D: SiO₂ vs. TiO₂ from 5 to 10m of exploration hole, E: SiO₂ vs. TFeO from 10 to 15m of exploration hole, F: SiO₂ vs. TiO₂ from 10 to 15m of exploration hole

SiO₂%

SiO,%

SiO₂%

98

97 96

95

0

0.2

0.4

TFeO%

0.6

0.8

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 سانتی گراد با میانگین دمای ۳۱۸ درجه سانتی گراد است (جدول ۱ و شکل ۱۱-D). با توجه به این که بلور نمک طعام در آنها دیده نشده است، مقدار شوری نیز کمتر از ۲۴ درصد وزنی میباشد، اما شوری دقیق سیالات بهدلیل ریز بودن اندازه گیری نشد. دمای همگن شدن این سیالات نسبتاً متوسط اندازه گیری نشد. دمای همگن شدن این سیالات نسبتاً متوسط بوده و ماهیتی شبیه به آبهای دگرگونی (۱۷۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی گراد) (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).

فر آوری سیلیس عارفی

همانطور که در مقدمه اشاره شد، یک عامل اصلی و مهم در کاربرد سیلیس، مقدار SiO₂ است و مهمترین اکسیدهای مزاحم، Al₂O₃ ،TFeO و TiO2 هستند. نمونههای سیلیس عارفی دارای مقدار SiO₂ عمدتا بیش از ۹۸ درصد، مقدار TFeO کمتر از ۰/۴۲ درصد و TiO₂ کمتر از ۰/۱۶ درصد است که به لحاظ کارآیی بسیار مطلوب بهنظر میرسد. اما بهمنظور كاهش بیشتر مقدار TFeO و TiO2 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 فراکسیون های 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، ۵۱/۰ و ۳۹/۰به دست آمد. با حذف ابعاد کمتر از ۱۰۶ میکرون، میانگین عیار

متوسط TFeO، به مقدار ۱۲/۱۲ 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 ، ۳۳/۰ و ۰/۲۸ بهدست آمد. با حذف ابعاد کمتر از ۱ میلیمتر میانگین عیار متوسط TFeO، به مقدار ۲/۰۷ 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. یس از آن آزمایش کلاسیفایر هوایی انجام شد که نتایجی برای حذف آهن در نمونهها نداشت. پس از آن جهت کاهش مقدار آهن محتوى نمونه اوليه سيليس، أزمايش مغناطيسي خشك با شدت میدان بالا (۱۴۰۰۰ گوس) انجام گرفت. در بهترین شرایط عیار TFeO به ۲/۰۳ درصد و TiO₂ به ۰/۰۲ درصد رسید که میتواند برای صنایع شیشه کاربرد داشته باشد و در صورت استفادہ از روش فرآوری تر قطعاً کیفیت خروجی سيليس فرآوري شده بالاتر خواهد بود.

نتيجەگىرى

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 می شود.

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 از نوع سری ایلمنیت (احیایی) در نتیجه ذوببخشی پوسته از نوع سری ایلمنیت (احیایی) در نتیجه دوببخشی پوسته از نوع سری ایلمنیت (احیایی) در نتیجه دوببخشی پوسته از نوع سری ایلمنیت (احیایی) در نتیجه دوببخشی پوسته از نوع سری ایلمنیت (احیایی) در نتیجه دوببخشی پوسته از نوع سری ایلمنیت (احیایی) در تیجه دوببخشی پوسته توده گرانودیوریتی کوهستگی در ۲۱۷ میلیون سال پیش، توده دیوریتی دهنو در ۲۱۵ میلیون سال پیش و لوکوگرانیتهای خواجه مراد در ۲۰۵ میلیون سال پیش

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 تقريبی کنگلومرای عارفی ژوراسیک میانی تعیین شدہ 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 چین خوردگی 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 قاعدہ کر تاسه شده است.



شکل ۱۱. A: هیستوگرام دمای همگن شدن سیالات در گیر سه فازی LVS در کوارتزهای مونوکریستالین و یلی کریستالین، 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



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 قـرار 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)

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 می کند؛ بهطوری که کوارتزهای مونوکریستالین و پلی کریستالین که بخش اعظم کنگلومرا را تشکیل می دهند، از سیالی با دما و شوری بسیار بالا (میانگین دمای ۵۵۹ درجه سانتی گراد و شوری ۶۱ درصد) تشکیل شدهاند که ماهیت ماگمایی دارد. کوارتزهای دگرگونی نیز سیالات درگیری دارند که میانگین دمای تشکیل آنها ۳۱۸ درجه سانتی گراد 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

زمانی که یک حوضه اقیانوسی بسته میشود؛ بهعلت برخورد دو صفحه قارهای و افـزایش ضـخامت لیتوسفر یـک کمربنـد کوهزایی تشکیل می گردد که باعث دگرشکلی یـا دگرگـونی در قسمتهای زیرین پوسته و گسل خـوردگی در ترازهـای بـالای کمربند کوهزایی میشود. در مجاورت این کمربند کوهزایـی در حاشیه پوسته قارهای یک حوضه فورلنـد تشکیل می گـردد داده است. فعالیت گسلهای رانـدگی جدیـد، بـالا آمـدگی و فرسایش سنگهای قدیمی را به همراه داشته و مقادیر فراوانی از رسـوبات آواری را بـه حوضه فورلنـد مجاور ایـن کمربنـد وهزایی حمل و باعث تشکیل طبقات کنگلومرایی عارفی شده است (Hashemi, 2004). لـذا مهمتـرین منشـا کوارتزهـای موجود در کنگلومرا، رگههای کوارتز در بخش فوقانی تودههای

۰/۰۲ درصد نیز کاهش یافته است. لذا ذخیره سیلیس عارفی از نوع درجه یک محسوب شده و برای صنایع شیشهسازی و

قدردانی

اعتبار پژوهشی این پروژه از محل پژوهه در دانشگاه فردوسے، مشهد در ارتباط با طرح یژوهشی شماره ۲۹۰۵۷/۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۰/۳ تأمین شده است. نویسندگان از شرکت مهندسی دانش فراوران برای انجام آزمایشهای فرآوری سیاس گزاری مي کنند.

ظروف شیشهای مرغوب پیشنهاد میشود.

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.

SiO₂) و درجه سه (بین ۷۰ تا ۸۵ درصد SiO₂) تقسیم کرد. سیلیس درجه یک عمدتاً در صنایع شیشهسازی، لعاب، صنایع شیمیایی، فروسیلیس، یشم شیشه، سیلیکات سدیم، فروکروم و ماسه تست سیمان؛ سیلیس درجه دو در صنایع ریخته گری، 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 SiO₂ عمدتاً بیش از ۹۸ درصد، مقدار TFeO کمتر از ۰/۴۲ درصد و TiO₂ کمتر از ۱/۱۶ درصد هستند که با انجام آزمایشهای مغناطیسی خشک مقدار TFeO به ۲/۰۳ درصد و TiO₂ به

- 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,

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.