فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۷، شماره ۶۶، تابستان ۱۴۰۲، صفحات ۸۱-۹۱

مس‌های رسوبی به‌عنوان گوهرسنگ: مطالعه موردی از کانی‌زایی مس در رسوبات آبرفتی دشت جنوبی رفسنجان

حامد زندمقدم[۱و*]، حمید طاهری‌نیا[۲] و حمید احمدی‌پور[۳]

۱. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

چکیده

نهشـــته‌های پلیوسن-کواترنری دشت جنوبی رفسنجان (غرب اســـتان کرمان)، دارای انواع کانی‌های مس از نوع رســـوبی است و از ارزش سنگ‌های کلکسیونی و گوهرسنگ برخوردار هستند. مهم‌ترین کانی‌های مس شناسایی شده شامل مالاکیت، آزوریت، آتاکامیت و پاراتاکامیت هستند. کانی‌زایی مس در این توالی به سه صورت سیمان (در کنگلومراها)، نودول (در ماسه‌ســـنگ‌ها و گلســـنگ‌های توفی) و لامیناسیون‌های موازی تا مورب متناوب با کلسیت (تراورتن‌ها) مشاهده می‌شوند. دو گروه اول صرفاً جنبه تزئینی و کلکسیونی دارند اما گروه سوم از قابلیت تراش مناسبی برای جواهرسازی برخوردار است؛ بنابراین به‌عنوان گوهرسنگ معرفی می‌شود. شستشوی مس از کانسارهای پورفیری مس ناحیه بالادست (ارتفاعات مربوط به کمربند دهج-ساردوئیه) و به دنبال آن غنی شدن و رسوب‌گذاری مس در نهشته‌های جوان پایین‌دست، محتمل‌ترین مدل تشکیل کانی‌های مس‌دار در نهشته‌های مورد مطالعه محسوب می‌شود و به‌عنوان کانسارهای مس نوع اگزوتیک معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌زایی مس، گوهرسنگ، نهشته‌های پلیوسن-کواترنری، دشت جنوبی رفسنجان.

مقدمه

پهنه رفســـنجان به دلیل دارا بودن ویژگی‌های گوناگون ســـاختاری و زمین‌شناســـی، گوهرســـنگ‌ها و کانی‌های کلکســـیونی متعددی در اطراف آن مشاهده می‌شود (برای مثال: طاهری نیـــا، ۱۳۹۹). ازآنجایی‌که اشـــتغال‌زایی در بخش گوهرسنگ‌ها بســـیار کم‌هزینه و دارای ارزش افزوده بسیار بالا اســـت، بنابراین شناسایی پتانسیل گوهرسنگ‌ها می‌تواند راهگشایی بسیار مهم و سودآور در زندگی اقتصادی مردم محلی باشـــد. دشت جنوبی رفســـنجان (شکل ۱)، یکی از مناطق اســـت که پتانسیل مناســـبی برای پیدایش گوهرسنگ‌ها برخوردار می‌باشد. این پهنه علاوه بر رسوبات مختلف آبراهه‌ای با پتانســـیل گوهرســـنگی (انـــواع آگات، کلسدونی، ژاسپر و قطعات مرمر، آراگونیت و قطعات فسیلی قابل تراش)، که به‌صورت پراکنده در ســـطح دشت مشاهده می‌شود، گاهی لایه‌های ســـنگی وجود دارد که می‌تواند از این لحاظ دارای اهمیت باشـــند. دشت جنوب رفسنجان،

* نویسنده مرتبط: zand1883@uk.ac.ir

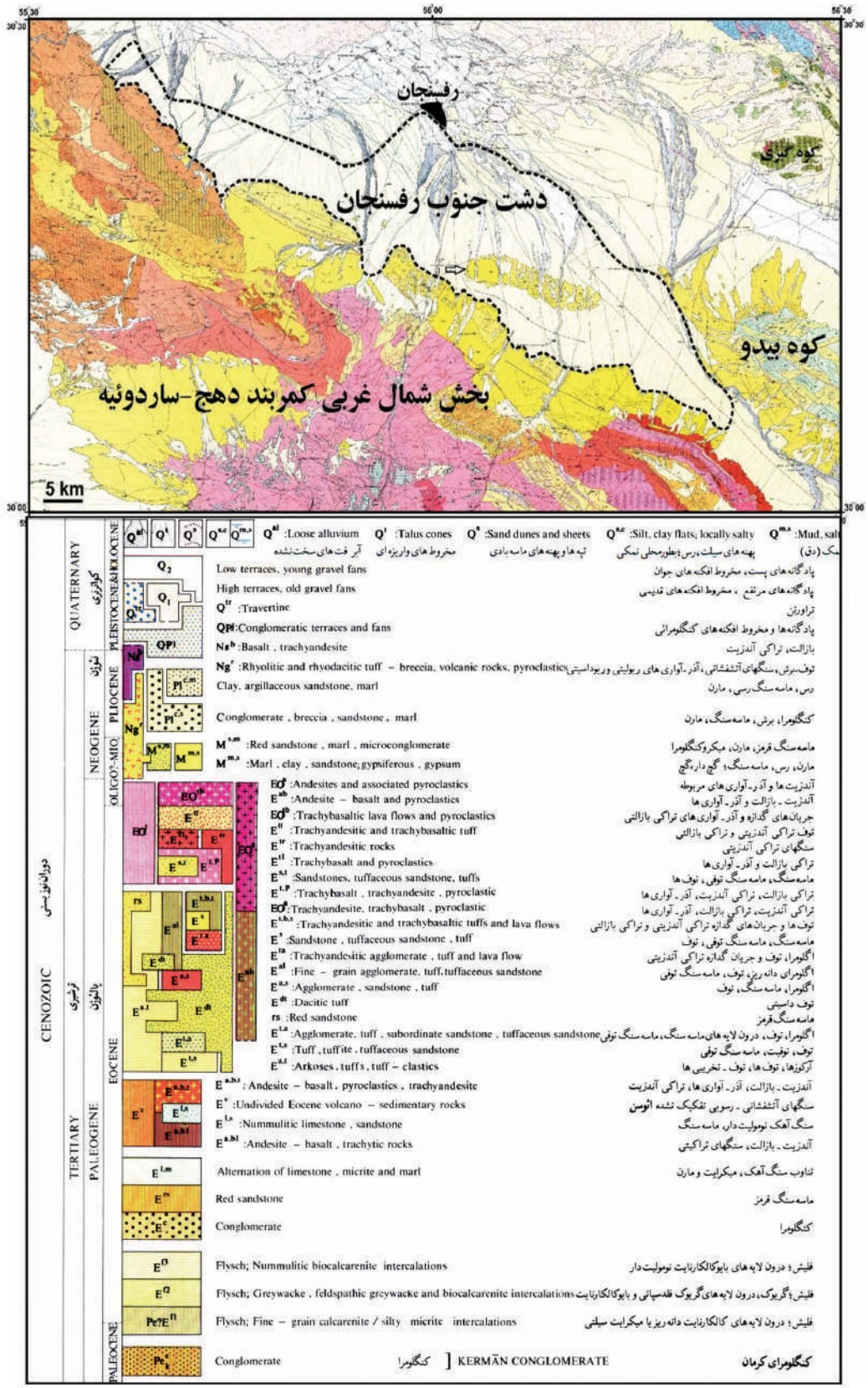
منطقه فروافتاده در جنوب رفسنجان است، از جنوب به بخش شمال غربی نوار دهج-ساردویه (بخش جنوب شرقی کمربند ارومیه دختر) که به‌طور عمده متشکل از توالی‌های ولکانیکی-رسوبی است، می‌رسد و اغلب رسوبات آبرفتی منطقه از آنجا سرچشمه می‌گیرند. مهم‌ترین توان معدنی و اقتصادی ناحیه، درون واحدهای آتشفشانی ائوسن از نوار دهج-ساردوئیه است و شامل اندیس‌هایی از مس پورفیری، مربوط به توده‌های مونزونیتی-دیوریتی است (Dimitrijevic et al., 1971). ازاین‌رو ناحیه بالادست غنی از کانی‌های مس‌دار می‌باشد (برای مثال، Atapour and Aftabi, 2007; Aftabi and Atapour, 2010; Safari et al., 2015; Mohamadi Nasab et al., 2022)، هوازدگی شیمیایی آنها می‌تواند سبب‌ساز آزادسازی سیالات غنی از مس شود. در بخش‌های پایین‌دست (دشت رفسنجان) مجموعه سنگ‌های مربوط به نئوژن و کواترنر وجود دارد. این مجموعه به‌طور عمده شامل توالی‌های ضخیمی از کنگلومرا و برش با جورشدگی متوسط تا خوب است و از خرده‌های ماسه‌سنگی، آهکی و گاهی ولکانیکی تشکیل شده است. این نهشته‌ها اغلب در بخش مشرف به دشت رفسنجان (بخش بیرونی نوار دهج-ساردوئیه) مشاهده می‌شوند، به‌صورت دگرشیب بر روی فلیش‌ها و سنگ‌های ولکانیکی (یا توف‌ها) مربوط به ائوسن قرار گرفته‌اند. در بخش شرقی دشت جنوبی رفسنجان (شرق روستای سعیدآباد)، این نهشته‌ها میزبان نهشته‌های مس‌داری است که در لایه‌های فوقانی این مجموعه قرار دارند. این لایه‌ها که اغلب حالت تراورتنی داشته و همراه با کنگلومرای عهد حاضر مشاهده می‌شوند از قابلیت گوهرسنگ برخوردار هستند. هدف از این تحقیق شناسایی و معرفی نمونه‌ای از سنگ‌های مس‌دار است که از قابلیت تراش مناسبی برخوردار است و به‌عنوان گوهرسنگ معرفی می‌شود.

روش مطالعه

در مطالعات صحرایی تعداد زیادی نمونه‌های دستی که از زیبایی و قابلیت تراش مناسب برخوردار بودند، برداشت شد و جهت مطالعات کانی‌شناسی، بررسی ویژگی‌های فیزیکی گوهرسنگ و جواهرسازی به آزمایشگاه منتقل شد. مطالعات آزمایشگاهی شامل تهیه ۳۰ مقطع نازک و مطالعه توسط میکروسکوپ پلاریزان در گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان است. همچنین تعداد ۵۰ گوهرسنگ در کارگاه شخصی تراش، پرداخت و جواهرسازی شده است. برای بررسی خصوصیات فیزیکی گوهرسنگ‌های شناسایی شده، تعداد چهار نمونه در آزمایشگاه شرکت گوهرگستران الماس آسیای شیراز مورد مطالعه قرار گرفت و ویژگی‌های فیزیکی از جمله سختی، وزن مخصوص و ضریب شکست مشخص شد. همچنین تعداد پنج نمونه برای کانی‌شناسی و انجام آنالیز XRD به شرکت زرآزمای ماهان (کرمان) ارسال شد.

چینه‌شناسی و رخساره‌های سنگی

بر اساس نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی رفسنجان ۱ (Dimitrijevic et al., 1971) و ۱/۲۵۰۰۰۰ رفسنجان (زهره‌بخش و وحدتی دانشمند، ۱۳۶۶)، نهشته‌های مورد مطالعه در مجموعه رسوبات‌آواری مربوط به نئوژن (پلیوسن) قرار گرفته‌اند اما مطالعات دقیق‌تر در ارتباط با سنگی شدن رسوبات نشان می‌دهد، تنها بخشی از نهشته‌ها می‌توانند مربوط به نئوژن باشند. ویژگی‌های سنگ‌شناسی سبب تفکیک دو بخش در توالی رسوبی مورد مطالعه شده است (شکل ۲). بخش ابتدائی شامل ۸/۵ متر گلسنگ، ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ پبل‌دار و گاهی کنگلومرا است و تحت فرایند سنگی‌شدن قرار گرفته‌اند. دگرسانی شدید دانه‌ها و زمینه‌سنگ سبب رنگ سفید سنگ شده است و شناسایی کانی‌ها در زیر میکروسکوپ را نیز با مشکل همراه کرده است به‌طوری‌که در برخی موارد دارای شباهت زیادی با نهشته‌های توفی هستند. به عبارتی این احتمال وجود دارد، زمینه یا ماتریکس سنگ از نهشته‌های توفی تشکیل شده باشد. از مهم‌ترین رخساره‌های سنگی شناسایی شده در این بخش می‌توان به رخساره‌های گلسنگ توده‌ای (Fm)، گلسنگ با لامیناسیون‌های موازی و مورب (Fl)، ماسه‌سنگ با لایه‌بندی موازی (Sh)، ماسه‌سنگ با لایه‌بندی مورب مسطح (Sp)، ماسه‌سنگ توده‌ای (Sm) و به‌ندرت رخساره‌های کنگلومرای توده‌ای ماتریکس پشتیبان (Gmm)



شکل ۱. نقشه ۱/۲۵۰۰۰ زمین‌شناسی رفسنجان (زهره‌بخش و وحدتی دانشمند، ۱۳۶۶) و موقعیت جغرافیایی دشت جنوبی رفسنجان، ناحیه مورد مطالعه، با علامت پیکان مشخص شده است

اشاره کرد (شکل ۲). با توجه به میزان سنگی‌شدن، بخش زیرین توالی مورد مطالعه می‌تواند مربوط به نئوژن باشد. لازم به ذکر است، ضخامت واقعی این بخش مشخص نمی‌باشد و این مقدار نیز طی عملیات حفاری در معرض دید قرار گرفته است. بخش بالایی توالی مورد مطالعه اغلب از کنگلومرا با میان لایه‌های ماسه‌سنگی تشکیل شده که از سنگی شدن خوبی برخوردار نیستند و حالت نیمه‌سنگی یا نیمه تحکیم یافته[1] دارند. این بخش، به نهشته‌های عهد حاضر سطحی دشت رفسنجان خاتمه می‌یابد، به احتمال زیاد مربوط به کواترنر است و در این برش ضخامت کاملی از آن در معرض دید قرار گرفته است. ضخامت این بخش ۲۱ متر اندازه‌گیری شده است و به‌صورت جانبی افزایش یا کاهش می‌یابد. در بخش‌های ابتدائی این بخش رخساره‌های ماسه‌سنگی غالب است و کنگلومراها به‌صورت بین لایه‌ای و گوه‌ای شکل مشاهده می‌شوند اما به سمت بالای توالی بر مقدار کنگلومرا افزوده شده و لایه‌های ماسه‌سنگی به‌صورت بین لایه‌ای و گوه‌ای شکل حضور دارند. مهم‌ترین رخساره‌های سنگی شناسایی شده در این بخش می‌توان به رخساره کنگلومرای توده‌ای ماتریکس‌پشتیبان (Gmm)، رخساره کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان با طبقه‌بندی موازی تا مورب کم‌زاویه (Gh)، ماسه‌سنگ با لایه‌بندی موازی (Sh)، ماسه‌سنگ با لایه‌بندی مورب مسطح (Sp) و ماسه‌سنگ توده‌ای (Sm) اشاره کرد (شکل ۲). از لحاظ شکل هندسی و گسترش جانبی، لایه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرایی اغلب به‌صورت گوه‌ای شکل به یکدیگر تبدیل می‌شوند بنابراین ضخامت لایه‌ها به‌صورت جانبی افزایش و یا کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که پتروگرافی غالب پبل‌ها (دانه‌ها) متشکل از انواع سنگ‌های آذرین (آندزیت، داسیت، بازالت) است که سنگ‌شناسی غالب ارتفاعات بالادستی دشت رفسنجان را به خود اختصاص داده‌اند. در بالاترین بخش توالی مورد مطالعه و قبل از رسوبات دشت، لایه‌ای به ضخامت ۰/۵ تا یک متر نهشته‌های رسوبی شیمیایی از نوع تراورتن (رخساره T) مشاهده می‌شود که در برخی نقاط از رخنمون مناسبی برخوردار است. این لایه بر روی ماسه‌ها و کنگلومرای بخش بالایی و به‌صورت لامیناسیون‌های نازکی از کلسیت و کانی‌های مس‌دار مشاهده می‌شود و لایه هدف پیدایش گوهرسنگ در این تحقیق محسوب می‌شود.[1]

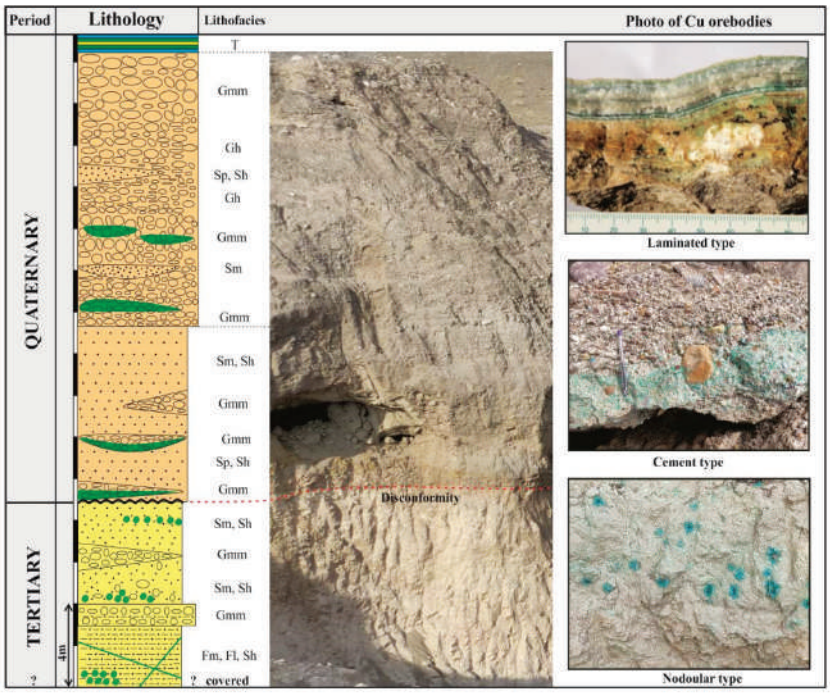
انواع کانی‌زایی مس با تاکید بر پتانسیل گوهرسنگی

در بخش شرقی دشت جنوبی رفسنجان و در توالی مورد مطالعه، تهنشینی کانی‌های مس‌دار (شامل مالاکیت، آزوریت، آتاکامیت و پاراتاکامیت)، به‌صورت لایه و لامیناسیون، سیمان و نودولی مشاهده می‌شود. به‌طور جزئی، انواع کانی‌سازی شناسایی شده از پایین به بالای توالی به‌صورت زیر است:

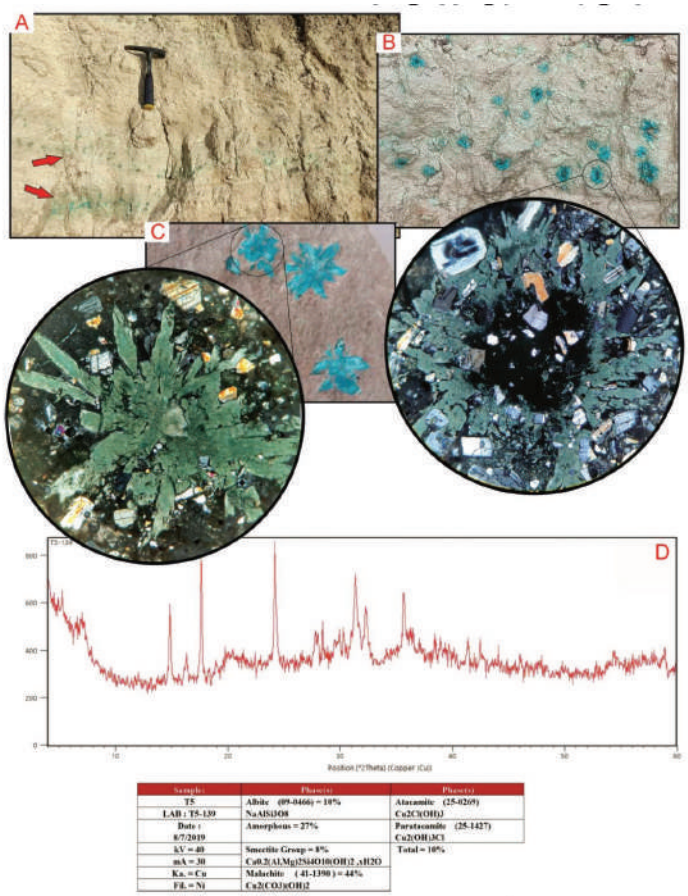
الف) کانی‌زایی به‌صورت نودولی و پر کننده درون شکستگی‌ها: این نوع کانی‌زایی مربوط به بخش زیرین توالی متشکل از گلسنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های سفید رنگ به سن نئوژن می‌باشد. نودول‌های مس‌دار به‌صورت شعاعی یا متحدالمرکز در اندازه‌های ۱۰ تا ۲۵ میلی‌متر در زمینه‌ای از ماسه‌سنگ‌های دانه ریز یا گلسنگ‌ها مشاهده می‌شوند. مطالعات پتروگرافی (میکروسکوپی و پراش اشعه ایکس) نشان می‌دهد، زمینه اغلب دگرسان شده و شامل مجموعه‌ای از کانی‌های گروه اسمکتیت است. کانی‌شناسی غالب نودول‌ها از سه بخش تشکیل شده است به گونه‌ای که کانی آتاکامیت و پاراتاکامیت در مرکز و به دنبال آن کانی‌های مالاکیت و کلینوپتیلولیت در قسمت‌های خارجی‌تر (تیغه‌های شعاعی) مشاهده می‌شوند (شکل ۳). علاوه بر اشکال نودولی، در این بخش شکستگی‌هایی مشاهده می‌شود و با انواع کانی‌های مس‌دار پر شده‌اند. این شکستگی‌ها دارای ضخامت میلی‌متری و از طول چند متری (حداکثر سه متر) برخوردار هستند. لازم به ذکر است، کانی‌های مس به‌صورت نودول و پرکننده شکستگی‌ها از قابلیت تراش مناسبی برخوردار نبوده و در دسته سنگ‌ها و کانی‌های تزئینی و کلکسیونی قرار می‌گیرند.

ب) کانی‌های مس به شکل سیمان: در نهشته‌های دانه درشت کنگلومرایی و گاهی ماسه‌سنگ‌های دانه درشت بخش بالایی (مربوط به کواترنر)، کربنات مس از نوع مالاکیت به‌صورت سیمان بین دانه‌ها را فراگرفته است

1. Semi consolidate

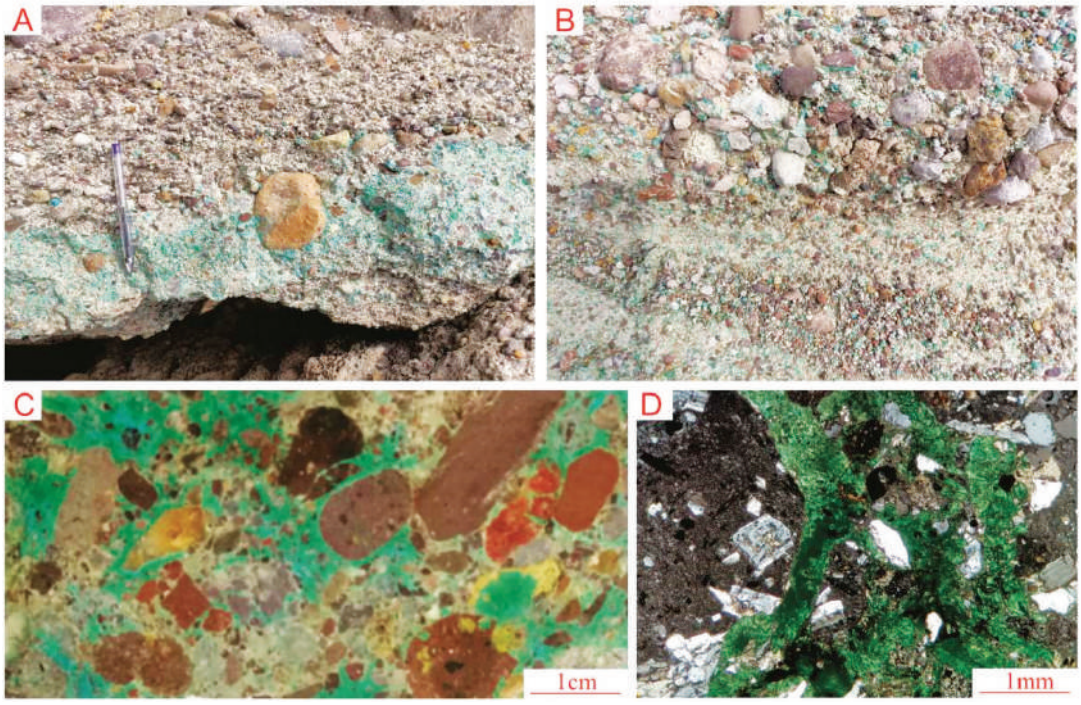


شکل ۲. ستون چینه‌شناسی، رخساره‌های سنگی و تصاویر صحرایی از برش مورد مطالعه و جایگاه انواع کانی‌زایی‌ها



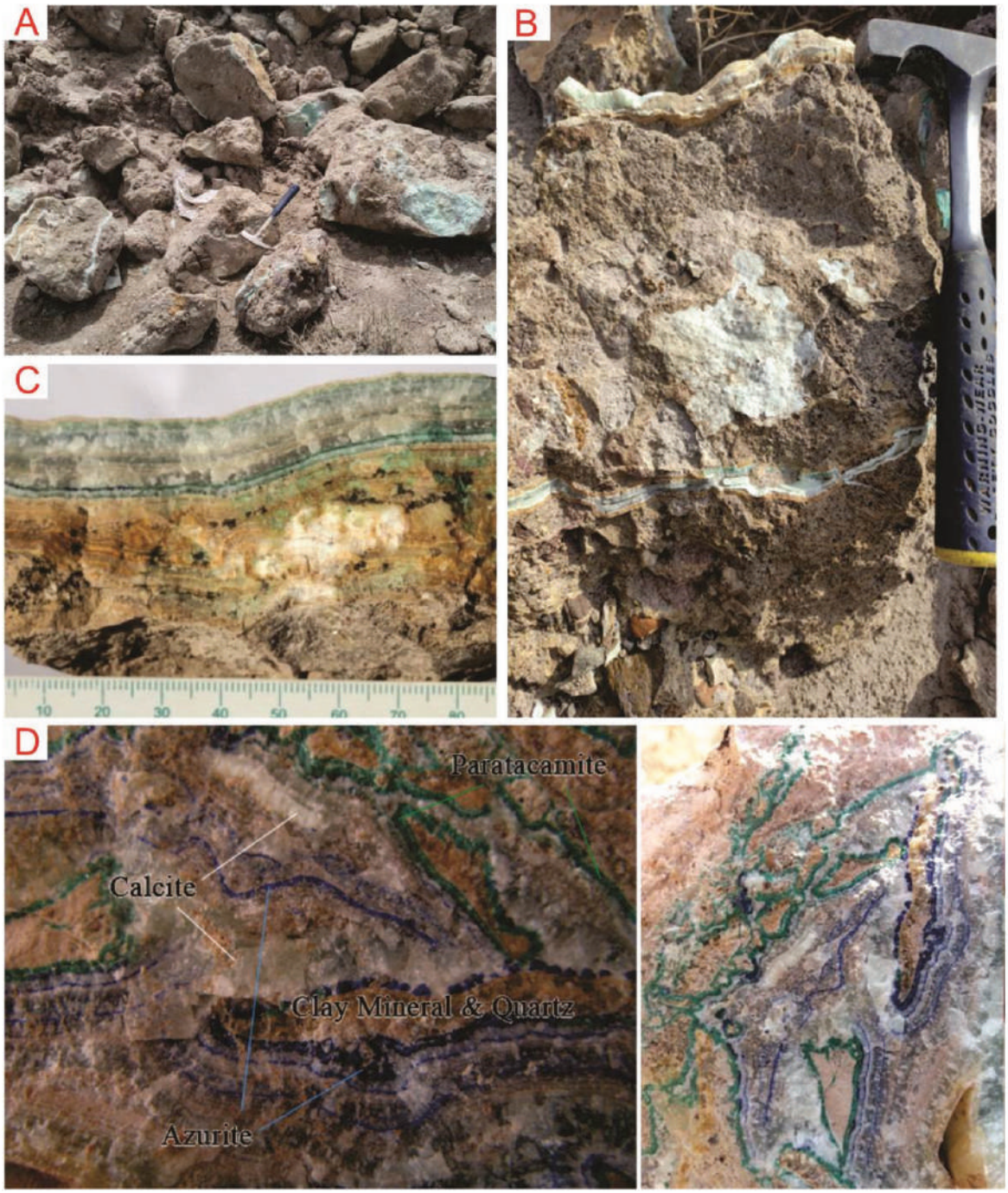
شکل ۳. کانی‌زایی مس از نوع نودولی، A) دورنمایی از نهشته‌های ماسه‌سنگی حاوی نودول‌های مس‌دار، نوک پیکان جایگاه نودول‌ها در توالی را نشان می‌دهد، B) نمونه دستی و میکروسکوپی از نودول‌های دارای هسته‌هایی از آتاکامیت-پاراتاکامیت که به اطراف به سمت مالاکیت پیش می‌روند، C) نمونه دستی و میکروسکوپی از نودول‌های شعاعی که اغلب از مالاکیت تشکیل شده‌اند، D) نمونه‌ای از آنالیز XRD از نودول‌ها

(شـــکل ۴). تمرکز سیمان‌شدگی در تمامی بخش‌های توالی مشـــاهده نمی‌شود و به‌صورت موضعی و اغلب در قاعده ســـیکل‌های به سمت بالا ریز شونده وجود دارد. با این وجود سیمان‌شـــدگی به‌صورت عدسی‌شـــکل در بین توالی رســـوبی بخش بالایی نیز مشاهده می‌شود و هیچ‌گونه ریزشوندگی یا درشت‌شوندگی نیز در رسوبات مشـــاهده نمی‌شـــود. با توجه به سنگی‌شدن ضعیف و سست بودن رسوبات بنابراین این گروه از قابلیت تراش مناســـبی برخوردار نیست، لذا دارای ارزش گوهرسنگی نمی‌باشد و تنها دارای ارزش کلکسیونی است.



شکل ۴. کانی‌زایی مس به‌صورت سیمان، A) کانی‌های مس‌دار به‌صورت سیمان در قاعده یک سیکل ریزشونده مشاهده می‌شود، B) کانی‌های مس‌دار به‌صورت سیمان در کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های درشت دانه، C) برش صیقلی از نمونه دستی کنگلومرایی و تفکیک دانه‌ها از سیمان، D) مقطع نازک میکروسکوپی از سیمان‌های مالاکیتی (و گاهی آتاکامیت) مابین دانه‌هایی از جنس سنگ‌های آذرین و فلدسپات (اغلب آلبیت) قرار گرفته‌اند

ج) لامینه‌های مس‌دار در تراورتن: در توالی مورد مطالعه، گروه سومی از کانی‌های مس‌دار مشاهده می‌شوند که در بخش‌های انتهایی توالی رسوبی و نزدیک به سطح دشت همراه با رســـوبات کربنات‌کلســـیم (تراورتن) می‌باشند به‌طوری‌کـــه کربنات‌هـــای مس (مالاکیـــت، آزوریت و پاراتاکامیت) به‌صورت لایه‌های بسیار نازک و یا لامیناسیون و به‌طور متناوب و مکرر با کربنات‌های کلسیم (کلسیت و آراگونیت) بر روی کنگلومراها و ماسه‌ســـنگ‌های دانه درشت رسوب‌گذاری کرده‌اند (شـــکل‌های ۵ و ۶). این گروه ســـنگی از قابلیت تراش مناسبی برخوردار است و نگین‌های زیبا و مناســـبی از آن قابل بهره‌برداری است (شکل ۷). از این‌رو می‌توان به‌عنوان گوهرسنگ معرفی شوند. قطعات این گوهرسنگ با توجه به وجود کانی‌های اصلـــی که رنگ این گوهرســـنگ را ایجـــاد کرده‌اند و با توجه به زمینه کربناته آن و همچنین فشردگی متوسط کانی‌های تشکیل‌دهنده و قرارگیری لایه‌های کانی مس‌دار در بخش‌های مختلف سنگ، دارای خصوصیات فیزیکی به شـــرح زیر است: سختی ســـه تا پنج، وزن مخصوص ۲/۷۶ و ضریب شکســـت ۱/۵۵ تا ۱/۵۶. با توجه به تنوع رنگی سبز و آبی که در این گوهرسنگ مشاهده می‌شود به‌عنوان گوهرسنگ "گوهرشاد" معرفی می‌شود. لازم به ذکر است، به دست آوردن تمامی سنگ‌های کلکسیونی و گوهرسنگ‌های این پهنه از طریق سنگ‌جوری می‌تواند انجام شود.

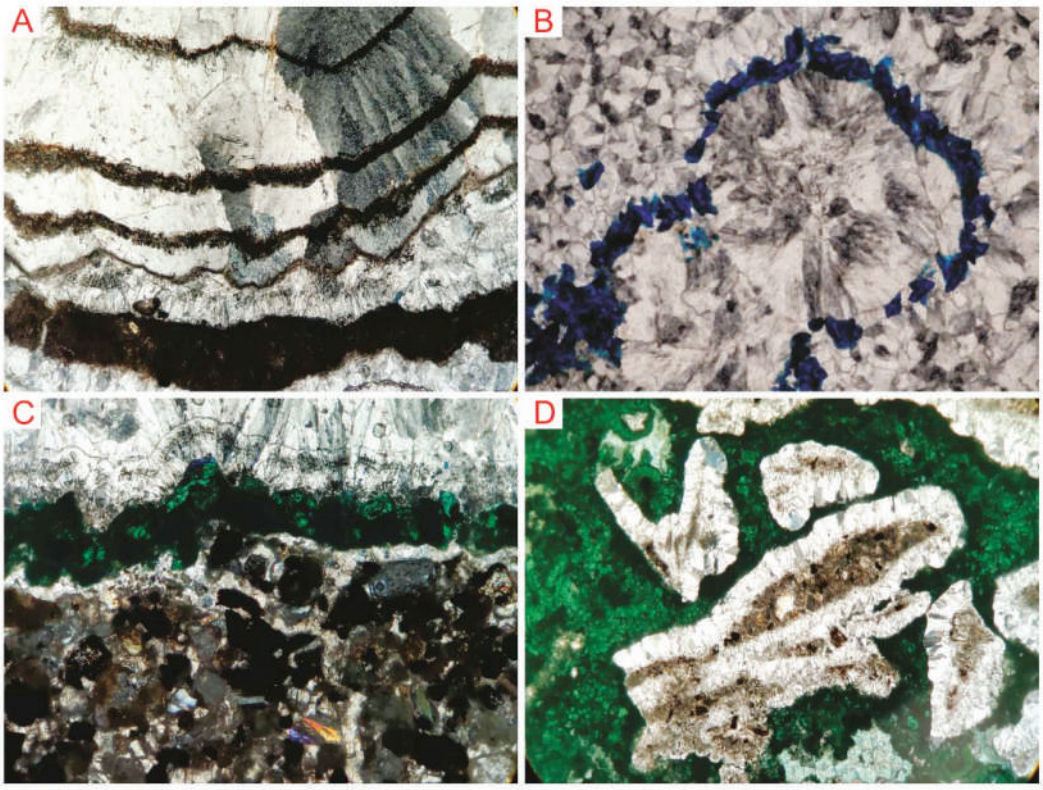


شکل ۵. نمونه‌های دستی از لامیناسیون‌های مس‌دار در تراورتن‌ها، A) تکه سنگ‌های پی‌جوری شده از لایه‌های حاوی گوهرسنگ، B) نمای کلی که در آن رسوب‌گذاری شیمیایی (لامیناسیون‌های تراورتنی) در بین رسوبات آواری را نشان می‌دهد،C) لامیناسیون‌های نازک کربنات‌های مس و کربنات کلسیم در تراورتن، D) شکل‌های مختلف لامیناسیون‌ها در تراورتن‌ها که بر زیبایی ظاهری گوهرسنگ افزوده است

مدل کانی‌زایی

مطالعات دقیقی در ارتباط با نحوه تشـــکیل کانی‌های مس رسوبی در گستره مورد مطالعه در دست انجام است با این وجود، به نظر می‌رســـد، کانی‌زایی مس در این ناحیه از نوع اگزوتیک[1] (شـــکل ۸) باشد (شفیعی بافتی و همکاران، ۱۴۰۰). همان‌طور که در مقدمه آمد، نهشته‌های مورد مطالعه در پایین‌دســـت ارتفاعات مربوط به کمربند دهج-ساردوئیه

1. Exotic Cu mineralization



Sample:	Phase(s)	Phase(s)
T4	Calcite (05-0586) = 93%	Clay Mineral < 1%
LAB : T4-139	CaCO3	
Date : 8/7/2019	Quartz (33-1161) = 1% SiO2	
kV = 40	Paratacamite (25-1427) = 2%	
mA = 30	Cu2(OH)3Cl	
Ka. = Cu	Azurite (11-0682) = 2%	
Fil. = Ni	Cu3(CO3)2(OH)2	

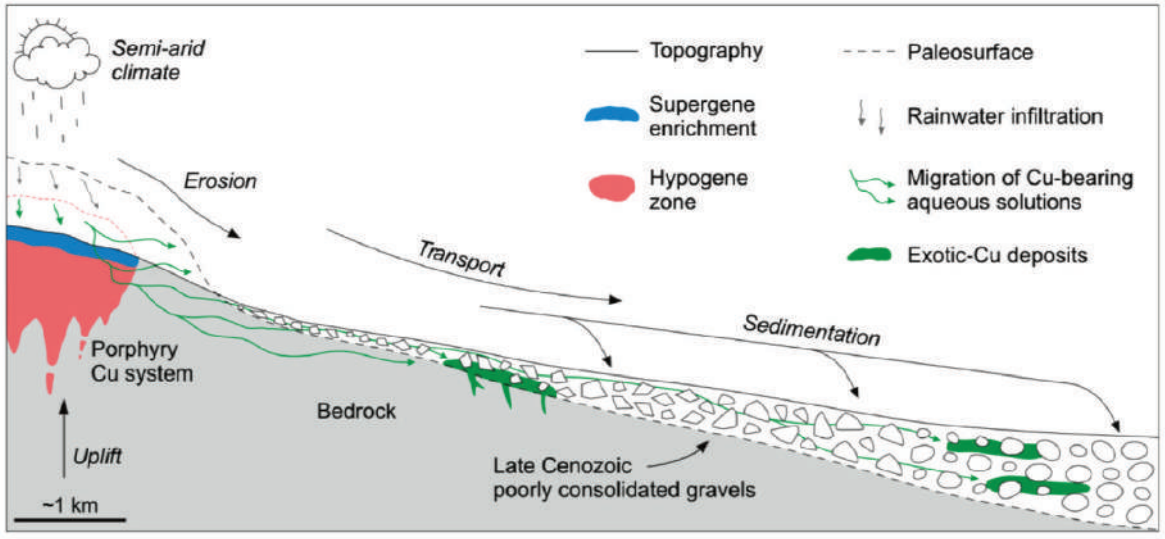
شکل ۶. مقاطع نازک از گوهرسنگ معرفی شده، A) تناوب لامیناسیون‌های کلسیت و هماتیت، B) تناوب لامیناسیون‌های کلسیت و آزوریت، C) تناوب لامیناسیون‌های آتاکامیت-مالاکیت با کلسیت و خرده‌های کربناته، D) مالاکیت و کلسیت با شکل‌های رشدی هم‌مرکز در تراورتن

می‌باشند. این کمربند غنی از کانسارهای مس از نوع پورفیری است و معادن مس زیادی در این مجموعه وجود دارد، از مهم‌ترین آنها می‌توان به معادن مس سرچشمه، دره‌زار، درآلو و میدوک اشاره کرد. از این‌رو منشاء اصلی سیالات مس‌دار می‌تواند از ارتفاعات مذکور و در مراحل مختلف هوازدگی صورت گرفته باشد. از مشخصه‌های اصلی کانسارهای مس نوع اگزوتیک حضور انواع کانی‌های مس‌دار به‌جز گروه سولفیدها است. در نهشته‌های مورد مطالعه نیز هیچ‌گونه سولفید مس مشاهده نشده است. کانسارهای نوع اگزوتیک جزو کانسارهای با ذخیره بزرگ و کوچک و با عیار متوسط ۰/۷ تا ۱/۵ درصد وزنی مس هستند، به ترتیب حاصل فرایندهای اکسیداسیون، آبشویی و غنی‌سازی سوپرژن

شکل ۷. بخشی از نمونه‌های تراش‌خورده و جواهرسازی شده از گوهرسنگ معرفی شده (گوهرشاد)

می‌باشند (Ferández-Mort et al., 2018; Riquelme et al., 2017; Campos et al., 2015; Sillitoe, 2005). این به گونه‌ای است که سولفیدهای مس (و برخی دیگر از کانی‌های مس‌دار)، در طی فرایندهای هوازدگی اکسید شده و سپس مس بر اثر آب‌های جوی و زیرزمینی از بین سنگ مادر شسته شده (فرایند آبشویی) و به‌جای حرکت عمودی، در جهت شیب توپوگرافی (راستای سیستم زهکشی حاصل از درزه و گسل‌ها) حرکتی به سمت پایین دست و به‌موازات حرکت آبراهه‌ها و کانال‌های رودخانه‌ای دارند. حمل و نقل مس توسط سیال‌ها می‌تواند تا فواصل بیش از هشت کیلومتری از سنگ مادر اتفاق افتد (Ferández-Mort et al., 2018; Chavez, 2000). سیالات غنی از مس، دارای شرایط اسیدی و اکسیدی هستند در زمانی که شرایط رسوب‌گذاری فراهم شود (شرایط قلیایی و درجه اکسایش کمتر) می‌توانند به‌صورت سیمان در بین دانه‌ها، پوشش سطحی دانه‌ها، پر کننده فضای خالی (نودول) یا لایه و لامیناسیون‌های مجزا همراه با سایر کانی‌های شیمیایی (همچون کربنات کلسیم)، در بخش وادوز رسوب‌گذاری کند (شکل ۸). ترکیبات مس در این نوع کانسارها اغلب اکسیدی است و انواع اکسیدها، کربناته‌ها، سولفات‌ها، کلریدها و سیلیکات‌های مس را شامل می‌شود (Sillitoe, 2005; Münchmeyer, 1996). بدیهی است، رسوبات واجد کانسارهای نوع اگزوتیک بایستی جوان‌تر از سنگ مادر می‌باشند و حتی رسوبات عهد حاضر را هم می‌تواند دربرگیرد. ازآنجایی‌که در ناحیه مورد مطالعه چشمه‌های آب گرم فعال (ده زئیر) و غیرفعال (کن ترش) وجود دارند بنابراین غنی‌سازی محلول‌های مس‌دار در آب این چشمه‌ها نیز می‌تواند سبب‌ساز تشکیل کربنات‌ها (آزوریت و مالاکیت)

و کلریدهـــای مس (آتاکامیت) در نهشـــته‌های شـــیمیایی (تراورتن) آن گســـتره شـــود. به‌طورکلـــی عوامل متعددی می‌توانند گســـترش کانسارهای مس نوع اگزوتیک را تعیین کنند، از مهم‌تریـــن آن‌ها می‌توان به فرایندهای تکتونیکی، آب و هوا، نرخ فرسایش، ترکیب سنگ مادر، محیط رسوبی، تغییرات ســـطح ایســـتابی، تغییرات Ph/Eh، فعالیت‌های باکتریایی اشـــاره کـــرد (Ferández-Mort et al., 2018؛ Riquelma et al., 2017؛ Nelson, 2007) کـــه در ایـــن زمینه مطالعات بیشتری را طلب می‌کند.



شکل ۸. شکل شماتیکی از مکانیزم تشکیل و جایگاه نهشته شدن ذخایر نامتعارف مس از نوع اگزوتیک نسبت به سنگ مادر یا سیستم مس پورفیری (اقتباس از Ferández-Mort et al., 2018)

نتیجه‌گیری

شستشوی مس از کانسارهای مس پورفیری و به دنبال آن غنی شدن و رســـوب‌گذاری مس در نهشته‌های جوان‌تر پایین‌دســـت سبب کانی‌زایی نامتعارف مس از نوع اگزوتیک می‌شـــود. این اتفاق در نهشـــته‌های پایین‌دست ارتفاعات مربوط به کمربند دهج-ساردوئیه، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کمربندهای مس پورفیری در ایران به‌شـــمار می‌رود، نیز رخ داده است. کانی‌های مس‌دار (مالاکیت، آزوریت، آتاکامیت و پاراتاکامیت) در رســـوبات آبرفتی پلیوسن-کواترنری دشت رفسنجان به شکل‌های مختلف مشاهده می‌شوند که دارای ارزش سنگ‌های کلکسیونی و گوهرسنگ می‌باشند. کانی‌زایی مس در این توالی به ســـه صورت ســـیمان (در کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌های درشـــت‌دانه)، نودول (در ماسه‌سنگ‌ها و گلســـنگ‌های دگرسان شده) و لامیناسیون‌های موازی تا مورب متناوب با کلسیت (تراورتن‌ها) مشاهده می‌شوند. دو گروه اول صرفاً جنبه تزئینی و کلکســـیونی داشته اما گروه سوم از قابلیت تراش مناســـبی برای جواهرسازی برخوردار است، بنابراین به‌عنوان گوهرسنگ معرفی می‌شود. با توجه به خصوصیات رنگی و ظاهری این گوهرسنگ که تنوعی از رنگ‌های سبز و آبی اســـت به‌عنوان گوهرسنگ "گوهرشاد" معرفی می‌شود که دارای سختی سه تا پنج، وزن مخصوص ۲/۷۶ و ضریب شکست ۱/۵۵ تا ۱/۵۶ می‌باشد. سنگ جوری در گستره به‌عنوان بهترین روش دستیابی به‌تمامی سنگ‌های کلکسیونی و گوهرسنگ‌های در ناحیه مورد مطالعه محسوب می‌شود.

منابع

- زهره بخش، ع. و وحدتی دانشـــمند، ف.، ۱۳۶۶. نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ رفسنجان. شماره ۱۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شـــفیعی بافتی، ب.، رحمان‌زاده، ف.، زندمقدم، ح.، طاهری‌نیا، ح.، طالبـــی، م. و زین الدینی، ا.، ۱۴۰۰.

گزارش اولین رخداد از کانی‌سازی مس نوع اگزاتیک در ایران. چهلمین گردهمایی ملی علوم زمین، تهران.

- طاهری‌نیا، ح.، ۱۳۹۹. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌شناسی سنگ‌های تزئینی و گوهرسنگ‌های منطقه رفسنجان (غرب استان کرمان) و معرفی آنها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۲۳.

- Aftabi, A. and Atapour, H., 2010. Alteration geochemistry of volcanic rocks around Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Rafsanjan, Kerman, Iran: implications for regional exploration. Resource Geology. 61 (1), 76-90.

- Atapour, H. and Aftabi, A., 2007. The geochemistry of gossans associated with Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Rafsanjan, Kerman, Iran: implications for exploration and the environment. Journal of Geochemical Exploration. 93, 47-65.

- Chavez, W.X., 2000. Supergene oxidation of copper deposits: zoning and distribution of copper oxide minerals. Society Economic Geologists. 41,10-21.

- Campos, E., Menzies, A.H., Hernandez, V., Sola, S., Barraza, M. and Riquelme, R., 2015. Understanding exotic-Cu mineralisation: Part I-characterization of chrysocolla. In 13th SGA Biennial meeting, Nancy, Proceedings 3,11-53.

- Dimitrijevic, M.D., Dimitrijevic, M. N. and Djordevic, M., 1971. Geological quadrangle map of rafsanjan,1/100000,Geological Survey of Iran Tehran ,sheetb 7150.

- Fernández-Mort, A., 2018. A genetic model based on evapoconcentration for sediment-hosted exotic-Cu mineralization in arid environments: the case of the El Tesoro Central copper deposit, Atacama Desert, Chile. Mineralium Deposita 53, 775-795.

- Nelson, M., Kyser, K., Clark, A. and Oates, C., 2007. Carbon isotope evidence for microbial involvement in exotic copper silicate mineralization, Huinquintipa and Mina Sur, northern Chile. Economic Geology 102(7): 1311-1320.

- Riquelme, R., Tapia, M., Campos, E., Mpodozis, C., Carretier, S., González, R., Muñoz, S., Fernández-Mort, A., Sanchez, C. and Marquardt, C., 2017. Supergene and exotic Cu mineralization occur during periods of landscape stability in the Centinela Mining District, Atacama Desert. Basin Research 30(3), 395-425.

- Mohamadi Nasab, S., Shafiei Bafti, B., Yarahmadi, M.R., Mahmoudi Maymand, M. and Kamalabadi Khorasani, J., 2022. Mineralogical Properties of the Copper Slags from the SarCheshmeh Smelter Plant, Iran, in View of Value Recovery. Minerals 12(9), 1153.

- Münchmeyer, C., 1996. Exotic deposits: products of lateral migration of supergene solutions from porphyry copper deposits. In Camus F, Sillitoe RH, Petersen R (eds) Andean Copper deposits: new Discoveries, mineralization styles and metallogeny. Society Economic Geologists. 5, 43-58.

- Safari, H.O., Bagas, L. and Shafiei Bafti, B., 2015. Structural controls on the localization of Cu deposits in the Kerman Cu metallogenic province of Iran using geoinformatic techniques. Ore Geology Reviews 67, 43-56.

- Sillitoe, R.H., 2005. Supergene oxidized and enriched porphyry copper and related deposits. Economic Geology 100th Anniversary 29, 723-768.