



کانی‌شناسی، ژئوشیمی و منشأ کانه‌زایی آهن و مس در توالی آتشفشانی-رسوبی هرمز، گنبد نمکی زندان، بندر لنگه

حبیب بیابانگرد^{۱*}، فاروق عالیان^۱ و مرضیه بازآمد^۲

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، بندرعباس، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۱، پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۷

چکیده

گنبد نمکی زندان در شمال شهرستان بندرلنگه و در پهنه زاگرس قرار دارد. این گنبد نمکی از واحدهای درهم سازند هرمز شیل، مارن و خاک سرخ به سن پر کامبرین تشکیل شده است و در سازندهای میشان (مارن خاکستری و آهک‌های رسی)، آجاجاری (ماسه‌سنگ آهکی و مارن‌های سرخ‌رنگ) و بختیاری (کنگلومرات و ماسه‌سنگ‌های آهکی چرتی) برون‌زد یافته است. در داخل سازند هرمز کانه‌زایی آهن و مس رخ داده است. فراوان‌ترین شکل کانه‌زایی آهن به صورت لایه‌های هماتیت-لیمونیت-اولیژیست (خاک سرخ) در واحد HI است. شکل دیگر کانه‌زایی آهن با عیار بالا، اما گسترش محدود، مخلوطی از هماتیت و مگنتیت در سنگ‌های دیابازی ناشی از فعالیت‌های ماگمایی در آخرین مرحله تشکیل واحدهای سازنده گنبد نمکی (H4) در منطقه است. کانسنگ آهن منطقه شامل کانه‌های هماتیت، اسپیکولاریت، مگنتیت، گوتیت و دیگر اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن است. کانه‌زایی مس (پیریت و کالکوپیریت) به صورت پراکنده در امتداد لایه‌بندی واحدهای توف و شیل واحد HI سازند هرمز صورت گرفته است که در اثر فرآیندهای سوپرژن به مالاکیت تبدیل شده است. رابطه معناداری بین میزان فراوانی عناصر با میزان آهن در کانسنگ‌های آهن وجود دارد؛ به طوری که با کاهش میزان K_2O ، TiO_2 ، Al_2O_3 و SiO_2 و افزایش میزان Ni و Cr_2O_3 مقدار آهن افزایش می‌یابد. حضور مقادیر کم عناصر نامتحرک در گنبد نمکی زندان و دگرسانی‌های پروپلیتیک، سرسیتی و سیلیسی و کربناتی شدن موجود در آن می‌تواند نشانی از احتمال منشأ سیالی شورابه‌ای برای کانسار آهن این گنبد باشد؛ هرچند برای اثبات این مهم احتیاج به بررسی‌های ایزوتوپی و سیالات درگیر است، این کانسار را می‌توان در ردیف کانسارهای نوع VMS طبقه‌بندی کرد.

واژه‌های کلیدی: گنبد نمکی زندان، سازند هرمز، کانه‌زایی آهن و مس، بندرلنگه

مقدمه

پی‌فازهای کششی رخدادهای کوه‌زایی کاتانگایی، حوضه‌های تبخیری تشکیل شده و رسوبات کولابی به‌همراه روانه‌های آذرین مربوط به فاز گرانیته‌زایی کاتانگایی در آن انباشته شده است؛

به اعتقاد آقناباتی (Aghanabati, 2007) در نیمه جنوب شرقی زاگرس به‌ویژه در حدفاصل میان گسل‌های کازرون و میناب در

در فاصله هفت کیلومتری شرق آن قرار دارد.

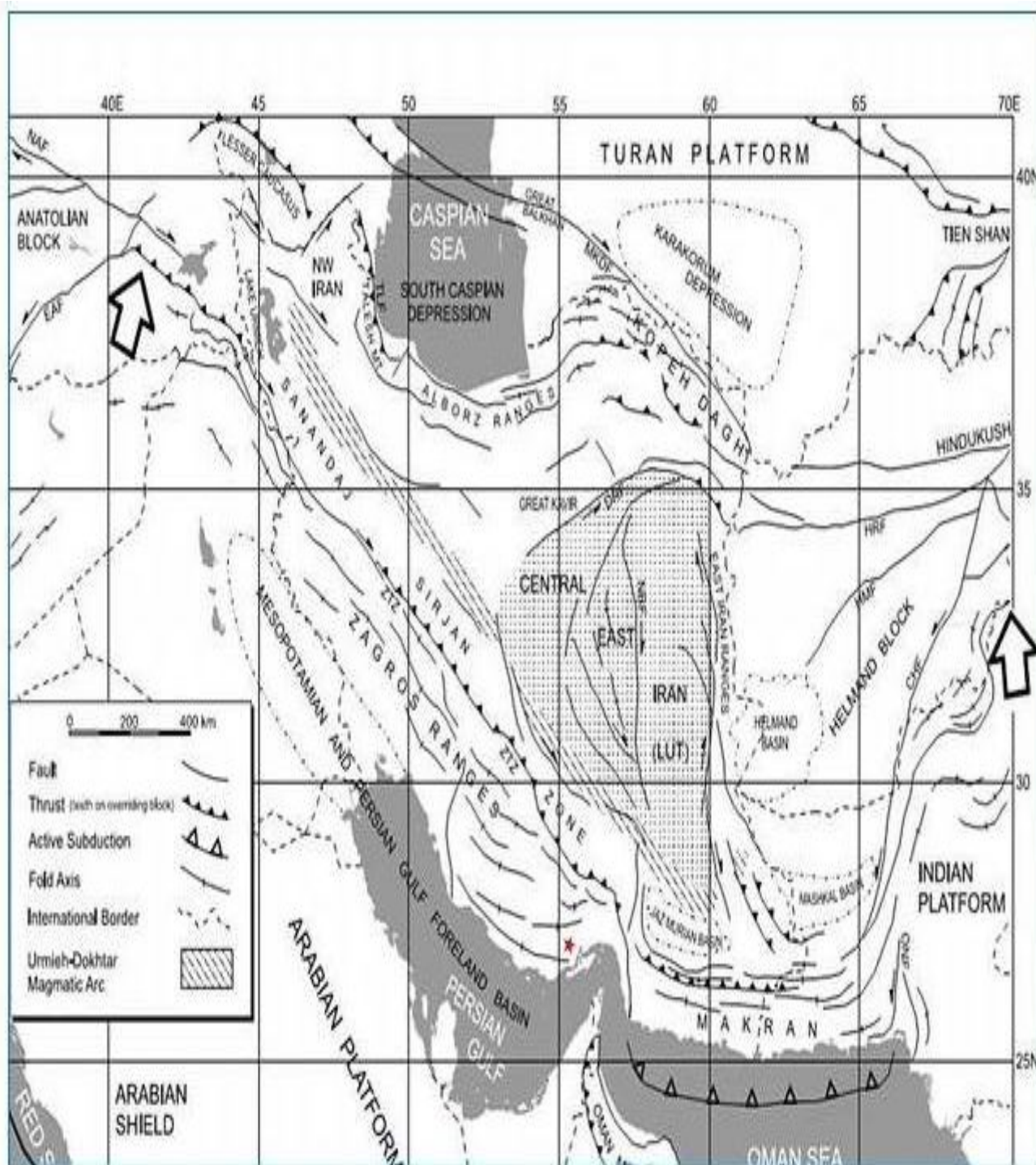
زمین‌شناسی

بر اساس تقسیمات زمین‌شناسی - ساختمانی ایران (Stocklin, 1968)، گنبد نمکی زندان در بخش جنوب شرقی پهنه زاگرس قرار دارد (شکل ۱). در نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲)، مهمترین واحدهای موجود شامل سازند هرمز به سن پرکامبرین، میشان، آغاچاری و بختیاری به سن سنوزوئیک هستند (Alian and Bazamad, 2014) که در زیر به اختصار شرح داده شده است. قدیمی ترین سازند منطقه سازند هرمز با سن پرکامبرین است که از چهار عضو H1، H2، H3 و H4 تشکیل شده است (Ahmadzadeh Heravi et al., 1991).

واحد H1 شامل تناوبی رنگارنگ از مارن‌های کرمی رنگ متمایل به سفید، شیل‌های ارغوانی، میان‌لایه‌های انیدریت، سنگ آهک خاکستری نازک لایه، ماسه‌سنگ دانه‌ریز قرمز رنگ با میان‌لایه‌هایی از توف سبز کم‌رنگ نازک لایه به همراه کانی‌سازی هماتیت، اولیژیست و کانی‌زایی پراکنده سولفیدی است (شکل ۳-۳A). در واحد H2 از سازند هرمز تناوبی از مارن‌های کرمی رنگ، شیل‌های ارغوانی، میان‌لایه‌های انیدریت، سنگ آهک خاکستری، ماسه‌سنگ دانه‌ریز قرمز رنگ با میان‌لایه‌هایی از توف سبز دیده می‌شود. در بخش‌هایی دیگر از این واحد، ماسه‌سنگ‌های سیلتی نازک لایه با آثار ریبیل مارک، ریزموج‌های فراوان قابل تفکیک است (شکل ۳-۳B). طبقات نازک لایه‌ای از سنگ آهک سیاه‌رنگ سرشار از آثار گوناگون فسیل‌های جلبک (واحد H3)، گاه در سازند هرمز به چشم می‌خورد (شکل ۳-۳C). در برخی برون‌زدهای سازند هرمز (واحد H4) شامل ماسه‌سنگ آهکی کرم - خاکستری دانه‌ریز نازک لایه، شیل خاکستری با میان‌لایه‌هایی از سنگ آهک ماسه‌ای زرد کم‌رنگ تا خاکستری وجود دارد که برون‌زد گسترده‌ای در نیمه شمالی و میانی گنبد نمکی دارد. برخی از سنگ‌های این واحد دارای رنگ قهوه‌ای (شکل ۳-۳D) هستند.

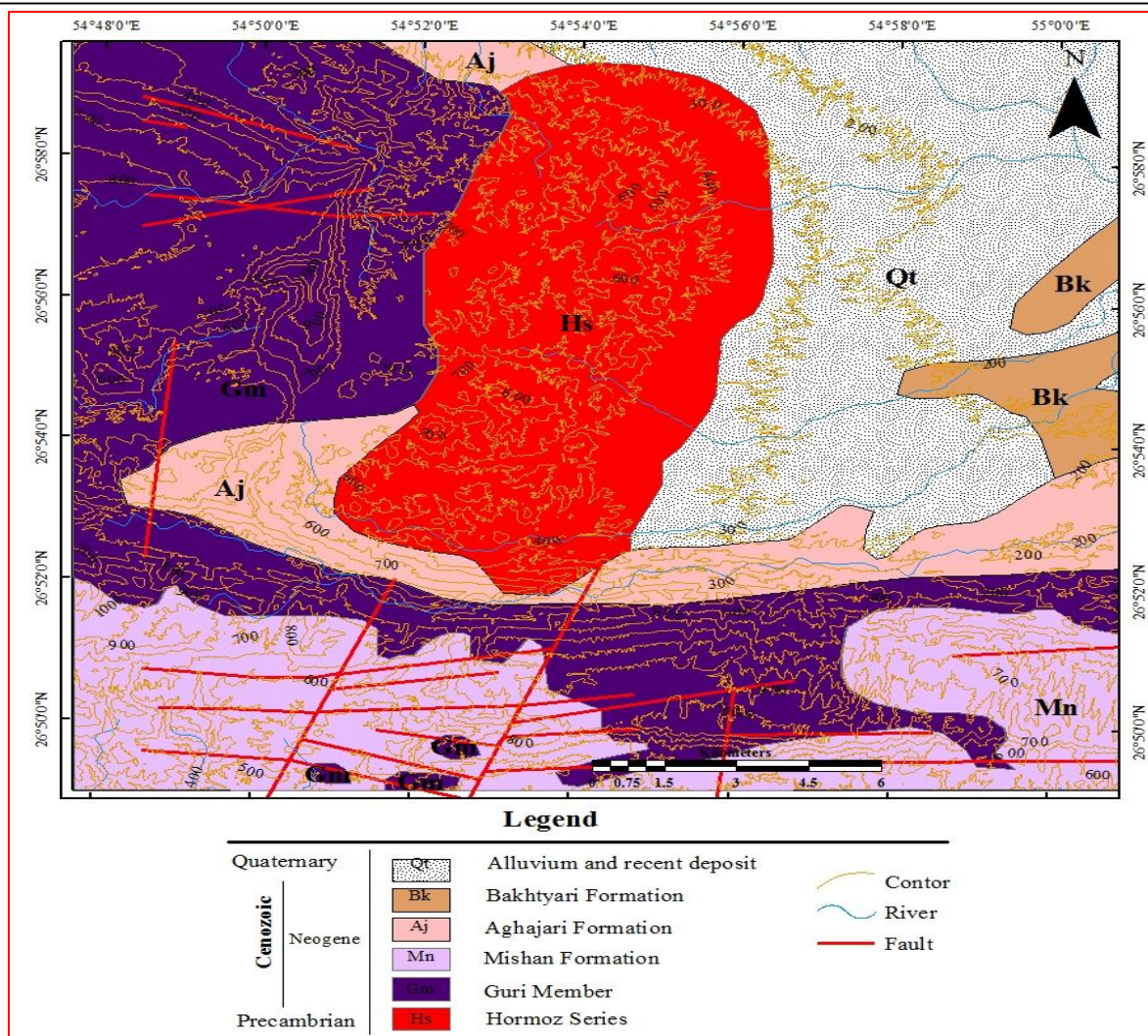
درحالی که سن‌سنجی انجام‌شده توسط رضانی و تاکر (Ramezani and Toker, 2003)، سن سنگ‌های آذرین موجود در تبخیری‌های هرمز را اوایل کامبرین نشان می‌دهند. به عقیده این محققان سن این توده‌های نفوذی با فاز گرانیته‌زایی کاتانگایی متفاوت است. به‌رحال این رسوبات و سنگ‌های ماگمایی همراه در حال حاضر به‌صورت گنبد‌های نمکی متعدد در این ناحیه برون‌زد دارند. هر گنبد نمکی شامل یک هسته مرکزی است که از نمک تشکیل شده است و بخشی که اطراف هسته مرکزی را احاطه می‌کند و از سنگ‌های رسوبی محلی تشکیل می‌شود. سنگ‌های رسوبی محلی اغلب از رسوبات نمکی هسته مرکزی جوان‌تر هستند. گنبد‌های نمکی میزبان ذخایر نمک خوراکی، گچ، پتاس و ذخایر آهن (اغلب هماتیتی و به‌صورت خاک سرخ) هستند. گنبد نمکی زندان یکی گنبد‌های نمکی جنوب ایران است که از لحاظ کانه‌زایی کمتر به آن پرداخته شده است. از بررسی‌های انجام‌شده در محدوده این گنبد می‌توان به پژوهش نادری و همکاران (Nadari et al., 2002) اشاره کرد. این پژوهشگران واحدهای سنگی بازیک موجود در این گنبد را با روش نقشه‌برداری زاویه طیفی بررسی کرده‌اند و بیشتر واحدها را با ترکیب دیابازی و بازالتی معرفی کرده‌اند. پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER و ETM در محدوده گنبد توسط اشرف‌پور و اسدزاده (Ashrafpour and Asadzade, 2002) انجام شده است. عطاپور و آفتابی (Attapour and Aftabi, 2011) با بررسی بر روی این گنبد آن را کانی‌سازی آهن از نوع راپتان معرفی کرده‌اند. این مقاله به بررسی پتروگرافی، ژئوشیمی و کانه‌زایی آهن و مس گنبد نمکی زندان می‌پردازد.

گنبد نمکی زندان در ۸۰ کیلومتری شمال شهرستان بندرلنگه و ۱۱۰ کیلومتری غرب شهرستان بندر خمیر در استان هرمزگان قرار دارد. بهترین راه دسترسی به آن، جاده آسفالت بندرعباس به بندر خمیر و بندرعباس به بندرلنگه است که به ترتیب بعد از گذشتن از روستاهای دژگان، لمزان، پدل و هرا به گنبد نمکی می‌رسد. روستای هرا نزدیک‌ترین مرکز جمعیتی به این گنبد و



شکل ۱. نقشه ساده‌شده ساختاری ایران و مناطق مجاور (Alavi, 1991). فلش‌های بزرگ نحوه عمل سیستم کوه‌زایی آلپ-همالیای CHF: گسل چمن، DRF: گسل درونه، EAF: گسل آناتولی شرقی، HRF: گسل هرات، HMF: گسل هلمند، MKDF: گسل اصلی کپه داغ، NAF: گسل آناتولی شمالی، NBF: گسل نایبند، ONF: گسل اماچ نال، ZTZ: تراست زاگرس. محل گنبد نمکی زندان با ستاره نشان داده شده است.

Fig. 1. Simplified structural map of Iran and adjacent regions (Alavi, 1991). Large arrows illustrate the syntaxes of the Alpine-Himalayan orogenic system. CHF Chaman Fault, DRF Doruneh Fault, EAF Eastern Anatolian Fault, HRF Herat Fault, HMF Helmand Fault, MKDF Main Kopeh-Dagh Fault, NAF North Anatolian Fault, NBF Nayband Fault, ONF Ornach Nal Fault, ZTZ Zagros Thrust. Zandan salt dome is shown with a red star.

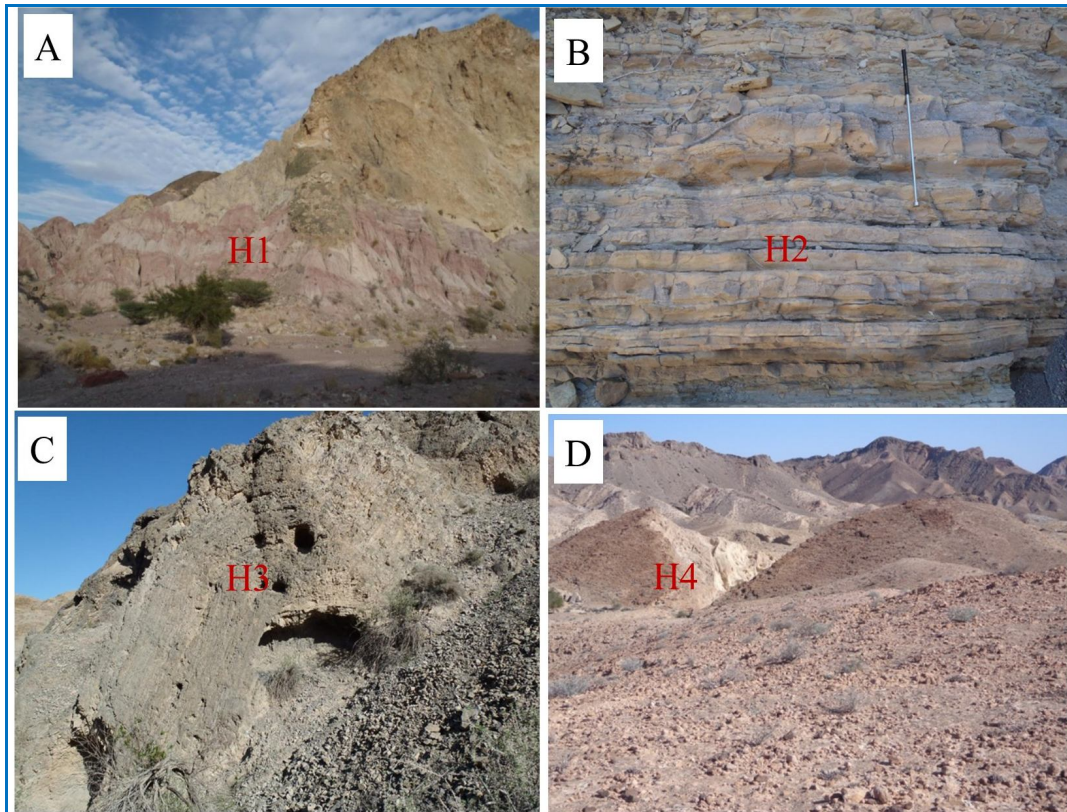


شکل ۲. بخشی از نقشه زمین‌شناسی محدوده گنبد نمکی زندان، بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بندر لنگه با تغییرات از پارکر (Parker, 1958)

Fig. 2. Part of geological Zandan salt dome map, based on 1: 100,000 Bandar Lengeh geological map (modified from Parker, 1958)

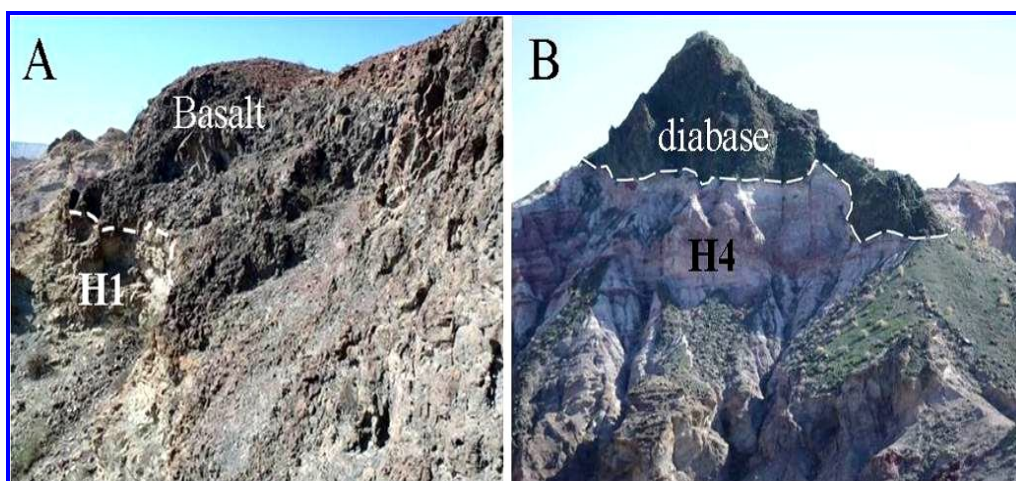
به نظر گسل‌های پیرامون دایک‌ها و توده‌های دیابازی حرکت رو به بالای نمک را تسهیل کرده‌اند (Ahmadzadeh Heravi et al., 2001). به اعتقاد سبزه‌ای (Sabzei, 1986) تشکیل این سنگ‌های آذرین، حاصل خروج ماگما به صورت گدازه‌های بازیک به داخل حوضه رسوبی سازند هرمز و یا تفریق در عمق است که توسط حرکت نمک بالا آمده و با گروه‌های رسوبی تبخیری درهم آمیخته است. سازندهای میشان، آغاچاری و بختیاری در پیرامون گنبد نمکی برون‌زد دارند (Alian and Bazamad, 2014) (شکل ۵-A و B).

سنگ‌های آذرین موجود در گنبد نمکی زندان شامل بازالت‌های حفره‌دار و دیاباز هستند که توزیع پراکنده و ناهماهنگی در آن دارند. در بخش شرقی گنبد نمکی ارتفاعات نسبتاً بلند بازالتی قرار دارد (شکل ۴-A). سنگ‌های دیابازی به صورت استوک و دایک در گنبد نمکی برون‌زد دارند (شکل ۴-B) و اغلب در آمیخته با رسوبات هستند؛ بنابراین با مجموعه‌های رسوبی-آذرین هم سن هستند. بیشتر دیابازها بافت ریزدانه دارند و در اثر عملکرد گسل‌ها و حرکت نمک در بیشتر قسمت‌ها بسیار خرد شده‌اند.



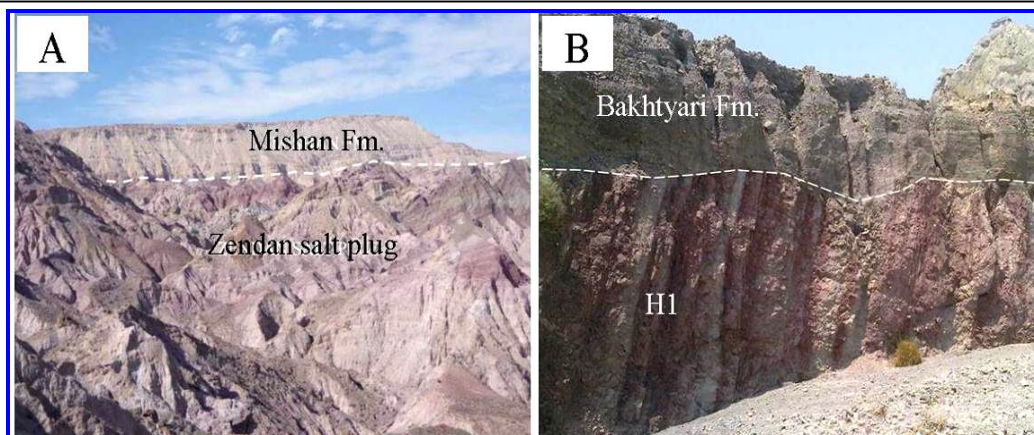
شکل ۳. A: تناوبی از لایه‌های مارن، شیل ارغوانی، انیدریت، و سنگ آهک خاکستری واحد H1، دید به سمت شمال شرق، B: لایه‌های ماسه‌سنگی واحد H2، C: رخنمون سنگ آهک سرشار از فسیل‌های جلبک، واحد H3 و D: ماسه‌سنگ‌های آهکی قهوه‌ای رنگ در واحد H4، دید به سوی شرق

Fig. 3. A: Alternation of marl, purple shale, anhydrite and gray limestone layers in H1 unite, view toward the northeast, B: Sandstone layers in H2 unite, C: Algae Limestone fossiliferous outcrop in H3 unite, and D: Brown calcareous sandstones in H4 unite, view toward the east



شکل ۴. A: برون‌زد بازالت در بخش مرتفع گنبد نمکی، روی واحد H1 (دید به سمت غرب) و B: موقعیت دیاباز بر بالای واحد H4 در گنبد نمکی زندان

Fig. 4. A: basalt outcrop on high part of salt dome on the H1 unit (view towards West), and B: Diabase location on the H4 unit, in Zendan salt dome



شکل ۵. A: سازند میشان در بخش شمال غرب گنبد نمکی (دید به سمت شرق) و B: موقعیت کنگلومرای بختیاری بر روی واحد H1

Fig. 5. A: Mishan formation in the northwest salt dome (view toward East), B: Bakhtiari conglomerate position on the H1 unit

شده‌اند (Alian and Bazamad, 2014). در این گنبد

سنگ‌های آذرین به شرح زیر تشخیص داده شدند:

هورنبلند میکرودیوریت: این سنگ‌ها دارای بافت میکروگرانولار تا متوسط‌دانه و دارای بلورهای الواری و کشیده پلاژیوکلاز (۷۵ درصد) با ماکل‌های ساده و تکراری و بلورهای کشیده و منشوری هورنبلند (۱۵ درصد) هستند. در برخی نقاط بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند هم‌رشدی دارند (شکل ۶- A) و به‌صورت محلی توسط اپیدوت و کلریت ثانویه جانشین شده‌اند. آلکالی‌فلدسپار با فراوانی کم (۵ درصد) و به‌صورت بی‌وجه، پراکنده در فضای بین بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند حضور دارند. کلریت، کلسیت و اپیدوت مهم‌ترین کانی‌های ثانویه و ناشی از دگرسانی کانی‌های اولیه هستند.

هورنبلند آندزیت: دارای بافت دانه‌ریز و از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز با فراوانی ۷۵ تا ۸۰ درصد حجمی و اغلب میکروولیتی تشکیل شده‌اند. بلورهای نسبتاً کشیده هورنبلند با فراوانی ۱۰ تا ۱۵ درصد در این سنگ‌ها حضور دارند. کانی‌های پلاژیوکلاز به‌صورت فراگیر و با شدت پایین توسط کانی پرهینت جانشین شده‌اند. بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند به‌صورت محلی توسط تجمعات کلریت و اپیدوت ثانویه جانشین شده است (شکل ۶- B).

روش مطالعه

بررسی‌های صحرایی از گنبد نمکی زندان در طی زمان‌های مختلف و به‌طور مداوم انجام و از واحدهای مختلف رسوبی و آذرین آن نمونه‌برداری شد. حدود ۲۰ مقطع نازک تهیه و بررسی‌های پتروگرافی بر روی آنها انجام شد. همچنین ۱۵ مقطع صیقلی تهیه و به کمک میکروسکوپ انعکاسی بررسی شد. تعداد ۹ نمونه در آزمایشگاه زراژما به روش شیمی‌تر برای تعیین میزان FeO و برای تعیین میزان اکسیدهای دیگر به روش XRF، مورد آنالیز قرار گرفتند. تعداد ۶ نمونه از رگه‌های پریکار برای مقایسه سایر عناصر با هم در آزمایشگاه کانساران بینالود به روش XRF تجزیه شدند. برای تعیین عیار مس، طلا و عناصر همراه، ۹ نمونه از بخش‌های مختلف کانه‌زایی مس انتخاب و به روش پلاسما جفت‌شده القایی^۱ در آزمایشگاه زراژما آنالیز شدند. طلا قبل از آنالیز به روش آذر محک آماده‌سازی شد و دو نمونه نیز از سنگ‌های آذرین منطقه مورد آنالیز ICP در آزمایشگاه زراژما قرار گرفتند.

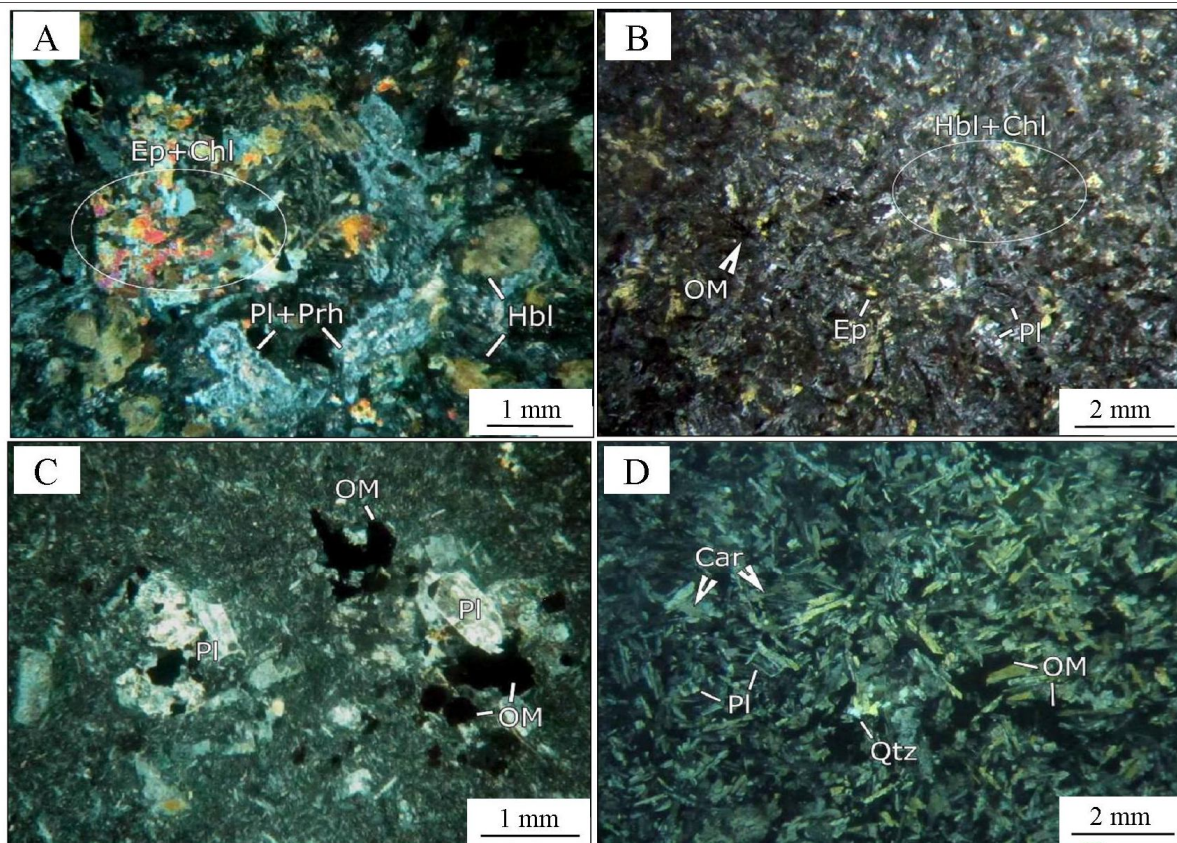
سنگ‌شناسی

تنوع سنگی در محدوده گنبد نمکی زیاد بوده و شامل سنگ‌های رسوبی و آذرینی است که تا حدودی دگرگون و دگرسان

کلسیک (۶۵ درصد) با ماکل تکراری مهم‌ترین کانی‌های این سنگ‌ها هستند. فضای بین بلورهای پلاژیوکلاز توسط شیشه آتشفشانی کلریتی و کانی‌های اوپک اولیه (اکسیدهای Fe-Ti) اشغال شده است. بلورهای پلاژیوکلاز با دگرسانی سرسیتی و کربناتی ضعیف و فراگیر جانشین شده‌اند (شکل ۶-D). کلریت، کلسیت کوارتز و سرسیت مهم‌ترین کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها هستند.

لاپیت: این سنگ‌ها اغلب پورفیری‌اند و دارای کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (۴۵ درصد) با ماکل تکراری و آلکالی فلدسپار (۴۵ درصد)، ساندین به صورت بلورهای درشت و میکروولیت‌های ریز هستند. این بلورها و میکروولیت‌های ریز در خمیره به صورت ضعیف ولی فراگیر سرسیتی شده‌اند (شکل ۶-C). خمیره توسط رگه‌چه‌های کوارتز و کربنات ثانویه قطع شده است.

دیاباز و میکروگابرو: این سنگ‌ها دارای بافت میکروگرانولار تا دولریتی اینترسرتال هستند. بلورهای الواری پلاژیوکلاز



شکل ۶. A: هم‌رشدی بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند. این کانی‌ها توسط اپیدوت و کلریت جانشین شده‌اند، B: وجود بلورهای ریزدانه پلاژیوکلاز و هورنبلند به صورت هم‌رشدی با یکدیگر. بلورهای پلاژیوکلاز به صورت ضعیف و انتخابی پرهنیتی و بلورهای کانی مافیک به صورت انتخابی به مگنتیتی و کلریتی تبدیل شده‌اند، C: دانه‌های ریز تا درشت کانه فلزی همراه با بلورهای فنوکریست پلاژیوکلاز و D: بلورهای میکروولیتی پلاژیوکلاز با دگرسانی سرسیتی ضعیف و دگرسانی کربناتی محلی. (Ep: اپیدوت، Chl: کلریت، Pl: پلاژیوکلاز، Prh: پرهنیت، Hbl: هورنبلند، OM: کانی‌های فلزی، Qtz: کوارتز و Car: کربنات)، علایم اختصاری از ویتنی و اونز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 6. A: Plagioclase and hornblende intergrowth. These minerals has been replaced by epidote and chlorite minerals, **B:** intergrowth of plagioclase and hornblende fine grain minerals. Plagioclase and mafic minerals replace selectively with prehnite mineral and magnetite and chlorite, respectively. **C:** fine to coarse grain ore minerals with plagioclase phenocrysts, and **D:** Microlitic plagioclase crystals with weak sericitic alteration and locally carbonate alteration (Ep: epidote, Chl: chlorite, Pl: plagioclase, Prh: prehnite, Hl: hornblende, OM: opaque minerals, Qtz: quartz and Car: carbonate). Abbreviations from Whitney and Evans (2010)

مقطع نازک مشخص می‌شود. دولومیت‌ها اغلب به صورت دانه‌های بی‌وجه با مرزهای انحنادار دیده می‌شوند که اغلب به صورت رگه‌چه‌های ثانویه در فضای بین قطعات دولومیتی پرشی شده جانشین شده‌اند. بلورهای نیمه‌وجه‌دار کوارتز ثانویه به صورت تجمعات بلورین محلی و رگه‌چه‌های ثانویه در زمینه دولومیتی جایگزین شده‌است.

ماسه سنگ متوسط دانه (لیت آرنایت) با سیمان کربنات کلسیتی: اجزای تخریبی این ماسه‌سنگ‌ها را دانه‌های کوارتز، فلدسپار و خرده‌سنگ ولکانیکی در زمینه سیمان کربناتی کلسیتی تشکیل می‌دهند. جورشدگی دانه‌ها در حد ضعیف تا متوسط و رسیدگی بافتی و کانی‌شناختی در حد ایمچور است. دو گروه از دانه‌های با گردشگی خوب و دانه‌های با گردشگی ضعیف در زمینه دیده می‌شود. تراکم پایین نمونه و نبود تماس بین دانه‌های تخریبی بیانگر سیمانی‌شدن قبل از فرآیند تراکم در نمونه است. سیمان کربناتی بین دانه‌های تخریبی به شدت آهن‌دار شده و در خرده سنگ‌های ولکانیکی و دانه‌های فلدسپار فرآیند دباژنری کلسیتی‌شدن دیده می‌شود.

کانه‌زایی و کانه‌نگاری

کانه‌زایی آهن: کانه‌زایی آهن در گنبد نمکی زندان به صورت لایه‌های هماتیت-لیمونیت-اولیژیست (خاک سرخ) است که در بیشتر حالات به صورت لایه‌هایی پراکنده وجود دارند. همچنین برون‌زدهایی از این لایه‌های آهن‌دار با تناوبی از لایه‌های گچ (اغلب انیدریت) دیده می‌شود (شکل A-8 و B). فراوان‌ترین شکل رخداد کانه‌زایی آهن این لایه‌ها به دلیل رنگ شاخص خود به راحتی از دور قابل تشخیص هستند. کانه‌های آهن یادشده اغلب بدون شکل خاص بوده؛ اما گاه به صورت نوارهای باریک با ضخامت‌های در حد چندین سانتی‌متر به ویژه در لایه‌های گچی دیده می‌شود.

شکل دیگر کانه‌زایی آهن در این گنبد نمکی به صورت مخلوطی از هماتیت و مگنتیت (در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد) است که همراه با توده‌های دیابازی دیده می‌شوند. این نوع از

سنگ‌های رسوبی در گنبد متنوع بوده و به شرح زیر هستند:

آهک ریز بلور ماسه‌ای (میکرایت): گل کربناتی بیشترین حجم این مقاطع را اشغال کرده است و دانه‌های کوارتز به صورت بلورهای نیمه‌وجه‌دار در زمینه کربناتی ریزدانه دیده می‌شوند. کانه‌های فلزی به صورت بلورهای وجه‌دار در زمینه میکرایتی پراکنده هستند. در زمینه، ساختارهای استیلولیتی ثانویه شکل گرفته که در امتداد آنها اکسیدهای آهن و ناخالصی‌های مواد رسی به صورت انتخابی تمرکز یافته‌اند (شکل A-7).

گل‌سنگ سیلنی با زمینه رس‌های آهن‌دار شده: عمده حجم این سنگ را یک زمینه ریزدانه رسی حاوی دانه‌های کوارتز تخریبی در حد سیلت تشکیل داده‌است. مسکویت و دانه‌های کانی اوپک به صورت فازهای تخریبی فرعی در زمینه دیده می‌شوند (شکل B-7). این سنگ‌ها دارای جورشدگی و گردشگی ضعیف و رسیدگی بافتی در حد نارس هستند.

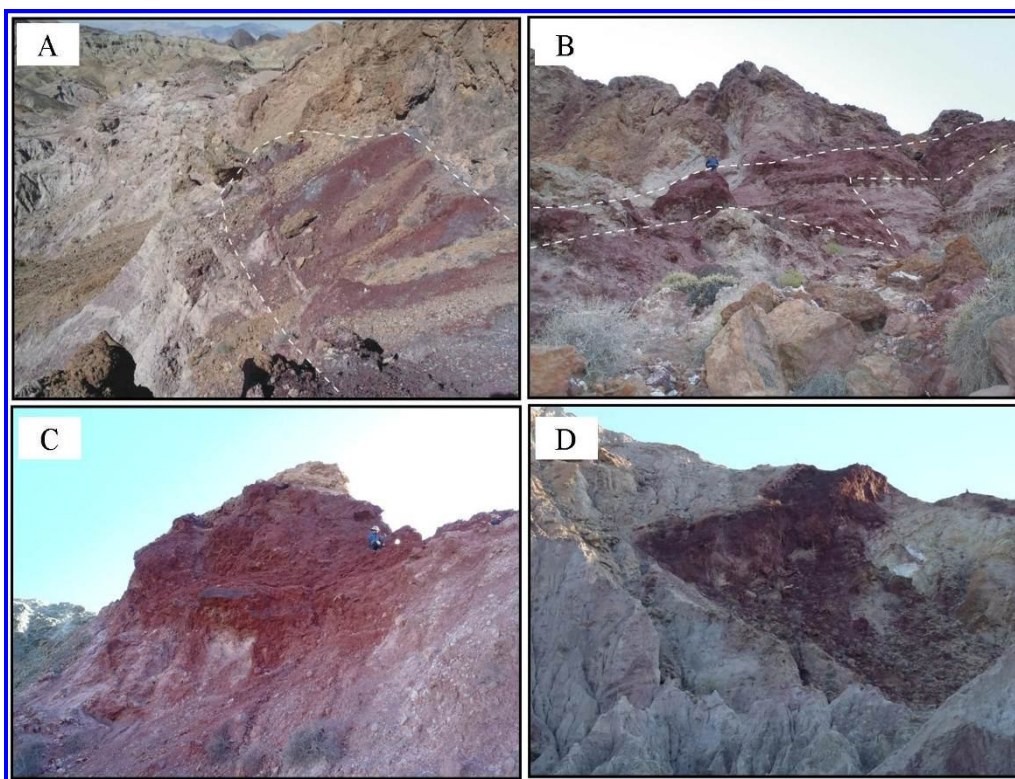
ماسه سنگ ریزدانه با سیمان اسپارایتی: ماسه‌سنگ ریزدانه میکادار که عمده حجم اجزای تخریبی بازمانده در آن، دانه‌های ریز ماسه کوارتزی به همراه پولک‌های فراوان مسکویت در زمینه سیمان کربناتی اسپارایتی است (شکل C-7). دانه‌های کوارتز اغلب حاشیه‌های خورده شده دارند که احتمالاً در اثر واکنش با زمینه کربناتی توسعه یافته‌اند. لامینه‌بندی رسوبی اولیه در این مقاطع نشانگر ته‌نشست آرام از حالت معلق است.

آهک ریزدانه سیلیسی شده (مادستون): سنگ کربناتی ریزدانه میکرایتی که با کوارتز ثانویه به صورت رگه‌چه‌های ثانویه و بلورهای منفرد پراکنده جانشین شده است. دانه‌های کوارتز ثانویه اغلب به صورت بلورهای وجه‌دار در زمینه تشکیل شده و ناخالصی‌هایی از زمینه کربناتی در متن بلورهای وجه‌دار کوارتز ثانویه باقی مانده است (شکل D-7). دانه‌های کانه فلزی به صورت پراکنده در زمینه بوده و اغلب با اکسیدهای آهن ثانویه جانشین شده است.

سنگ دولومیتی پرشی و سیلیسی شده (دولستون): ریز بلور، تیره‌رنگ، احتمالاً حاوی مواد آلی، با فابریک پرشی مشخص که با بلورهای دولومیت به صورت دو نسل ریز بلور و درشت بلور در

ندارد. مساحت برون‌زد این واحد به همراه واریزه‌های آن در حدود ۱۸۰ متر مربع است. برون‌زد بعدی مگنتیت در شرق کوه چربکی قرار دارد که شامل هماتیت-مگنتیت است و مساحت کمی در حدود ۱۵ متر مربع دارد (شکل ۹-۲). در این نقطه مگنتیت‌ها بیشتر حالت نواری نشان می‌دهند. برون‌زد بعدی سنگ آهن در شرق گنبد نمکی است که طولی در حدود ۵۰ متر و ضخامتی در حدود ۱ متر دارد (شکل ۹-۳).

کانه‌زایی آهن گسترش چندانی ندارد و فقط در سه نقطه به صورت برون‌زدهای کوچک دیده شده است. در جنوب کوه چربکی در بالای برون‌زدهای مارن و انیدریت توده‌ای از هماتیت-مگنتیت دیده می‌شود (شکل ۹-۱) که گسترش بسیار کمی دارد و مگنتیت به صورت توده‌ای، بی‌شکل و گاه به حالت رگه‌ای و رگه‌ای بسیار نازک دیده می‌شود. بررسی‌های صحرائی نشان می‌دهد که این توده گسترش عمقی چندانی



شکل ۷. A: برون‌زد لایه هماتیت- اولیژیست به همراه گچ داخل واحد H1. B: لایه حاوی هماتیت- اولیژیست- انیدریت داخل واحد H4. C: برون‌زد لایه آهن‌دار در یک لایه حاوی انیدریت و D: لایه حاوی آهن و گچ داخل واحد H1، در گنبد نمکی زندان

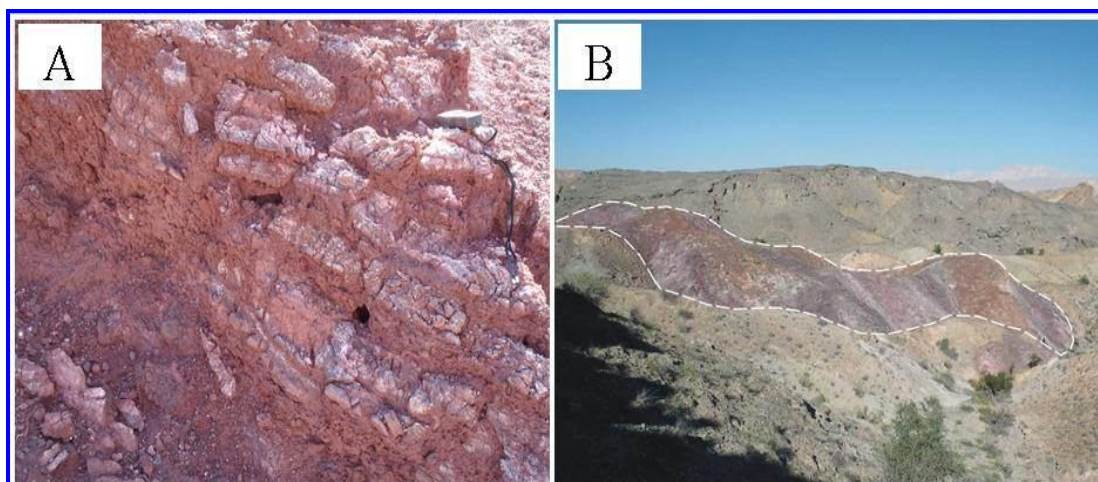
Fig. 7. A: Hematite- Oligist exposed layers with gypsum within unit H1, B: Hematite- Oligist -anhydrite layers within H4 layer, C: outcrop of iron layer in anhydrite layer, and D: Iron and gypsum layers within a H1 unit in Zendan salt dome

می‌توان به صورت پراکنده و برون‌زدهای کوچک مشاهده کرد. از نظر کانی‌شناسی می‌توان کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت و پیریت، اغلب توده‌ای تا مکعبی شکل و در اندازه‌های متفاوت را در امتداد لایه‌بندی سنگ‌ها دید؛ اما بخش بزرگی از این کانی‌ها در اثر فرآیندهای سوپرژن به مالاکیت و به مقدار کم آزوریت

کانه‌زایی مس: کانه‌زایی مس چینه‌کران بوده و به صورت رگه‌ای و پراکنده در امتداد لایه‌بندی واحدهای رسوبی و آذرآواری صورت گرفته است (شکل ۱۰-۱ و B). بالا آمدن نمک در دوره‌های بعد باعث خرد شدن و جابه‌جایی واحدهای سنگی شده است. از این‌رو، در حال حاضر کانه‌زایی مس را

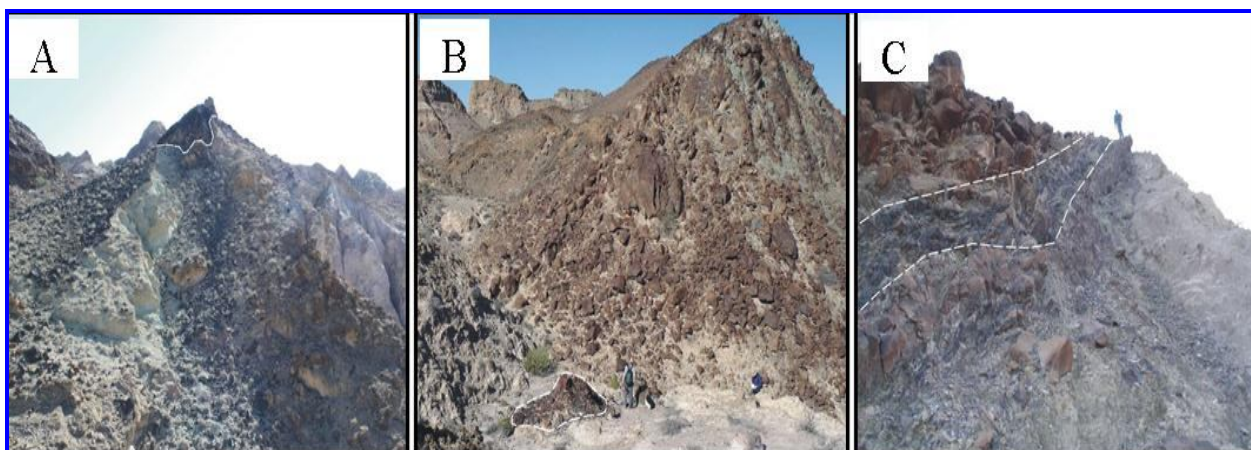
همچنین در برخی مقاطع رگه‌چه‌های درشت بلور کربنات ثانویه و تجمع بلورهای کوارتز و پیریت در زمینه سنگ دولومیتی پرشی و سیلیسی شده (شکل ۱۱- C و D) دیده می‌شود. قطعات خرده سنگ ولکانیکی به همراه قطعات کوارتز زاویه‌دار در زمینه سیمان کربناتی آهن‌دار شده در برخی مقاطع به چشم می‌خورد (شکل ۱۱- E و F).

تبدیل شده است. در قسمت‌های داخل توده دیابازی در سطح سنگ‌ها آثاری از کانه‌زایی مس به صورت مس آزاد و مالاکیت دیده می‌شود (شکل ۱۰- C و D). در مقاطع میکروسکوپی رگه‌چه‌های کربنات ثانویه در زمینه ریزدانه میکرایتی حاوی دانه‌های کوارتز و قطعات تخریبی کوارتز، مسکویت و کانی اوپک در زمینه ریزدانه رسی دیده می‌شود (شکل ۱۱- A و B)



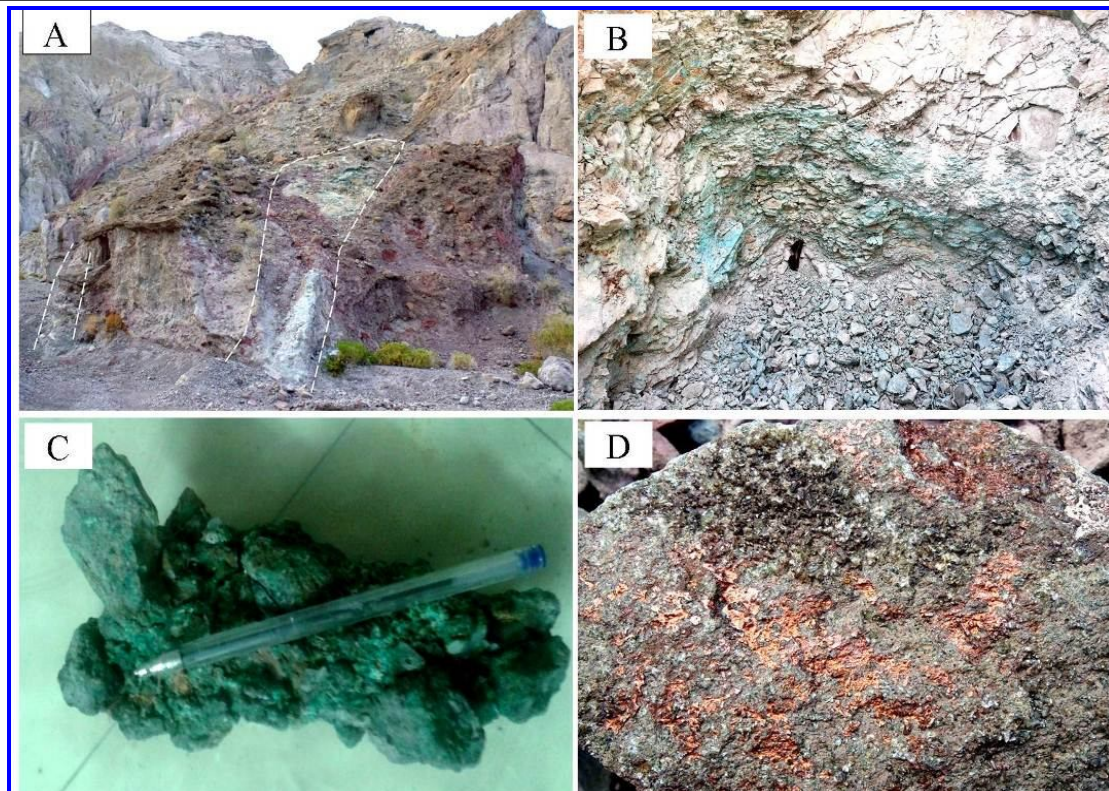
شکل ۸. A: نمایی از تناوب هماتیت و انیدریت در یکی از لایه‌های آهن‌دار و B: تناوبی از کانه‌زایی آهن به همراه انیدریت، مارن و شیل با عیار پایین (دید به سوی شمال)، در گنبد نمکی زندان

Fig. 8. A: View of alternating layers of hematite and anhydrite in the iron layers, and B: Alternating of iron mineralization associated with anhydrite, marl, and shale with low grade (view to north) in Zendan salt dome



شکل ۹. A: برون‌زد کانه‌زایی هماتیت-مگنتیت در بالای تپه‌ای در واحد H1, B: برون‌زد کوچکی از کانه‌زایی آهن و C: کانه‌زایی آهن به صورت هماتیت-مگنتیت در امتداد لایه‌بندی سنگ، تمام تصاویر از گنبد نمکی زندان است.

Fig. 9. A: Hematite –Magnetite mineralization outcrops on top of the hill in unit H1, B: A small outcrop of iron mineralization, and C: Hematite- Magnetite iron mineralization in rocks along bedding. All images are from Zandan salt dome.



شکل ۱۰. A: نمایی از کانه‌زایی مس در محدوده گنبد نمکی (دید به‌سوی شمال شرقی)، B: کانه‌زایی مس اکسیدی، C: کانی‌زایی مس مالاکیتی و D: کانه‌زایی مس طبیعی در سطح توده دیابازی

Fig. 10. A: View of copper mineralization within the salt dome (view to northeast), B: Oxidized copper mineralization, C: Copper minerals malachite, and D: Native copper mineralization in the dibasic pluton

اسپیکولاریت هستند (شکل ۱۴-A). شکل ۱۴-B حضور تیغه‌های مگنتیت در داخل هماتیت را نشان می‌دهد.

دگرسانی

بررسی‌های سنگ‌شناسی مقاطع نازک در محدوده گنبد نمکی زندان نشان می‌دهد که مهمترین دگرسانی‌های منطقه به شرح زیر است:

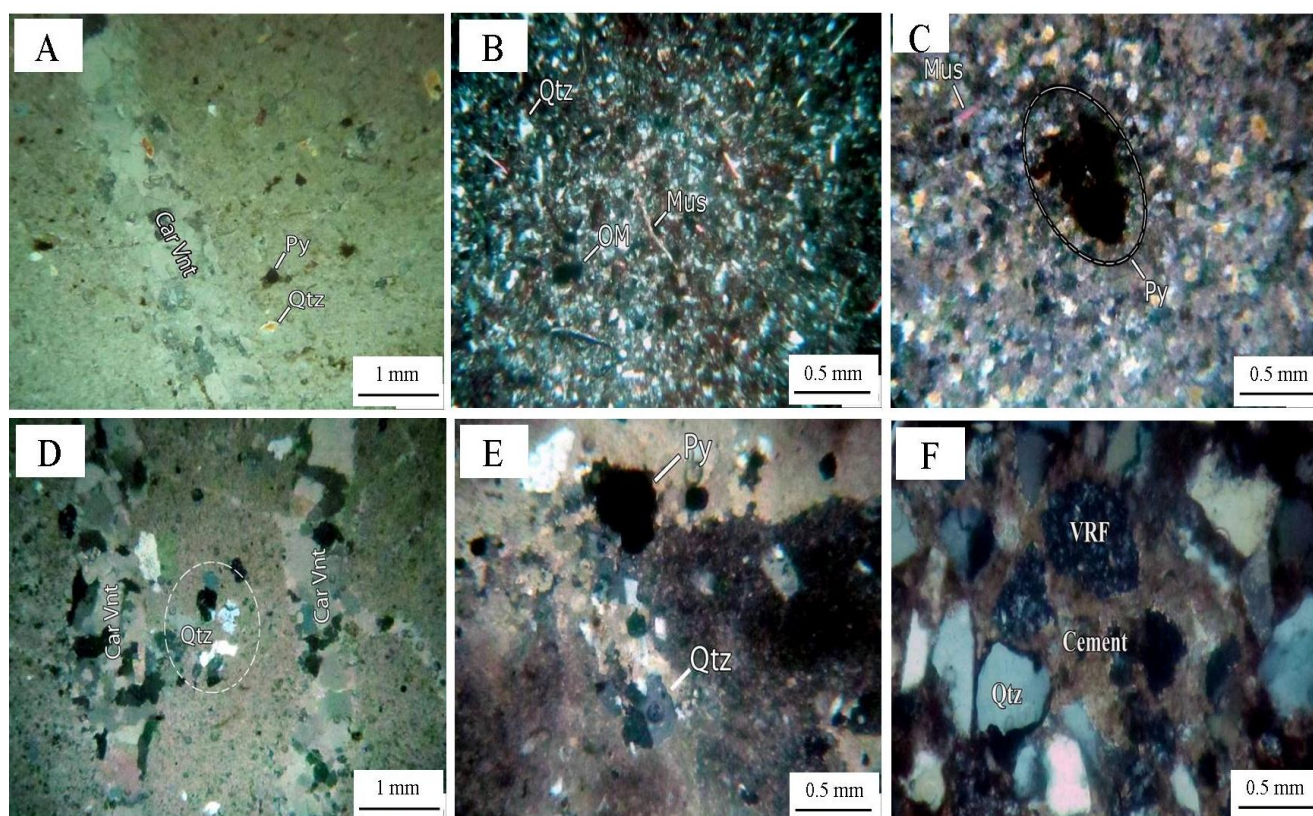
دگرسانی پروپلیتیک: در این دگرسانی، تجمعات اپیدوت، کلریت و کرنات‌ها به‌صورت محلی جانشین بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند شده‌اند.

دگرسانی سرسیتی: در این نوع دگرسانی تمام سیلیکات‌های سنگ‌ساز اولیه مانند فلدسپات‌ها، میکاها و کانی‌های مافیک به سرسیت و کوارتز تبدیل می‌شوند. این دگرسانی نشان‌دهنده

در بررسی‌های میکروسکوپی از نمونه‌های کانه‌دار گنبد نمکی می‌توان کانه‌های اولیه و ثانویه مس‌دار و آهن‌دار را مشاهده کرد. کانه‌های اولیه مس‌دار اغلب کالکوپیریت و کمتر پیریت با بافت پراکنده هستند که به‌صورت دانه‌های بی‌وجه، درشت‌بلور تا ریزبلور دیده می‌شوند و به‌نظر می‌رسد در داخل و حاشیه کالکوپیریت، تحت‌تأثیر فرآیندهای سوپرژن کالکوسیت تشکیل شده است (شکل ۱۲-A و B). بلورهای کالکوسیت گاه به‌صورت دانه‌های نیمه‌گرد شده (شکل ۱۳-A) دیده می‌شود و دانه‌های پیریت در حاشیه به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل ۱۳-B). عمده کانی‌های باطله همراه، کلسیت، انیدریت، کرنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و گاه کوارتز هستند که متن سنگ را تشکیل می‌دهند. کانه‌های آهن‌دار موجود در گنبد اغلب مگنتیت، هماتیت و

سرستی شده‌اند. بلورهای درشت فلدسپار به صورت انتخابی و نسبتاً شدید توسط تجمعات ریزدانه سرسیت ثانویه جانشین شده‌اند.

شست و شوی شدید عناصر قلیایی به جز پتاسیم است. در گنبد نمکی زندان بلورهای درشت پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار و میکرولیت‌های ریز در خمیره به صورت ضعیف و فراگیر



شکل ۱۱. A: رگچه کربنات ثانویه در زمینه ریزدانه میکرایتی حاوی دانه‌های کوارتز و کانه فلزی، B: قطعات تخریبی کوارتز، مسکویت و کانی اوپک در زمینه ریزدانه رسی، C: قطعات تخریبی ماسه کوارتزی در زمینه سیمان کربناتی. دانه نسبتاً درشت کانه فلزی در زمینه دیده می‌شود، D: رگچه‌های درشت‌بلور کربنات ثانویه (دولومیتی) که زمینه اولیه را قطع کرده است، E: تجمع بلورهای کوارتز و پیریت در زمینه سنگ دولومیتی پرشی و سیلیسی شده و F: نمایی از قطعات خرده‌سنگ ولکانیکی به همراه قطعات کوارتز زاویه‌دار در زمینه سیمان کربناتی آهن‌دار شده. (Qtz: کوارتز، Car: کربنات، Vnt: رگچه، Py: پیریت، Mus: مسکویت، VRF: خرده سنگ‌های ولکانیکی، OM: کانی فلزی، Cement: سیمان). علایم اختصاری از ویتنی و اونز (Whitney and Evans, 2010)

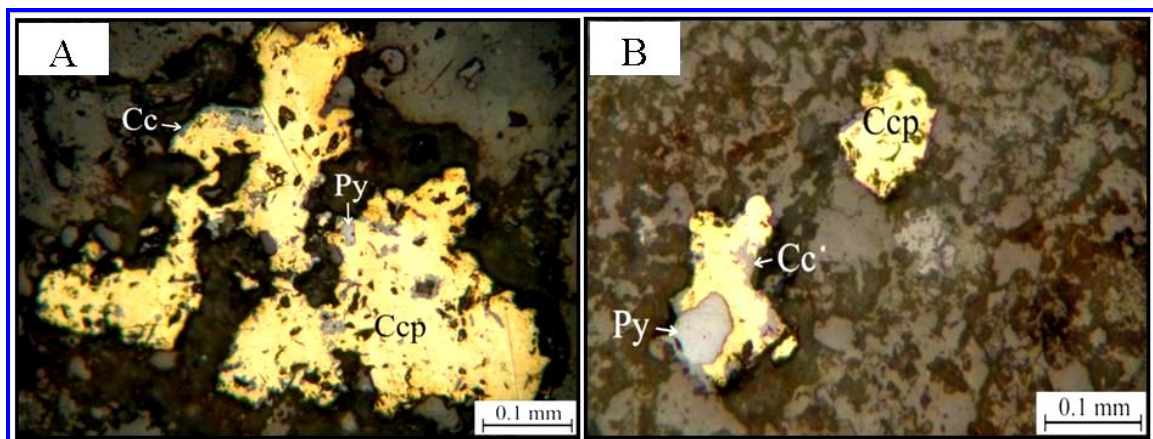
Fig. 11. A: Secondary carbonate veinlets in micrite matrix with quartz and fine ore minerals, B: Destructive Quartz fragment, muscovite and opaque minerals in the clay matrix, C: Destructive pieces of sandy quartz in a carbonate cement. Relatively coarse grained metallic minerals can be seen in the matrix, D: Coarse grain secondary veins (Dolomitic), which cut primary matrix. E: Accumulation of quartz and pyrite minerals in brecciate and silicified dolomite, F: View of volcanic rock fragments with angular quartz in ferrous carbonate cement (Qtz: quartz, Car: carbonate, Vnt: veinlet, Pyr: pyrite, Mus: muscovite, VRF: volcanic rock fragment OM: opaque minerals). Abbreviation from Whitney and Evans (2010).

هاله‌های دگرسانی مناطق معدنی گسترش فراوانی دارد (Robb, 2005). در دگرسانی کربناتی، تشکیل کانی‌های کربناته (کلسیت، دولومیت، مگنیزیت و سیدریت) در طی دگرسانی در

سیلیسی و کربناتی شدن: در آلتراسیون سیلیسی، افزایش سیلیس در سنگ‌های دگرسان شده حاصل فرآیند شیشه‌زدایی، محلول‌های گرمابی و هیدرولیز کانی‌هاست که معمولاً در

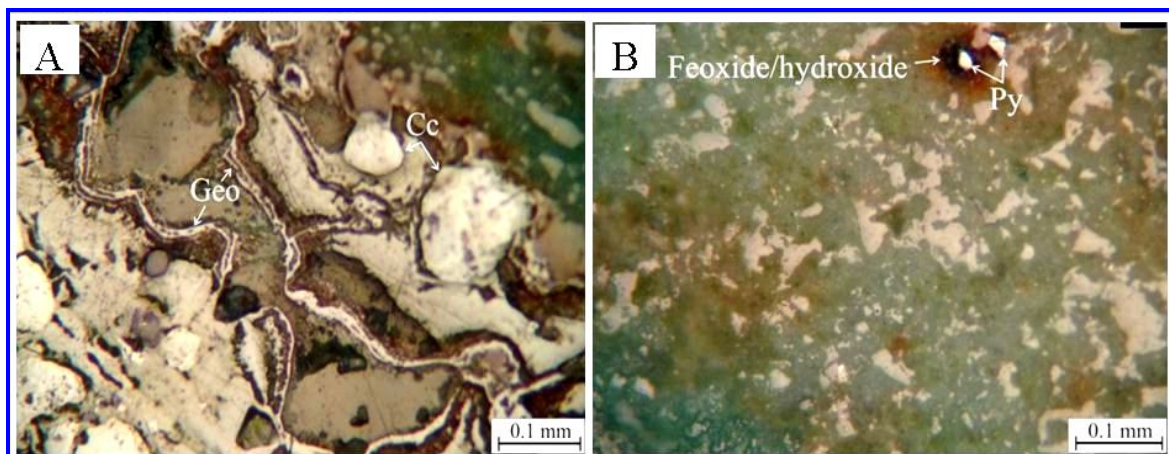
می‌شود. در این مقاطع، بلورهای الواری پلاژیوکلاز به صورت محلی و به مقدار کمی کربناتی شده‌اند. رگه‌های درشت بلور سیلیس - کربنات به صورت محلی خمیره را قطع کرده و درون آن جایگزین شده‌اند. کانه‌های فلزی به همراه رگه‌چه کوارتز - کربنات ثانویه تشکیل شده است.

یک سنگ توسط محلول‌هایی با فشار جزئی بالای دی اکسید کربن در PH قلیایی است که تشکیل هریک از انواع کانی‌های کربناته تابعی از ترکیب سنگ میزبان است (Robb, 2005). در گنبد نمکی زندان دگرسانی سیلیسی و کربناتی در مقیاس میکروسکوپی به صورت رگه‌ای تا رگه‌چه‌ای دیده



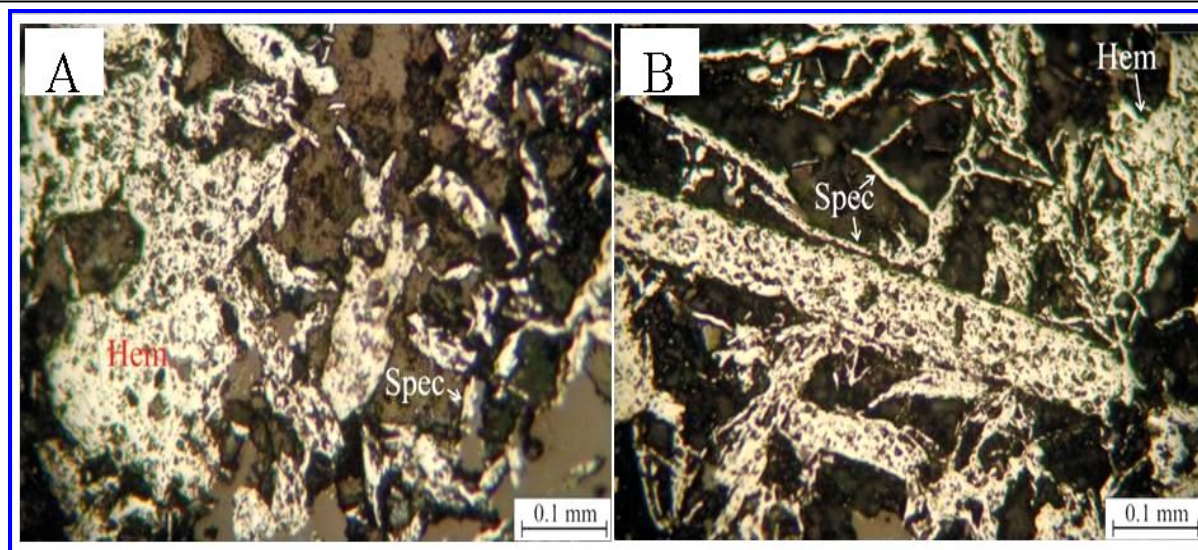
شکل ۱۲. A: درشت‌بلور کالکوپیریت همراه با بلور ریز پیریت، در حاشیه و در داخل کالکوپیریت، کالکوسیت دیده می‌شود و B: بلورهای ریز و بی‌وجه کالکوپیریت که با بلور بی‌وجه پیریت همراه است. (Py: پیریت، Cc: کالکوسیت، Ccp: کالکوپیریت). علائم اختصاری از ویتنی و اونز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 12. A: Coarse grain chalcopyrite with fine grain pyrite. Chalcocite is seen within and in the rime of chalcopyrite, and B: Fine and amorphous chalcopyrite with associated amorphous pyrite (Py: pyrite, Cc: chalcocite, Ccp: Chalcopyrite). Abbreviation from Whitney and Evans (2010)



شکل ۱۳. A: بلورهای نیمه گرد شده کالکوسیت در امتداد یک ریزدرزه. در حاشیه ریزدرزه گوتیت به همراه دیگر اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تشکیل شده است و B: ریزبلورهای بی‌وجه پیریت در متن سنگ که در حاشیه به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است. (Py: پیریت، Cc: کالکوسیت، Geo: گوتیت). علائم اختصاری از ویتنی و اونز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 13. A: Semi- rounded of chalcocite along a microjoint. Goethite, Iron oxides and hydroxides are formed in the margin of the microjoint, and B: amorphous pyrite in the matrix of rock, which is changed to Iron oxides and hydroxides in the margin (Py: pyrite, Cc: chalcocite, Geo: goethite). Abbreviation from Whitney and Evans (2010)



شکل ۱۴. A: بلورهای هماتیت به همراه تیغه‌های اسپکیولاریت و B: کانی‌سازی هماتیت که تمام متن سنگ را در بر گرفته است. در داخل هماتیت به صورت محدود مگنتیت باقی مانده است. (Mag: مگنتیت، Hem: هماتیت، Spec: اسپکیولاریت). علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 14. A: Hematite with bladed Specularite, and B: Hematite mineralization, which encompass all of rock. Magnetite is remained in to hematite. (Mag: magnetite, Hem: hematite, Spec: Specularite). Abbreviation from Whitney and Evans (2010)

ژئوشیمی

دیاباز و سنگ آهن را از بین برده است، می‌توان تمرکزی مناسب از قطعات سنگ آهن را دید که به دلیل عیار و فراوانی مناسب می‌تواند مورد استخراج قرار گیرد. نکته جالب در مورد عیار نمونه‌های برداشت شده از سنگ آهن‌های پلاسی این است که عیار آن بسیار بالاست. نمونه‌های ۲ و ۳ از قطعات سنگ آهن پلاسی برداشت شده است که FeO_4 آن در حدود ۶۸ درصد است (جدول ۳).

به‌طور کلی از نتایج آنالیزهای کانسنگ‌های آهن می‌توان روابط معناداری را بین میزان فراوانی عناصر با میزان آهن یافت. به‌طوری که روند تغییرات Al_2O_3 و SiO_2 ، K_2O ، TiO_2 در مقابل FeO_4 نشان می‌دهد که با افزایش مقدار این عناصر مقدار FeO_4 کاهش می‌دهد (شکل ۱۵). مقادیر Ni و Cr_2O_3 با افزایش میزان FeO_4 افزایش می‌یابند (شکل ۱۶). مقادیر MnO ، CaO و MgO پراکنده‌گی نشان می‌دهند؛ اما تا حدودی با افزایش عیار آهن افزایش می‌یابند و این عناصر در کانسنگ‌های عیار بالاتر کاهش می‌یابند (شکل ۱۷).

در جدول ۱، آنالیز ۹ نمونه از رگه‌های معدنی آمده است. چنان که از داده‌های آنالیز این نمونه‌ها مشخص است، منطقه از لحاظ آهن و مس مستعد است. لایه‌های آهن از نظر عیار به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول، لایه‌های آهن که بدون تناوب لایه‌های انیدریت و دارای عیار بالاتری هستند (شکل ۹-A، B و C). عیار آهن کل این نمونه‌ها از ۹ درصد تا ۵۷/۶۷ درصد متغیر است (جدول ۲). عیار FeO از ۰/۲۸٪ تا ۱/۵۲٪ و با میانگین ۰/۶۰٪ تغییر می‌کند که نشان‌دهنده ماهیت هماتی این لایه‌هاست. میانگین Fe_2O_3 این لایه‌ها ۴۳/۸ درصد است. دسته دوم، لایه‌های آهن‌دار حاوی تناوب انیدریت که دارای عیار پایین آهن و مقادیر بالایی از گوگرد هستند (شکل ۱۰).

در برخی از تراس‌های قدیمی و نیز بخش‌هایی که در آن توده‌های دیاباز به‌طور کامل فرسایش یافته است، می‌توان تمرکزی از قطعات سنگ آهن را به همراه قطعات پراکنده دیاباز مشاهده کرد. در قسمت‌هایی که فرسایش به‌طور کامل برون‌زد

جدول ۱. نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت‌شده از بخش‌های حاوی کانه‌زایی آهن و مس، گنبد نمکی زندان

Table 1. The results of analysis samples taken from parts including iron and copper mineralization, Zandan salt dome

| Element | Unit | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Au | ppb | 7 | <5 | 9 | 13 | 16 | <5 | 27 | 8 | 11 |
| Ag | ppm | 0.28 | 0.42 | 1.3 | 0.29 | 2.2 | 0.6 | 1.3 | 0.73 | 2.3 |
| As | ppm | 5.5 | 2.6 | 2.6 | 5.8 | 7.6 | 3.3 | 5.6 | 35 | 21.7 |
| Cd | ppm | 0.22 | 0.4 | 19.6 | 9.6 | 11.9 | 7.2 | 3.5 | 5 | 5.5 |
| Cu | ppm | 19703 | 13458 | 139497 | 48042 | 9271 | 2058 | 11005 | 12275 | 3590 |
| Fe | ppm | 43932 | 30861 | 25388 | 36042 | 19904 | 12299 | 99054 | 13548 | 21294 |
| Mo | ppm | 21.3 | 3.1 | 77.8 | 39.5 | 14.8 | 4.5 | 28.4 | 13.5 | 17.4 |
| Pb | ppm | 7 | 105 | 818 | 510 | 291 | 127 | 214 | 172 | 192 |
| S | ppm | 300 | 691 | 3877 | 2922 | 4303 | 2358 | 338 | 3135 | 330 |
| Sb | ppm | 0.95 | 0.98 | 0.96 | 1.02 | 1.9 | 2.5 | 0.51 | 1.17 | 2.8 |
| Th | ppm | 6.5 | 5.8 | 4.5 | 9.3 | 3.9 | 1.3 | 2.8 | 3.6 | 2.4 |
| Zn | ppm | 118 | 143 | 1328 | 396 | 313 | 128 | 878 | 315 | 122 |

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از بخش‌های آهن‌دار گنبد نمکی زندان به روش XRF، مقادیر عناصر بر حسب درصد وزنی

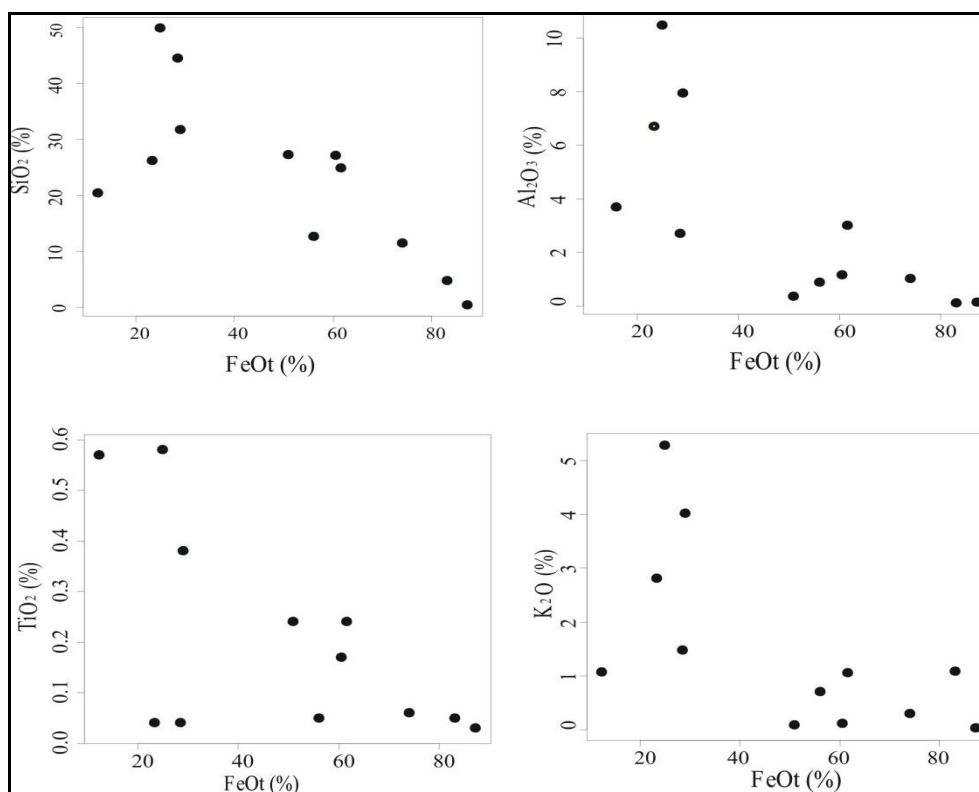
Table 2. The results of chemical analysis from iron-rich samples of Zandan salt dome using XRF method. The values based on weight percentage

| Element | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 24.89 | 0.47 | 4.74 |
| TiO ₂ | 0.24 | 0.03 | 0.05 |
| Al ₂ O ₃ | 3.01 | 0.12 | 0.11 |
| Fe ₂ O ₃ | 68.17 | 96.67 | 91.91 |
| MnO | < | 0.02 | 0.05 |
| MgO | 0.44 | 0.1 | 0.12 |
| CaO | 0.42 | 0.12 | 0.8 |
| Na ₂ O | 0.06 | 0.03 | 0.07 |
| K ₂ O | 1.05 | 0.02 | 1.08 |
| P ₂ O ₅ | 0.14 | 0.02 | 0.09 |
| FeO | 0.35 | 0.28 | 0.4 |
| SO ₃ | 0.11 | 0.41 | 0.3 |
| LOI | 1.09 | 1.68 | 1.46 |

جدول ۳. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از برون‌زد هماتیت- مگنتیت و سنگ آهن پلاسری، گنبد نمکی زندان

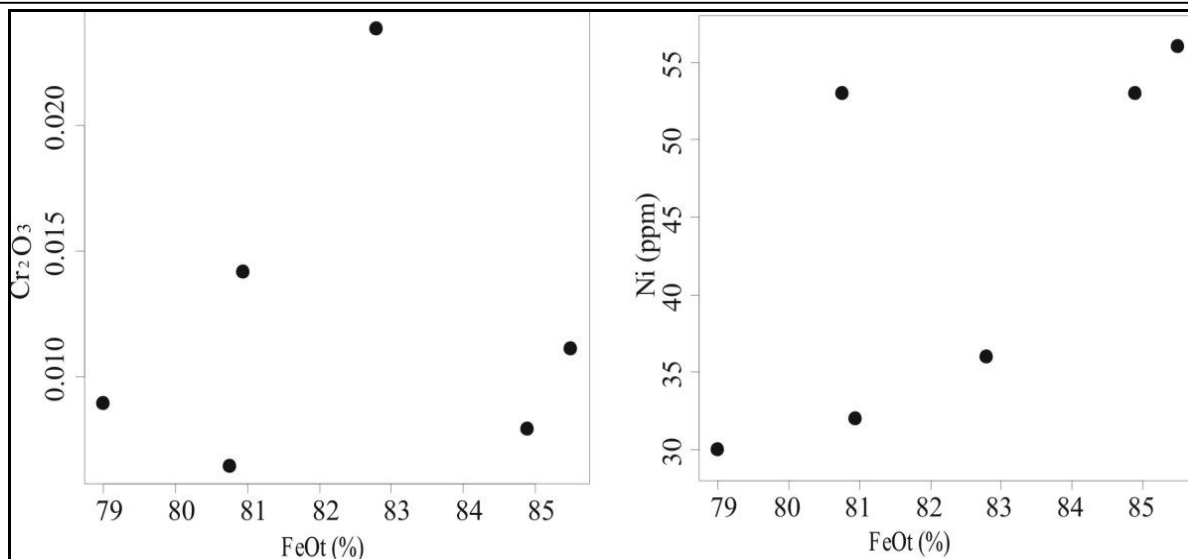
Table 3. The results of chemical analysis from outcrops of magnetite- Hematite and iron ore placer samples, Zandan salt dome

| Element | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 12.63 | 27.31 | 26.23 | 51.73 | 49.8 | 20.46 | 11.43 | 27.16 | 44.61 |
| TiO ₂ | 0.05 | 0.24 | 0.04 | 0.38 | 0.58 | 0.57 | 0.06 | 0.17 | 0.04 |
| Al ₂ O ₃ | 0.88 | 0.34 | 6.7 | 7.94 | 10.47 | 3.87 | 1.00 | 1.16 | 2.7 |
| Fe ₂ O ₃ | 62.05 | 56.41 | 25.34 | 31.42 | 26.03 | 13.15 | 81.95 | 66.75 | 31.24 |
| MnO | 0.44 | < | 0.25 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.21 |
| MgO | 0.99 | 0.06 | 0.65 | 0.65 | 1.75 | 1.03 | 0.23 | 1.11 | 2.44 |
| CaO | 12.3 | 5.49 | 12.48 | 0.31 | 0.72 | 20.22 | 0.78 | 0.59 | 6.46 |
| K ₂ O | 0.7 | 0.08 | 2.81 | 4.02 | 5.29 | 1.07 | 0.29 | 0.11 | 1.47 |
| P ₂ O ₅ | 0.07 | 0.14 | 0.06 | 0.11 | 0.16 | 0.19 | 0.02 | 0.13 | 0.6 |
| FeO | 0.28 | 0.28 | 0.65 | 0.76 | 1.52 | 0.55 | 0.41 | 0.55 | 0.41 |
| Fe _t | 43.64 | 39.69 | 18.24 | 22.58 | 19.4 | 9.63 | 57.67 | 47.14 | 22.18 |
| SO ₃ | 0.13 | 0.11 | 17.14 | 7.35 | 0.26 | 28.29 | 0.73 | 0.55 | 1.29 |
| LOI | 9.67 | 1.09 | 2.24 | 7.33 | 1.93 | 2.76 | 2.48 | 10.74 | 2.2 |

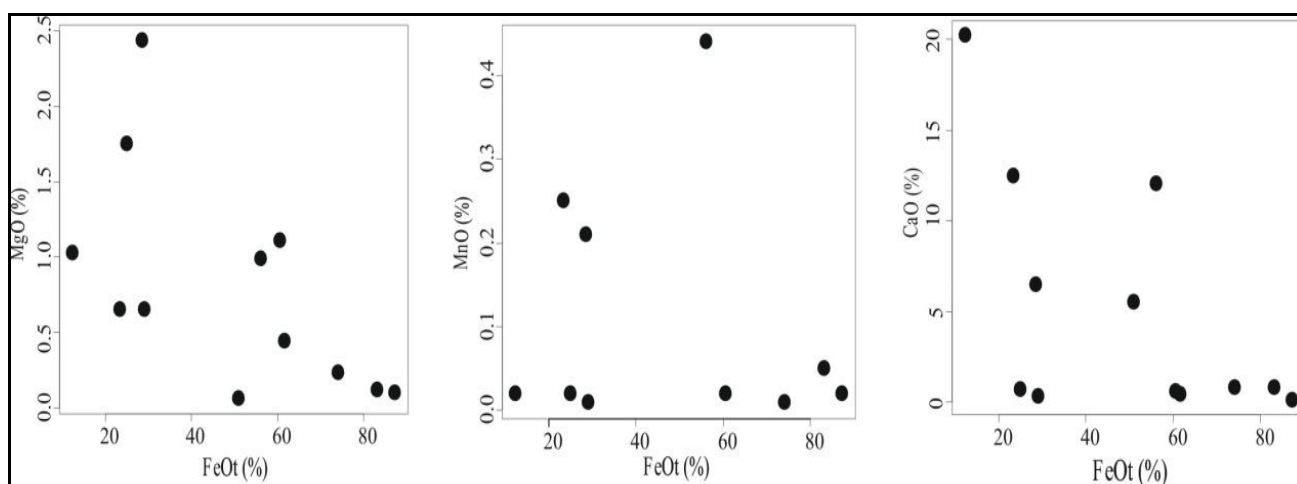


شکل ۱۵. کاهش میزان SiO₂, K₂O, TiO₂ و Al₂O₃ با افزایش میزان FeOt در گنبد نمکی زندان

Fig. 15. Reducing of the amount of TiO₂, K₂O, SiO₂ and Al₂O₃ with increasing of FeOt in Zandan salt dome



شکل ۱۶. افزایش میزان Ni و Cr₂O₃ با افزایش میزان FeOt در گنبد نمکی زندان
Fig. 16. Cr₂O₃ and Ni increase with increasing of FeOt in Zandan salt dome



شکل ۱۷. روند تغییرات MgO، MnO و CaO نسبت به FeOt در گنبد نمکی زندان
Fig. 17. Trend of variation of MgO, MnO, and CaO versus FeOt in Zandan salt dome

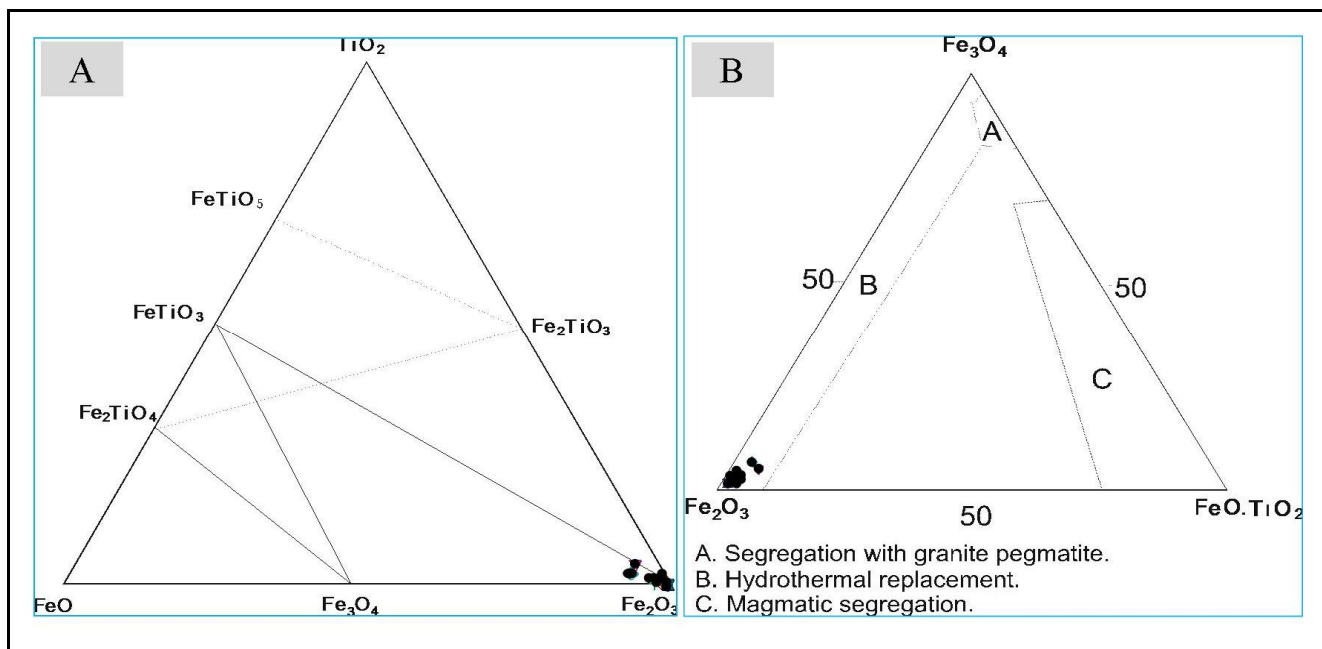
این نوع کانسارها دگرسانی سدیک-کلسیک گسترش کم، دگرسانی پتاسیک گسترش وسیع و کانه‌زایی سولفیدی و اکسیدی صورت گرفته است (Barton and Johnson, 2004). با توجه به سنگ میزبان، دگرسانی در کانسارهای آهن گرمابی سرچشمه گرفته از سیالات تبخیری متفاوت است. دگرسانی‌های کلریتی و کربناتی در سنگ میزبان مافیکی تا حدواسط و دگرسانی سدیک، پتاسیک، سیلیسی و سرسیتی در سنگ میزبان اسیدی به وجود می‌آید. سیال به وجود آورنده این

بحث و نتیجه‌گیری

سیالات با منشأ ماگمایی و سیالات با منشأ تبخیری دو نوع سیالی هستند که می‌توانند منشأ سیالات کانی‌ساز کانسارهای آهن هیدروترمال باشند (Barton and Johnson, 2004). در صورت مشاهده دگرسانی عمیق سدیک-کلسیک، دگرسانی نیمه عمیق پتاسیک و دگرسانی کم‌عمق سیلیسی و سرسیتی می‌توان منشأ سیال کانی‌ساز را در کانسارهای پورفیری از نوع ماگمایی در نظر گرفت (Barton and Johnson, 2004). در

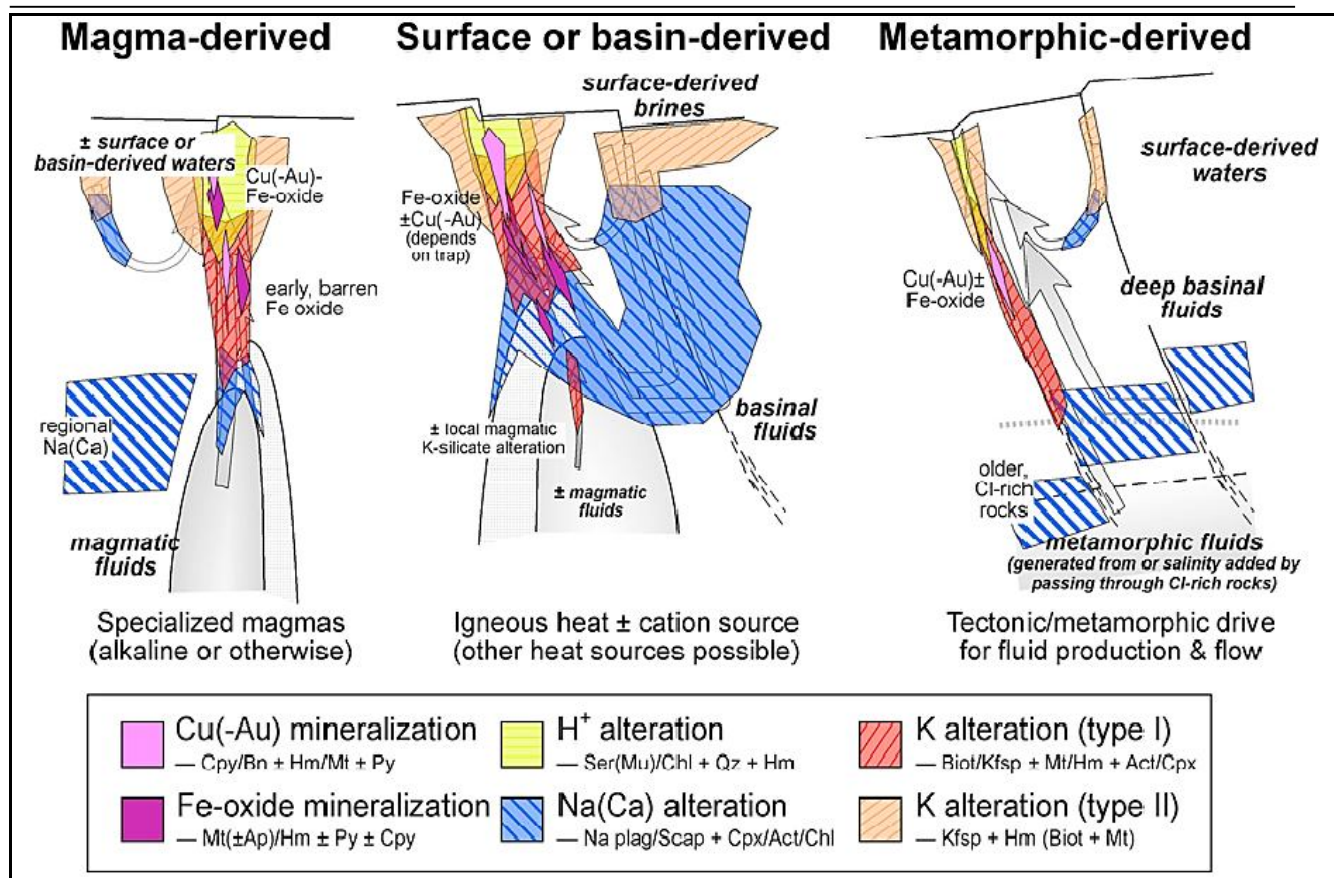
پروپلیتی، سیلیسی و کربناتی شدن نشان می‌دهد. کانسار آهن زندان بیشتر با انواع غیر ماگمایی شباهت دارد. با مقایسه ویژگی‌های آهن گنبد نمکی زندان با کانسارهای رسوبی آهن دنیا (جدول ۴) به نظر می‌رسد منشأ آن مشابه کانسارهای آهن رسوبی - نواری (Klein, 2005) و همچنین کانسار آهن تنگه زاغ (Nokhbatolfighahai, 2014) باشد. در این صورت دگرسانی‌های گرمایی گسترده در این گنبد مانند پروپلیتی، سرسیتی، کربناتی و سیلیسی با کانی‌سازی آهن مرتبط است. آب‌های شور حاصل از گنبد نمکی می‌توانند تأمین‌کننده یون کلرید (به‌عنوان حمل‌کننده آهن) در سیال باشند و ماگمای بازالتی در منطقه می‌تواند به‌صورت موتور گرمایی عمل کرده باشد و منبعی مناسب را برای تأمین یون آهن فراهم آورده باشد. حضور مقادیر کم عناصر نامتحرک در گنبد نمکی زندان و نوع دگرسانی‌های موجود در آن، می‌تواند دلیلی بر منشأ سیالی شورابه‌ای برای این کانسار آهن باشد و به‌نظر منبع حرارتی این سیال سنگ‌های دیابازی است.

کانسارها فقیر از گوگرد، اکسیدان و با شوری بالاست (Barton and Johnson, 2004). دگرسانی سدیک توسط سیالاتی با شوری بالا ایجاد می‌شود که یکی از فراگیرترین دگرسانی‌ها در کانسارهای آهن گرمایی است (Arenicibia and Clark, 1996). وجود مقادیر بالای عناصر نامتحرکی چون P, Ni و V از نشانه‌های کانسنگ‌های آهن ماگمایی است (Nystrom and Henriquiz, 1994). شکل ۱۸-A ترکیب شیمیایی کانه‌های آهن موجود در گنبد نمکی زندان در نمودار سه تایی $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ را نشان می‌دهد و سیالات کانه‌ساز در این نوع کانسارها از شورابه‌های تبخیری سرچشمه گرفته و توده نفوذی منبع حرارتی، منشأ فلزات و کنترل‌کننده نوع دگرسانی است (شکل ۱۸-B). ترکیب سنگ‌های آذرین در گنبد نمکی زندان بازالتی بوده که در سازند هرمز با سن اینفراکامبرین وارد شده‌اند. مدل دگرسانی‌های کانسارهای ماگمایی و غیر ماگمایی (شکل ۱۹) و دگرسانی‌های موجود در منطقه دگرسانی‌های سرسیتی،



شکل ۱۸. A: ترکیب شیمیایی کانه‌های آهن موجود در گنبد نمکی زندان در نمودار سه تایی $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ و B: موقعیت کانه‌های آهن گنبد نمکی زندان در محدوده هیدروترمالی

Fig. 18. A: The chemical composition of iron ore in Zandan salt dome at the ternary diagram $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, and B: Iron ore position within the hydrothermal Zandan salt dome



شکل ۱۹. مدلی شماتیک از گسترش دگرسانی در کانسارهای گرمایی با منشأ سیالات ماگمایی و غیرماگمایی، منطقه پورتر استرالیای غربی (Barton and Johnson, 2004).

Fig. 19. Schematic model of development of hydrothermal alteration in hydrothermal deposits with magmatic and non-magmatic fluids origin, Porter area, Western Australia (Barton and Johnson, 2004)

FeO کاهش می‌دهد؛ اما با افزایش مقادیر Ni و Cr₂O₃ میزان FeO افزایش می‌یابد. مقادیر MnO، CaO و MgO تا حد معینی با افزایش عیار آهن افزایش می‌یابند و در کانسنگ‌های عیار بالاتر این عناصر کاهش نشان می‌دهند. حضور مقادیر کم عناصر نامتحرک در گنبد نمکی زندان و نوع دگرسانی‌های موجود در آن، می‌تواند دلیلی بر منشأ سیالی شورابه‌ای برای کانسار آهن این گنبد باشد. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به مشابهت سنی، زمین‌شناسی و لیتولوژی منطقه و از همه مهمتر وجود دگرسانی‌های همراه به‌نظر می‌رسد، بتوان این کانسار را در ردیف کانسارهای نوع VMS طبقه‌بندی کرد که به بررسی‌های دقیق‌تر و بیشتر در منطقه نیاز دارد.

نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد که کانه‌زایی آهن در گنبد نمکی زندان اغلب به‌صورت مگنتیت، هماتیت با کانه‌های مس‌دار پیریت و کالکوپیریت است. فراوان‌ترین شکل رخداد کانه‌زایی آهن گنبد نمکی زندان به‌صورت لایه‌های هماتیت-لیمونیت-اولیژیست (خاک سرخ) است که معمولاً به‌صورت لایه‌هایی پراکنده دیده می‌شوند. همچنین تناوبی از لایه‌های کانه‌زایی آهن با لایه‌های گچ (اغلب انیدریت) در منطقه برون‌زد دارد. فراوان‌ترین و غالب‌ترین شکل آهن منطقه، هماتیت است. به‌طور کلی از نتایج آنالیزهای کانسنگ‌های آهن می‌توان روابط معناداری را بین میزان فراوانی عناصر با میزان آهن یافت؛ به‌طوری‌که روند تغییرات TiO₂، K₂O، SiO₂ و Al₂O₃ در مقابل FeO نشان می‌دهد که با افزایش مقدار این عناصر مقدار

جدول ۴. مقایسه کانسار آهن زندان با برخی کانسارهای آهن دنیا

Table 4. Comparison of Zandan iron deposit with some iron deposits in the world

| Zandan Iron | IOCG Deposits (Fe-Cu-Au) | Banded iron formations (Rapytan) | Banded iron formations (Algoma) | Banded iron formations (superior) | Calcium Skarn | Ore properties |
|---|---|--|---|--|--|-------------------|
| Infero-Cambrian | Proterozoic to Holocene | 450-800 | Archean | Early Proterozoic | Mesozoic and Cenozoic | Age (Ma) |
| Continental margin | Subduction zone, extensional tectonic regime | Continental margin | Volcanic arc | Offshore and platform area | Island arcs and continental margins | Tectonic setting |
| Evaporate and carbonate rocks | Tholeiitic to calc-alkaline rocks, such as gabbro to granodiorite rocks and metasedimentary rocks | Sandstone, Limestone, Dolomite and Shallow sedimentary rocks | Greywacke and Volcanic rocks | Quartzite, Dolomite, Conglomerate and Chart | Stocks and dykes of gabbro and sedimentary and volcanic rocks | Host rock |
| Lens | Vein, massive | Layer, mass | Often as a layered | Layered | Stratiform, massive, lenses | Form of deposit |
| Massive, layered | Shear to irregular, lenses, banded | Layerd, replacement, massive | Massive, layered | Massive, layered | Massive, layered | |
| Hematite, magnetite, goethite, pyrite, chalcopyrite, chalcocite | Magnetite, hematite, apatite, bornite Chalcopyrite ± gold± | pyrite ± magnetite ± hematite Pyrrhotite | Hematite, gold magnetite, pyrite Pyrrhotite Siderite, | Hematite, magnetite, siderite | Magnetite, hematite, chalcopyrite, pyrite, cobaltite, sphalerite | Mineralogy |
| Propylitic, Prhnyt, silica and carbonate | sericite, silica, chlorite, actinolite | Propylitic | - | - | Propylitic | Alteration |
| structural | Lithological and structural | Lithological and structural | Stratigraphic horizons rich in iron with a small amount of classical sediment | Iron-rich sedimentary stratigraphic horizons with small amounts classical sediment | structural and stratigraphy | Control agents |
| 9-57 % iron | >1000 mt Fe, Cu: 0.8- 1.6, >20%Fe, Au: 0.26- 0.8 ppm | - | 3-150 million tons - 16-45% iron | 1 million- 16-30 % iron | 3-150 million tones, 40 to 50 % iron | grade and tonnage |
| This study | Hitzman, et al., 1992, | Barton and Johnson, 2004 | Klein, 2005 | Gross,1996; Maynard, 1985, | Gross,1996; Maynard, 1985 | Reference |

قدردانی

نویسندگان از زحمت‌های فراوان آقایان اشرف‌پور، حقیقی و

تمام معدن‌کاران تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

- Ahmadzadeh Heravi, M., Houshmandzadeh, A. and Nabavi, M.H., 1991. New concepts of Hormuz formations, stratigraphy and the problem of salt diapirism in south of Iran. *International Journal of Geosciences*, 3(7):1–22.
- Aghanabati, A., 2007. *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 pp.
- Alavi, M., 1991. Tectonic map of the Middle East, scale 1:5,000,000. Geological Survey of Iran.
- Alian, F. and Bazamad, M., 2014. Petrography of Zendan salt dome (Hara), Bandar Lengeh. 6th Symposium of Iranian society of Economic Geology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.
- Arencibia, O.N. and Clark, A.H., 1996. Early magnetite-amphibole-plagioclase alteration-mineralization in the Island copper porphyry copper-gold-molybdenum deposit, British Columbia. *Economic Geology*, 93(2): 402–438.
- Ashrafpour, A. and Asadzade, A., 2002. Geology and interpretation of ASTER and ATEM satellite within the Zandan salt dome. 33th national geosciences symposium, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Attapour, H. and Aftabi, A., 2011. New mode Rapitan banded Iron for Hormoz Iron deposit, Bandar Abbas. 33th national geosciences symposium, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Barton, M.D. and Johnson, D.A., 2004. Footprints of Fe oxide (Cu-Au) systems. Geological Survey of Western Australia, University of Western Australia, Report 33, 116 pp.
- Gross, G.A., 1996. Iron ranges of the Labrador geosyncline, Iron deposits in Canada. Geological Survey of Canada, Toronto, Report 22, 179 pp.
- Hitzman, M.W., Oreskes, N. and Einaudi, M.T., 1992. Geological Characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron-oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. *Precambrian Research*, 58(1–4): 241–287.
- Klein, C., 2005. Some Precambrian banded iron-formation (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origins. *American Mineralogist*, 90(10):1473–1499.
- Maynard, J.B., 1985. Geochemistry of oolitic iron ores, an electron microprobe study. *Economic Geology*, 81(6): 1473–1483.
- Nadari, N., Mortazave, M. and Masoudi, M., 2002. Detecting basic lithological units in Zendan salt dome by use of spectral angle mapping. 33th national geosciences symposium, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Nokhbatolfoghahai, A., 2014. Investigation of Karmostaj, Paskhand, and Tang-e-Zagh Salt Domes within Larestan and Bastak, Southern Iran. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, 324 pp.
- Nystrom, J.O. and Henriquiz, F., 1994. Magmatic features of iron ore of Kiruna type in Chile and Sweden. *Economic Geology*, 89(4): 820–839.
- Parker, L.T., 1985. Geological map of Bandar Lengeh, scale 1:100,000. National Iranian Oil Company.
- Ramezani, J. and Tucker, R.D., 2003. The Saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *American Journal of Science*, 7(303): 622–665.
- Robb, L., 2005. *Introduction to Ore-Forming Processes*. Black Well Publishing Company, UK, 373 pp.
- Sabzei, M., 1986. The end of the legend's subduction, subduction specific examples of potential fracture zone of the Zagros. 4th Meeting of Earth Sciences, State Geological Survey, Tehran, Iran.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonic of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52(7): 1229–1258.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming

-
- minerals. *American Mineralogist*, 88(95): 185–187.
- Winchester, J.A. and Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20(4): 325–343.



Petrography, mineralization and mineral explorations in the Zendan salt dome (Hara), Bandar Lengeh

Habib Biabangard^{1*}, Farooq Alian¹ and Marziyeh Bazamad²

1) Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2) Department of Geology, Faculty of Science, University of payame noor, Bandar Abbas, Iran

Submitted: Mar. 12, 2015

Accepted: Jan. 16, 2017

Keywords: Zendan salt dome, Hormuz Formation, Iron and copper mineralization, Bandar-lengeh

Introduction

The Zendan salt dome is located at 80 Km north of Bandar-Lengeh and 110 Km west of Bandar-Khamir cities in the Hormozgan province. Based on the structural geology of Iran, the Zendan salt dome is placed in the southeastern part of the Zagros zone (Stocklin, 1968). Important units in this area are Hormuz, Mishan, Aghajari and Bakhtiari formations with the Precambrian age (Alian and Bazamad, 2014). The Hormuz formation with the four members of H1, H2, H3, and H4 is the oldest formation (Ahmadzadeh Heravi et al., 1991). Basalt and diabase rocks are mostly rocks that are exposed in the Zendan salt dome. Magnetite and hematite iron mineralization happened in all the building rocks of salt dome, and is not a uniform mineralization. Iron mineralization contains hematite, spicularite, magnetite, goethite, and iron hydroxides. Magnetite-hematite-oligist layers (red soil) are the most iron mineralization in the Zendan salt dome, which are usually broken and scattered with gypsum layers (mostly anhydrite), respectively. Another form of iron mineralization is a mixture of hematite and magnetite (about 10 to 15%) in diabase rocks. Copper mineralization consists of pyrite and chalcopyrite minerals that are mostly in tuff and shale units. The presence of low immobile trace elements in the Zendan salt dome and type of alteration shows that maybe the origin of this iron is deposited from brine fluid. Therefore, this deposit can be classified into VMS deposits.

Materials and methods

We have taken 60 samples rocks from the Zendan salt dome, and then prepared 20 thin and polished sections. Petrographic studies were done and 9 samples were selected for analysis. These samples were sent to the Zarzma laboratory and the amount of FeO was determined by the wet chemical method and other amounts of oxides were determined by XRF. Six samples were analyzed for determining the major elements with the XRF method in the Binalood laboratory. Nine samples from vines mineralization were sent to the Zarzma laboratory and were analyzed with Inductively Coupled Plasma (ICP-OES). Two samples of igneous rocks were analyzed for determining major, minor and trace elements with ICP in Zarzma laboratory.

Discussion

Magmatic and evaporate fluids are sources of hydrothermal iron mineralization (Barton and Johnson, 2004). Sodic-calcic, semi sub deep pottasic, low silicific and sericitic alterations are related to magmatic fluids (Barton and Johnson, 2004). In the Zendan salt dome it seems that plutonic rocks prepared the source of temperature and made brine liquids evaporate and then moved the metals. Sodic alteration is one of the frequency alterations in the hydrothermal iron deposits related to high brain liquids (Arencibia and Clark, 1996). Immobile elements such as Ni, P and V show a high amount of magmatic iron deposit (Nystrom and Henriquize, 1994). There is a

*Corresponding authors Email: h.biabangard@science.usb.ac.ir

significant relationship between the amount of Fe and the frequency elements. With an increase in the Fe content, the amount of TiO₂, K₂O, SiO₂ and Al₂O₃ oxides decrease and the amounts of Ni and Cr₂O₃ increase. Low immobile elements' contents and alteration type in the Zendan salt dome show the iron mineralization effect of brines fluids. On the other hand, this deposit can be classified into VMS deposits.

Results

Iron mineralization in Zendan salt dome is often magnetite, hematite, pyrite and chalcopyrite. Iron mineralization in the Zendan salt dome consists mostly of hematite, limonite and oligist (red soil) layers. They are usually found as scattered discontinuous layers and are alternated with gypsum layers. Hematite is the most abundant and dominant. There is a significant relationship between the amount of Fe and frequency elements. With increasing the Fe content, the amounts of TiO₂, K₂O, SiO₂ and Al₂O₃ oxides decrease and the amounts of Ni and Cr₂O₃ increase. Low immobile elements' contents and alteration type in the Zendan salt dome shows the iron mineralization effect on brines fluids. On the other hand, this deposit can be classified into the VMS deposits.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Ashrafpour, Hagheghe and all miners.

References

- Ahmadzadeh Heravi, M., Houshmandzadeh, A. and Nabavi, M.H., 1991. New concepts of Hormuz formations, stratigraphy and the problem of salt diapirism in south of Iran. *International Journal of Geosciences*, 3(7):1–22.
- Alian, F. and Bazamad, M., 2014. Petrography of Zendan salt dome (Hara), Bandar Lengeh. 6th Symposium of Iranian society of Economic Geology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.
- Arencibia, O.N. and Clark, A.H., 1996. Early magnetite-amphibole-plagioclase alteration-mineralization in the Island copper porphyry copper-gold-molybdenum deposit, British Columbia. *Economic Geology*, 93(2): 402–438.
- Barton, M.D. and Johnson, D.A., 2004. Footprints of Fe oxide (Cu-Au) systems. Geological Survey of Western Australia, University of Western Australia, Report 33, 116 pp.
- Nystrom, J.O. and Henriquiz, F., 1994. Magmatic features of iron ore of Kiruna type in Chile and Sweden. *Economic Geology*, 89(4): 820–839.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonic of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52(7): 1229–1258.