

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین
رشته زمین‌شناسی گرایش اقتصادی
پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

زمین‌شناسی اقتصادی و ژئوشیمی واحد H4 سری هرمز، جزیره هرمز

نگارش:

عاطفه فخری دودوئی

استاد راهنما:

دکتر مسعود علیپور اصل

شهریور

۱۳۹۷

شماره: ۱۳۰۵۷
تاریخ: ۱۷/۷/۱

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم عامله فخری با شماره دانشجویی ۹۴۱۳۱۵۴ رشته زمین شناسی، گرایش پتروژئولوژی و زمین شناسی اقتصادی، تحت عنوان "زمین شناسی اقتصادی و ژئوشیمی لایه H4 سری هرمز، جزیره هرمز" که در تاریخ ۹۷/۰۶/۲۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی) <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> مردود			
نوع تحقیق: نظری <input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/>			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر مسعود علی پور اصل	استادیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر عزیز الله طاهری	استاد	
۴- استاد مستحق اول	دکتر محمود صادقیان	دانشیار	
۵- استاد مستحق دوم	دکتر فردین موسیوند	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پروین اشیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۱۷/۷/۱

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).





تقدیم به:

گوهران در حشان زندگی ام

پدر و مادر عزیز و گرانقدرم،

که با خلوص و عشقی غیر قابل وصف

در راه تحصیلم همراه و پشتیبانم بوده اند.

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس بیکران خداوند سبحان را که چون همیشه بر بنده خویش منت نهاد و توانایی و توفیق تحقیق در گوشه‌ای از میهن عزیز را بر او عنایت فرمود. در انجام این تحقیق خود را مدیون زحمات و مساعدتهای عزیزان بسیاری میدانم که مینتردید بدون یاری و همکاری ایشان، امکان به نتیجه رسیدن آن وجود نمیداشت.

در اینجا بر خود لازم میدانم که زحمتشان را ارج نهاده و صمیمانه از همه آنان تشکر نمایم:

استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر مسعود علیپور اصل که راهنمایی این تحقیق را بر عهده داشتند. بزرگواری که با پشتکار و تلاش زاید الوصف، دلسوزانه و با خلوص نیت، برای این مهم زحمت بسیاری کشیدند و در تمام طول تحصیل از راهنماییهای ارزنده و یاریهای ایشان بهره‌مند شدم. دقت و تیزبینی ایشان، نقش غیر قابل انکاری در هرچه پربارتر شدن پایان‌نامه داشته است. سپاسگذاری از آن استاد عالی‌قدر را بر خود واجب میدانم سخن آخر آنکه، عزت نزد خداوند است. سپاس بیکران، آن یاری دهنده متعال را سزاست که ما را راهپوی مسیری قرار داده تا بتوانیم سهمی کوچک در راه اعتلای میهن عزیزمان، ایران، داشته باشیم. در نهایت از اساتید محترم جناب آقای دکتر رستمی، مهندس بواسی، مهندس صفری و بهکلاسی‌های عزیزم آقای مهندس اوج هرمزی و خانم مهندس نظری، مهندس جداوی که در بازدیدهای صحرایی از بیچ‌کلی دینغ تموده‌اند نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **عاطفه فخری دودوئی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زمین‌شناسی اقتصادی** دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **زمین‌شناسی اقتصادی و ژئوشیمی واحد H4 سری هرمز، جزیره هرمز** تحت راهنمایی **دکترمسعود علی‌پور اصل** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایان‌های، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

منطقه مورد مطالعه در استان هرمزگان و در پهنه زاگرس چین خورده واقع است و بخشی از سری هرمز می باشد. واحدهای سنگی منطقه شامل سری هرمز متشکل از توالی گدازه و توفهای ریولیتی تا ریوداسیتی، شیل توفی، کریستال توف، شیل، ماسه سنگ، واحدهای غنی از آهن و آهن-آپاتیت و تبخیری ها (پرکامبرین بالایی - کامبرین پایینی) و توالی ماسه سنگ، مارن، مارن ماسه ای و آهک ماسه ای سازند آقاجاری (میوسن) می باشد. مطالعات صحرایی، سنگ شناسی و کانی شناسی وجود دگرسانی های آرژلیک، سیلیسی، سریسیتی، کربناتی و اکسید آهنی را نشان می دهند. کانه ها شامل مگنتیت، اولیژیست، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و آپاتیت بوده و باطله ها شامل کوارتز، کلسیت، مسکوویت، ژاسپیلیت، انیدریت، ژیپس و هالیت می باشد. مهمترین ساخت و بافت کانه زایی به شکل های نواری، توده ای، دایک، رگه-رگچه ای، انتشاری و برشی مشاهده می گردد. براساس مطالعات زمین شیمیایی، سنگ های آذرین منطقه بیشتر از نوع فلسیک بوده و دارای ماهیت کالک آلکالن تا کالک آلکالن درجه بالا و شوشونیتی و از نوع متآلومین هستند، و از نظر موقعیت زمین ساختی در حوضه های ریفتی واقع در حاشیه فعال قاره گندوانا قرار می گیرند. کانه زایی آهن به دو صورت در این منطقه مشاهده می-گردد، در حالت اول اکسیدهای آهن (اولیژیست و هماتیت) بصورت نوارهای متناوب با سیلیس های آهن دار (ژاسپیلیت) در شیل های توفی وجود دارد، که بیانگر رسوبی بودن آن ها می باشد. در حالت دوم کانه های آهن به همراه آپاتیت بصورت های توده ای، دایک، رگه-رگچه ای و انتشاری در سنگ های ریوداسیتی و شیلی-توفی وجود دارند که حکایت از منشا ماگمایی-گرمابی آن ها می باشد. در کانه-زایی حالت دوم بسته به درصد اکسیدهای آهن و آپاتیت می توان کانی سازی را در قالب ۳ نوع کانسنگ آپاتیت-مگنتیت، مگنتیت-آپاتیت و آپاتیت تقسیم کرد که عیار عناصر کمیاب در کانسنگ نوع آپاتیتی قابل توجه (حدود ۳ درصد) می باشد. در الگوی REE بهنجار شده به کندریت، غنی شدگی $LREE > HREE$ ، بی هنجاری منفی مشخص Eu از ویژگی های شاخص کانسنگ های نوع آهن-آپاتیتی منطقه است. الگوی REE بهنجار شده به PAAS در کانسنگ های آهن نواری منطقه، غنی شدگی

LREE>HREE، بی‌هنجاری مثبت مشخص Eu و بی‌هنجاری ضعیف منفی Ce را نشان می‌دهند. در رده‌بندی کانسارهای آهن بر اساس مقادیر عناصر Ni, V, Fe و Ti آهن‌های نواری منطقه هرمز در محدوده کانسارهای BIF قرار می‌گیرند. بررسی‌های میانبارهای سیال بر روی آپاتیت از کانسنگ‌های آهن - آپاتیت منطقه درجه حرارت همگن‌شدگی ۳۱۲/۷ تا ۵۶۵ (میانگین °C ۴۰۸/۸۲) و شوری ۸۷/۱۴ تا ۳۳/۸۷ میانگین ۲۲/۹۸ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهد. بر اساس دمای همگن‌شدن و شوری سیالات، کانی‌سازی آپاتیت در فشار ۲۰۰ تا ۷۰۰ بار قرار و دامنه عمقی ۱ کیلومتر تا ۲ کیلومتر، متوسط (۱/۵ کیلومتر) رخ داده است. بررسی‌های میانبارهای سیال بر روی کوارتز از کانسنگ‌های آهن‌نواری درجه حرارت همگن‌شدگی ۱۸۰/۷ تا ۳۶۹/۸ (میانگین °C ۲۵۹) و شوری ۲/۲۴ تا ۱۲/۸۵ (میانگین ۶/۵۵) درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهد. در نهایت بر اساس شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمیایی و حرارت‌سنجی میانبارهای سیال، کانسنگ‌های آهن‌نواری منطقه بیشترین شباهت را به کانسنگ‌های آهن‌نواری نوع آگوما و کانسنگ‌های آهن - آپاتیت مشابه کانسنگ‌های نوع کایرونا می‌باشند.

کلمات کلیدی: کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، میانبارسیال، کانی‌سازی آهن نواری، کانی‌سازی آهن - آپاتیت ماگمایی، جزیره هرمز.

فهرست مقالات

- اکتشاف و فلززایی آهن، فسفات و عناصر نادر خاکی در جزیره هرمز، کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالورژی و معدن ایران، دانشگاه شهید چمران. اهواز، اسفند ۹۶.
- کانی شناسی، سنگ شناسی، ساخت و بافت کانسار آهن-آپاتیت جنوب غربی جزیره هرمز، سی و ششمین گردهمایی و سومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین. تهران، اسفند ۹۶.

فهرست مطالب

فصل اول:	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه	۳
۳-۱- وضعیت آب و هوایی منطقه مورد مطالعه	۴
۴-۱- پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه	۴
۵-۱- وضعیت معیشتی منطقه مورد مطالعه	۵
۶-۱- زمین‌ریخت‌شناسی	۵
۷-۱- پیشینه مطالعات در جزیره هرمز	۷
۸-۱- مطالعات انجام گرفته در ایران (هم تپ کانسار آهن-آپاتیت هرمز)	۱۱
۹-۱- طرح مسئله و هدف از انجام مطالعه	۱۳
۱۰-۱- روش مطالعه	۱۴
فصل دوم:	۱۷
۱-۲- مقدمه	۱۸
۲-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای	۱۸
۱-۲-۲- فعالیت ماگمایی زاگرس چین‌خورده	۲۱
۲-۲-۲- توان اقتصادی زاگرس چین‌خورده	۲۱
۳-۲-۲- تکتونیک زاگرس چین‌خورده	۲۲
۳-۲- گنبد نمکی هرمز	۲۳
۱-۳-۲- زمین‌شناسی سری هرمز	۲۴
۲-۳-۲- چینه‌شناسی هرمز	۲۶
۱-۲-۳-۲- پروتروزوئیک و پالتوزوئیک	۲۹
۲-۲-۳-۲- سنوزوئیک	۲۹

۳۱	..... پلیوکواترنر ۳-۲-۳-۲
۳۷	..... تکتونیک هرمز ۳-۳-۲
۳۹	..... زمین‌شناسی اقتصادی هرمز ۴-۳-۲
۴۲	..... زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۴-۲
۴۳	..... واحد پرکامبرین پسین-پالئوزویک زیرین ۱-۴-۲
۴۳	..... واحد تبخیری: ۱-۱-۴-۲
۴۴	..... واحد آتشفشانی ۲-۱-۴-۲
۴۵	..... واحد آتشفشانی - رسوبی ۲-۱-۴-۲
۴۸	..... واحدهای سنوزوئیک ۲-۴-۲
۴۸	..... ماسه‌سنگ و مارن ماسه‌ای ۱-۲-۴-۲
۴۹	..... آهک ماسه‌ای ۲-۲-۴-۲
۴۹	..... زمین‌شناسی ساختمانی منطقه: ۳-۴-۲
۵۱	..... فصل سوم:
۵۲	..... مقدمه ۱-۳
۵۴	..... واحدهای آتشفشانی ۲-۳
۵۴	..... ریولیت ۱-۲-۳
۵۴	..... ریوداسیت ۲-۲-۳
۵۵	..... واحدهای آذرآواری ۳-۳
۵۵	..... توف ریولیتی-ریوداسیتی ۱-۳-۳
۵۶	..... کریستال توف ۲-۳-۳
۵۷	..... شیل توفی ۳-۳-۳
۵۷	..... واحد رسوبی ۴-۳
۵۸	..... سنگ آهک ماسه‌ای ۱-۴-۳
۵۸	..... مارن ماسه‌ای ۲-۴-۳

۵۹	فصل چهارم:
۶۰	۱-۴- مقدمه
۶۰	۲-۴- کانزایی در منطقه مورد مطالعه
۶۱	۱-۲-۴- کانزایی نواری
۶۱	۲-۲-۴- کانزایی دایک
۶۲	۳-۲-۴- کانزایی توده‌ای
۶۳	۴-۲-۴- کانزایی رگه- رگچه‌ای
۶۴	۵-۲-۴- کانزایی برشی
۶۵	۳-۴- دگرسانی
۶۶	۱-۳-۴- دگرسانی آرژیلیک
۶۸	۲-۳-۴- دگرسانی سیلیسی
۶۹	۳-۳-۴- دگرسانی کربناتی
۷۰	۴-۳-۴- دگرسانی سریسیتی
۷۱	۵-۳-۴- دگرسانی اکسیدهای آهن
۷۵	فصل پنجم:
۷۶	۱-۵- مقدمه
۷۶	۲-۵- کانی‌شناسی کانی‌های معدنی (کانه‌ها)
۷۷	۱-۲-۵- کانی‌سازی آهن نواری (رسوبی-آتشفشانی)
۷۷	۱-۱-۲-۵- اولیژیست و هماتیت
۷۸	۲-۱-۲-۵- گوتیت و لیمونیت
۷۹	۲-۲-۵- کانی‌سازی آهن-آپاتیت (ماگمایی-گرماپی)
۷۹	۱-۲-۲-۵- مگنتیت
۷۹	۲-۲-۲-۵- آپاتیت

۸۱	..... ۵-۲-۲-۳- اولیژیست
۸۱	..... ۵-۲-۲-۴- هماتیت، گوتیت و لیمونیت
۸۲	..... ۵-۳-۳- کانی‌های باطله
۸۲	..... ۵-۳-۱- کوارتز
۸۳	..... ۵-۳-۲- کلسیت
۸۴	..... ۵-۳-۳- ژاسپیلیت
۸۴	..... ۵-۳-۴- مسکویت
۸۵	..... ۵-۳-۵- انیدریت، ژیپس و هالیت
۸۶	..... ۵-۴-۴- ساخت و بافت مواد معدنی
۸۷	..... ۵-۴-۱- ساخت و بافت نواری
۸۷	..... ۵-۴-۲- ساخت برشی
۸۸	..... ۵-۴-۳- ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای
۸۹	..... ۵-۴-۴- بافت پرکننده فضای بین قطعات
۸۹	..... ۵-۴-۵- ساخت و بافت توده‌ای
۹۰	..... ۵-۴-۶- بافت دانه پراکنده
۹۱	..... ۵-۵-۵- توالی پاراژنزی کانسارهای آهن و آهن- آپاتیت جزیره هرمز
۹۱	..... ۵-۵-۱- توالی پاراژنزی آهن نواری
۹۲	..... ۵-۵-۲- توالی پاراژنزی آهن - آپاتیت ماگمایی
۹۵	..... فصل ششم:
۹۶	..... ۶-۱- مقدمه
۹۷	..... ۶-۲- زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین
۹۹	..... ۶-۲-۱- نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه بر اساس عناصر اصلی
۱۰۰	..... ۶-۲-۲- تعیین سری ماگمایی براساس عناصر اصلی
۱۰۱	..... ۶-۲-۳- موقعیت تکتونیکی محل تشکیل سنگ‌ها
۱۰۲	..... ۶-۲-۴- بررسی میزان آلومینیم در تعیین نوع سنگ‌های آذرین

۱۰۳	۶-۲-۵- الگوی بهنجار شده عناصر خاکی کمیاب به کندریت و گوشته‌اولیه
۱۰۵	۶-۳- زمین‌شیمی کانسنگ‌های منطقه
۱۰۷	۶-۳-۱- زمین‌شیمی کانسنگ‌های آهن نواری
۱۱۳	۶-۳-۲- زمین‌شیمی کانسنگ‌های آهن- آپاتیت
۱۱۹	فصل هفتم
۱۲۰	۷-۱- مقدمه
۱۲۰	۷-۲- منشا میانبارهای سیال
۱۲۱	۷-۳- به تله افتادن میانبارهای سیال (Trap)
۱۲۳	۷-۴- طبقه‌بندی میانبارهای سیال
۱۲۵	۷-۵- موارد کاربرد مطالعات میانبارهای سیال
۱۲۷	۷-۶- نمونه برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها، روش کار و ویژگی‌های دستگاه
۱۲۹	۷-۷- سنگ‌شناسی میانبارهای سیال
۱۳۰	۷-۷-۱- سنگ‌شناسی میانبارهای سیال در کانی آپاتیت
۱۳۲	۷-۷-۲- سنگ‌شناسی میانبارهای سیال در کانی کوارتز
۱۳۳	۷-۸- حرارت‌سنجی میانبارهای سیال
۱۳۳	۷-۸-۱- گرمایش
۱۳۴	۷-۸-۲- سرمایش
۱۳۶	۷-۸-۳- تغییرات چگالی و تکامل سیال کانه‌دار با استفاده از نمودار خطوط هم چگال
۱۳۸	۷-۸-۴- عمق
۱۳۹	۷-۸-۵- تعیین منشأ سیالات مولد کانه ساز در کانه‌زایی آهن- آپاتیت
۱۴۱	۷-۸-۶- تعیین نوع کمپلکس‌های احتمالی
۱۴۲	۷-۸-۷- مقایسه ویژگی‌های میانبارهای سیال منطقه هرمز با دیگر کانسارهای مگنتیت- آپاتیت
۱۴۵	فصل هشتم:
۱۴۶	۸-۱- مقدمه
۱۴۶	۸-۲- ویژگی‌های مهم کانی‌زایی‌های منطقه مورد مطالعه

- ۱-۲-۸- کانی‌زایی‌های آهن‌نواری منطقه ۱۴۶
- ۲-۲-۸- کانه‌زایی آهن-آپاتیت منطقه ۱۴۹
- ۳-۸- ویژگی‌های کلی کنسارهای آهن‌نواری و کنسارهای آهن-آپاتیت ماگمایی-گرمابی ۱۵۱
- ۱-۳-۸- کنسارهای آهن‌نواری ۱۵۱
- ۲-۳-۸- کنسارهای آهن-آپاتیت ماگمایی-گرمابی ۱۵۵
- ۴-۸- ارائه مدل ژنتیکی برای کنسار اکسید آهن-آپاتیت جزیره هرمز ۱۵۸
- ۵-۸- پیشنهادها ۱۶۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۳
- شکل ۲-۱: نمایی از پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه با دید به سمت جنوب ۵
- شکل ۳-۱ (الف): سواحل پرتگاهی و صخره‌ای جنوب‌غرب جزیره هرمز؛ (ب) سواحل مسطح شرق جزیره؛ (پ) نواحی مسطح دشتی در نزدیکی شهر در شمال جزیره؛ (ت) ارتفاعات نمکی مرکز جزیره؛ (ث) قله توف‌های ریولیتی کلاه‌رستم؛ (ج) تشکیل غار نمکی در اثر آب‌های فرورونده؛ (چ) تشکیل حفرات بزرگ در اثر انحلال و استخراج نمک در جزیره هرمز ۷
- شکل ۱-۲: شکل ۱-۲ (الف): موقعیت منطقه مورد مطالعه (جزیره هرمز) بر روی نقشه پهنه‌های زمین-ساختی ایران (آقانباتی، ۱۳۸۵) که محدوده با ستاره مشخص گردیده است. (ب) تصویری از محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰ بندرعباس ۱۸
- شکل ۲-۲ (الف): چین‌خوردگی حاصل از حرکات نمکی یا فعالیت‌های تکتونیکی در نمک‌های جزیره هرمز؛ (ب) ایجاد ساخت‌های زیبا به دلیل انحلال لایه‌های حاوی ناخالصی نمک؛ (پ) وجود میان‌لایه‌های نازکی از کانی‌های آهن‌دار در نمک‌های جزیره هرمز؛ (ت) قطعاتی از سنگ‌های گردشده آواری و بیگانه در بین لایه‌های نمک ۲۹
- شکل ۳-۲: تصاویر صحرایی از منطقه‌ی مورد مطالعه ۳۱
- شکل ۴-۲ (الف): تشکیل پادگانه‌های آبرفتی نسبتاً قدیمی در شمال جزیره؛ (ب) تشکیل طبقات ژپس در پی فرایند تبخیر در گودال‌های این پادگانه‌ها؛ (پ و ت) تشکیل بلورهای سوزنی ژپس در شمال

- جزیره هرمز؛ ث) ماسه های بادی به رنگ زرد تا کرم در جنوب جزیره؛ ج و چ) تشکیل رسوبات آبرفتی رودخانه ای در کنار رودهای فصلی..... ۳۴
- شکل ۲-۵: الف و ب) تشکیل نهشته های باتلاقی در شمال شرق و غرب جزیره؛ پ و ت) تشکیل نهشته های زون جزرو مدی در سواحل شمالی جزیره هرمز؛ ث و ج) پراکندگی پولک های نقره ای و ریز اولیژیست در سواحل جنوبی جزیره هرمز؛ ج) پراکندگی اوکر در ساحل جنوبی جزیره هرمز..... ۳۶
- شکل ۲-۶: الف) نقشه ۱/۲۵۰۰۰ جزیره هرمز که در آن موقعیت گسل ها و جهت شیب و امتداد سنگ ها نمایش داده شده است؛ ب) ساختار قارچی شکل در گنبد نمکی هرمز و محل استقرار لایه های حاوی پتاس در محور چین های دو سمت دیپایر (برگرفته از تالبوت و همکاران، ۲۰۰۸)؛ پ) نتایج حاصل از مطالعات سایز میک در نزدیکی سواحل قطر در خلیج فارس (برگرفته از پروتی و همکاران، ۲۰۱۱)؛ ت) تصویر سایز میک گنبد نمکی جبل ظنا در سواحل خلیج فارس امارات متحده عربی (برگرفته از توماس و همکاران، ۲۰۱۵)..... ۳۸
- شکل ۲-۷: معدن خاک سرخ در جنوب جزیره هرمز و کارخانه فرآوری خاک سرخ در شمال شرق هرمز ۴۱
- شکل ۲-۸: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۴۲
- شکل ۲-۹: تصویر صحرایی از تناوب لایه های گدازه ای، آذرآواری، تبخیری و رسوبی در منطقه ۴۳
- شکل ۲-۱۰: نمایی از واحد تبخیری (دید به سمت جنوب غرب)..... ۴۴
- شکل ۲-۱۱: تصاویر صحرایی؛ الف) واحد ریولیتی (دید به سمت جنوب)، ب) واحد ریوداسیتی..... ۴۵
- شکل ۲-۱۲: تصاویر صحرایی از واحد توف ریولیتی تا ریوداسیتی..... ۴۷
- شکل ۲-۱۳: تصاویر صحرایی از واحد شیل کربناته و دایک مگنتیتی ۴۸
- شکل ۲-۱۴: تصاویر صحرایی؛ الف) تناوبی از مارن ماسه ای و ماسه سنگ (دید به سمت شمال)، ب) نمایی نزدیک از کانه زایی آهک ماسه ای، پ) تناوبی از باندهای ژاسپیلیت به همراه آهک ماسه ای..... ۴۹
- شکل ۲-۱۵: نقشه تکتونیک منطقه مورد مطالعه..... ۵۰
- شکل ۳-۱: موقعیت نقاط نمونه برداری بر روی تصویر (Google earth) جنوب غرب جزیره هرمز..... ۵۳

- شکل ۳-۲: الف و پ) تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی از نمونه ریولیت و ریوداسیت..... ۵۵
- شکل ۳-۳: تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از توف‌های ریولیتی تا ریوداسیتی..... ۵۶
- شکل ۳-۴: الف و ب) تصاویر صحرایی کریستال توف، پ) تصویر نمونه دستی همراه با رگه رگچه‌هایی از کانه زایی الیسیت، ت) کانه زایی اولیژیست بصورت رگه رگچه در بین درز و شکاف‌های سنگ، این رگه‌ها در تصویر میکروسکوپی نیز مشهود است. ت) رگه‌های اکسید آهن و رگچه‌های کوارتز در زمینه کوارتزی..... ۵۷
- شکل ۳-۵: تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی از واحد رسوبی مارن ماسه‌ای و سنگ‌آهک ماسه‌ای، ب- تصویر میکروسکوپی از آهک ماسه‌ای همراه با رگه‌های اکسید آهن ت- تصویر میکروسکوپی مارن- ماسه‌ای و نمایش فسیل نئوروتالیا و نومولیت..... ۵۸
- شکل ۴-۱: تصاویر صحرایی کانه‌زایی نواری در منطقه و تناوبی از باندهای آهن..... ۶۱
- شکل ۴-۲: الف) تصویری از نمای نزدیک شامل رخداد کانه‌زایی مگنتیت- آپاتیت در منطقه، ب و پ) تصاویری از کانه‌زایی مگنتیت- آپاتیت در منطقه که بصورت دایک رخ داده است..... ۶۲
- شکل ۴-۳: تصاویر صحرایی الف) کانه‌زایی توده‌ایی آپاتیت در بخش ریوداسیتی، ب) کانه‌زایی توده‌ایی آپاتیت در بخش توف‌شیلی..... ۶۳
- شکل ۴-۴: کانه‌زایی رگه-رگچه اولیژیست..... ۶۴
- شکل ۴-۵: الف و ب) تصاویر صحرایی و نمونه دستی از کانه‌زایی برشی در منطقه..... ۶۴
- شکل ۴-۶: الف) نمایی از دگرسانی آرژلیک در منطقه، ب و پ) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی آرژلیک. پلاژیوکلازها به شدت آرژلیکی و سریسیتی شده‌اند. PI: پلاژیوکلاز..... ۶۷
- شکل ۴-۷: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده..... ۶۸
- شکل ۴-۸: الف) تصویر نمونه دستی از توف ریولیتی حاوی فنوکریست‌های ریز کوارتز حاصل از دگرسانی سیلیسی ب و پ) تصاویر میکروسکوپی از رگه-رگچه و ذرات پراکنده کوارتز حاصل از دگرسانی سیلیسی. Qz: کوارتز Fe-Oxide: اکسید آهن..... ۶۹
- شکل ۴-۹: نمایی از دگرسانی کربناتی در منطقه..... ۷۰
- شکل ۴-۱۰: تصاویر میکروسکوپی از دگرسان شدن پلاژیوکلازها به سریسیت..... ۷۱
- شکل ۴-۱۱: تصویر صحرایی از دگرسانی هیدروکسیدهای آهن موجود در منطقه..... ۷۲

- شکل ۴-۱۲: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده..... ۷۳
- شکل ۵-۱: تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از کانه‌زایی هماتیت..... ۷۷
- شکل ۵-۲: الف) تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از نهشته‌های لیمونیت حاصل از فرایندهای سوپرژن..... ۷۸
- شکل ۵-۳: تصاویر میکروسکوپی از انواع نسل‌های مگنتیت..... ۷۹
- شکل ۵-۴: تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی از کانسنگ آهن-آپاتیت..... ۸۰
- شکل ۵-۵: الف) تصاویر صحرایی و نمونه دستی از انواع اشکال حضور کانه‌زایی توده‌ای اولیژیست..... ۸۱
- شکل ۵-۶: تصویر میکروسکوپی از کانه‌های هماتیت، گوتیت و لیمونیت در بخش کانه‌زایی آهن-آپاتیت..... ۸۲
- شکل ۵-۷: تصاویر میکروسکوپی از انواع اشکال حضور کوارتز در سنگ‌های منطقه..... ۸۳
- شکل ۵-۸: تصاویر صحرایی از انواع اشکال حضور کلسیت در منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۸۳
- شکل ۵-۹: الف) تصویر نمونه دستی از نوارهای ژاسپیلیت، ب) تصویر میکروسکوپی ژاسپیلیت..... ۸۴
- شکل ۵-۱۰: تصویر میکروسکوپی از کانی موسکوویت به همراه کانه‌زایی آهن-آپاتیت: Mus..... ۸۵
- شکل ۵-۱۱: تصویر صحرایی از کانی‌های تبخیری به صورت ژپس، انیدریت و هالیت..... ۸۶
- شکل ۵-۱۲: الف) تصویر نمونه دستی از ساخت نوری، ب) تصویر میکروسکوپی از بافت نوری..... ۸۷
- شکل ۵-۱۳: الف و ب) تصاویر صحرایی و نمونه دستی از کانه‌زایی برشی در منطقه..... ۸۸
- شکل ۵-۱۴: الف) تصویر صحرایی از ساخت رگه‌ای اولیژیست، تصاویر میکروسکوپی؛ ب) شکل‌گیری گوتیت و لیمونیت بصورت رگه، پ) بافت رگه‌ای هماتیت. Oly vein: رگه اولیژیست، He vein: رگه هماتیت، Gth: گوتیت، Lm: لیمونیت..... ۸۸

- شکل ۵-۱۵: تصویر میکروسکوپی از بافت پرکننده فضای بین قطعات. Apa vein: رگه آپاتیت..... ۸۹
- شکل ۵-۱۶: تصاویر صحرایی؛ الف) کان‌زایی آپاتیت دارای ساخت توده‌ایی، ب) کان‌زایی آپاتیت دارای ساخت دایک‌مانند در منطقه..... ۹۰
- شکل ۵-۱۷: تصاویر میکروسکوپی؛ الف) کان‌زایی مگنتیت دارای بافت دانه‌پراکنده با میزبان توف، ب) کان‌زایی آپاتیت دارای بافت دانه‌پراکنده با میزبان توف‌های ریوداسیتی در منطقه..... ۹۱
- شکل ۶-۱: موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار (TAS Le Bas et al 1986)..... ۹۹
- شکل ۶-۲: موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار (Winchester and Floyd 1977)..... ۱۰۰
- شکل ۶-۳: موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار (Hastie et al., 2007)..... ۱۰۱
- شکل ۶-۴: نمودار خاستگاه زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه..... ۱۰۲
- شکل ۶-۵: نمودار $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}$ (Molar) برای تعیین درجه اشباع‌شدگی ماگما از آلومینیم..... ۱۰۳
- شکل ۶-۶: نمودار عناصر خاکی کمیاب نرمالیز شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه..... ۱۰۵
- شکل ۶-۷: جرمی نمودار متمایزکننده نسبت $\text{AL}/(\text{AL} + \text{Fe} + \text{Mn})$ در مقابل (Bostrom, 1973) Fe/Ti ۱۰۸
- شکل ۶-۸: موقعیت قرارگیری نمونه‌های کانسنگ نواری هرمز با استفاده از نمودار تبعیض $(-\text{Al}_2\text{O}_3)$, (Dymek and Klein, 1988), $\text{REE vs. Co} + \text{Ni} + \text{Cu}$ (Wonder et al., 1988) به منظور نمایش منشأ تهنشینی اولیه نمونه‌های BIF جزیره هرمز..... ۱۰۹
- شکل ۶-۹: سهم سیالات گرمایی و آب دریا در تشکیل کانسنگ‌های آهن نواری..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۰: نمودار قرارگیری مقادیر $\text{SN}(\text{Pr}/\text{Pr}^*)$ مقابل $\text{SN}(\text{Ce}/\text{Ce}^*)$ برای تمایز بین آنومالی‌های La و Ce..... ۱۱۱
- شکل ۶-۱۱: نمودارهای عناصر کمیاب و REE کانی‌سازی آهن نواری جزیره هرمز با سایر کانسارها..... ۱۱۲
- شکل ۶-۱۲: الگوی REE نرمالیز شده به مقادیر PAAS در منطقه در مقابل مقادیر PAAS از McLennan (1989) با مقادیر متوسط BIF های جهانی مقایسه شده است..... ۱۱۳

- شکل ۶-۱۳: موقعیت کانی‌های آهن-آپاتیت جزیره هرمز در نمودار تغییرات نسبت Ni/Ti و Ti/Fe در برابر نسبت V/Ti و V/Fe (Frietsch & Perdahl, 1995). ۱۱۴.....
- شکل ۶-۱۴: الف، ب و پ) نمودار فراوانی P در برابر HREE, MREE, LREE، و ت، ث و ج) نمودار فراوانی Fe در برابر P، Ti و REE Σ . ۱۱۵.....
- شکل ۶-۱۵: الگوی عناصر نادر خاکی کمیاب..... ۱۱۷.....
- شکل ۷-۱: طبقه‌بندی میانبارهای سیال بر اساس فازهای داخلی (Nash and Teodor, 1971). ۱۲۵.....
- شکل ۷-۲: تصاویر نمونه دستی از کانسنگ آهن-آپاتیت و آهن نواری دارای سیالات درگیر ۱۲۹.....
- شکل ۷-۳: انواع میانبارهای سیال به همراه اشکال مختلف در نمونه آپاتیت..... ۱۳۱.....
- شکل ۷-۴: انواع میانبارهای سیال به همراه اشکال مختلف در نمونه کوارتز..... ۱۳۳.....
- شکل ۷-۵: هیستوگرام فراوانی دمای همگن‌شدن میانبارهای سیال دوفازی در کانی کوارتز و آپاتیت..... ۱۳۴.....
- شکل ۷-۶: هیستوگرام فراوانی میزان شوری در نمونه کوارتز و آپاتیت..... ۱۳۵.....
- شکل ۷-۷: نمودار (Zhang and Frantz, 1987) محدوده چگالی سیالات کانه‌ساز..... ۱۳۷.....
- شکل ۷-۸: نمودار تعیین فشار- بخار محلول بر حسب دمای همگن‌شدن و شوری..... ۱۳۸.....
- شکل ۷-۹: نمودار دما- فشار- عمق جهت تعیین عمق ۱۳۹.....
- شکل ۷-۱۰: تشخیص نوع سیالات کانی‌ساز با استفاده از میزان شوری در مقابل درجه حرارت یکنواختی ۱۴۰.....
- شکل ۷-۱۱: نمودار شوری در برابر دمای همگن‌شدن میانبارهای سیال کانی‌سازی آپاتیت و کوارتز..... ۱۴۱.....
- شکل ۷-۱۲: نمودار محدوده شوری و دما در کانسارهای مختلف ۱۴۲.....
- شکل ۸-۱: مدل رسوبی سکانسی پیشنهادی برای پیدایش حاشیه واگرایی پروتوپالئوتتیس در شمال گندوانا..... ۱۵۹.....
- شکل ۸-۲: مراحل مختلف تشکیل کانسار آهن‌نواری و آهن-آپاتیت جزیره هرمز..... ۱۶۲.....

فهرست جداول

- جدول ۳-۱: نام و موقعیت نمونه‌های سنگی جمع آوری شده..... ۵۲
- جدول ۵-۱: توالی پاراژنزی کانسارهای آهن نواری جزیره هرمز..... ۹۲
- جدول ۵-۲: توالی پاراژنزی کانسار اکسید آهن - آپاتیت جزیره هرمز..... ۹۳
- جدول ۶-۱: اسامی هر نمونه بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری و علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌های سنگ در تمامی شکل‌ها..... ۹۷
- جدول ۶-۲: مقادیر عناصر فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب (ppm) در نمونه‌های سنگ به روش ICP-OES/MS..... ۹۷
- جدول ۶-۳: مقادیر عناصر فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش ICP-OES/MS..... ۱۰۵
- جدول ۷-۱: مختصات مکانی و ویژگی‌های کانی‌شناسی نمونه‌های انتخاب شده برای مطالعه میانبارهای سیال..... ۱۲۸
- جدول ۷-۲: سنگ‌شناسی و میکروترموتری میانبارهای سیال آپاتیت از کانسنگ‌های آهن - آپاتیت ماگمایی و کوارتز از کانسنگ‌های آهن نواری..... ۱۳۵
- جدول ۷-۳: سنگ‌شناسی و میکروترموتری میانبارهای سیال آپاتیت از کانسنگ‌های آهن - آپاتیت ماگمایی و کوارتز از کانسنگ‌های آهن..... ۱۴۳
- جدول ۸-۱: خصوصیات سه رده آهن نواری آگوما، سوپریور و راپیتان با آهن نواری جزیره هرمز مقایسه شده است..... ۱۵۴
- جدول ۸-۲: مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار آهن نواری جزیره هرمز با سایر کانسارهای آهن نواری تیپ آگوما در جهان..... ۱۵۵
- جدول ۸-۳: ویژگی‌های اصلی کانسارهای مگنتیت - آپاتیت منطقه‌ی مورد مطالعه با کانسارهای مگنتیت - آپاتیت تیپ کایرونا مقایسه شده است..... ۱۵۶
- جدول ۸-۴: مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار مگنتیت - آپاتیت جزیره هرمز با کانسارهای آهن آپاتیت تیپ کایرونا در ایران..... ۱۵۷

جدول ۵-۸: مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار مگنتیت- آپاتیت جزیره هرمز با کانسارهای آهن آپاتیت
تیپ کایرونا در جهان.....۱۵۸

فصل اول:

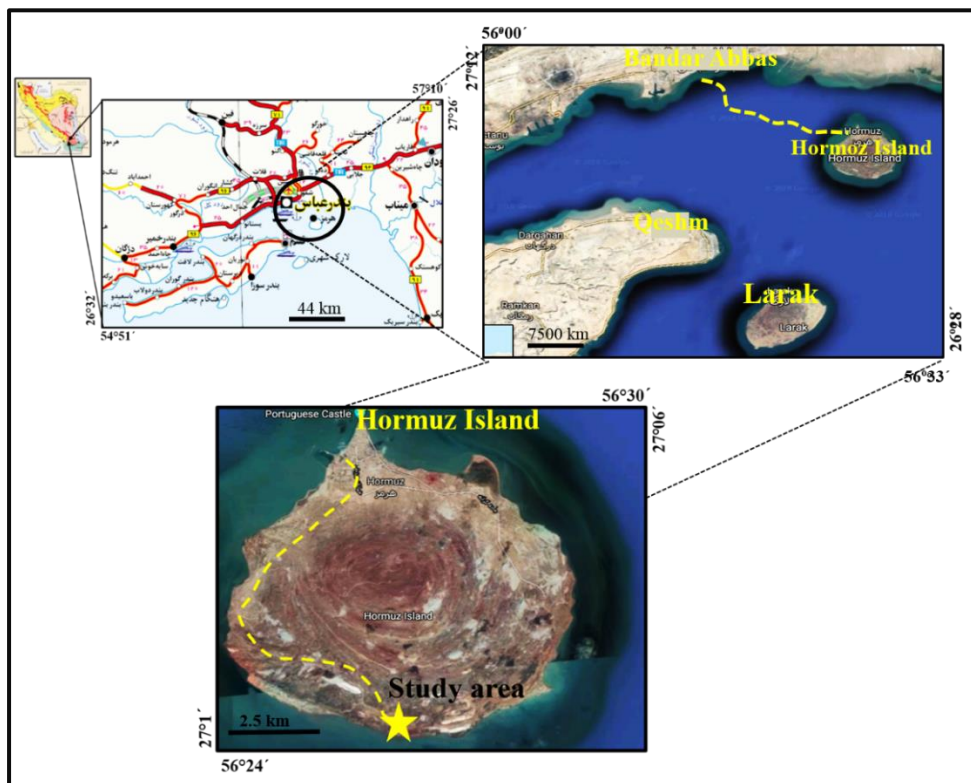
کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه نظر به نقش و جایگاه مواد اولیه معدنی در توسعه اقتصادی کشورها، توجه جدی به بخش معدن امری اجتناب ناپذیر است. کشورهای متعددی از جمله استرالیا، کانادا، آفریقای جنوبی اقتصاد خود را بر پایه اقتصاد مواد معدنی بنا نموده و در این مسیر به پیشرفت‌های چشمگیری دست یافته‌اند. کشور ما ایران نیز با توجه به پتانسیل بالقوه از نظر مواد معدنی می‌تواند از جمله این کشورها باشد. در دنیای امروز، فناوری‌های پیشرفته به شدت نیازمند ذخایر استراتژیک، مانند عناصر نادر خاکی هستند. از سوی دیگر، افزایش قیمت این فناوری‌ها آغاز چالشی است که کشورها را به مبارزه طلبیده است. در این میان کشوری صاحب قدرت است که دارای این عناصر باشد. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و خاستگاه این عناصر، یعنی همراهی با سنگ‌های کربناتیت و کانسارهای آپاتیت با منشا آذرین، مگنتیت‌های آپاتیت‌دار و سنگ‌های قلیایی قوی، وجود منابعی از این‌گونه عناصر در ایران محتمل است و جزیره هرمز از جمله مناطقی است که به علت وجود حجم زیادی از آپاتیت - مگنتیت با منشأ آذرین از پتانسیل بالایی برخوردار است. کانسارهای آهن - آپاتیت یکی از کاربردی‌ترین کانسارها در بین نهشته‌های فلزی می‌باشد، در استان هرمزگان به علت راه ارتباطی دریایی با کشورهای حوزه خلیج فارس، چین و هند و... این اهمیت از درجه بالاتری برخوردار است، گنبد‌های نمکی هرمز یکی از جذابترین مکان‌ها برای پی‌جویی و اکتشاف این دسته از کانسارها با اهداف مطالعه اقتصادی و ژئوشیمی جهت یافتن ذخایر معدنی آهن و فسفر می‌باشد، از ۱۱۴ گنبد نمکی که در استان هرمزگان قرار گرفته‌اند همگی دارای آنومالی‌های آهن هستند که این آنومالی‌ها به دو صورت خاک‌سرخ و توده‌ای مشاهده می‌شوند در این پژوهش برآن شدیم که یکی از این پتانسیل‌ها را در جزیره هرمز به منظور یافتن پتانسیل اقتصادی و تعیین ژنز مورد مطالعه قرار دهیم. در ذخایر آهن که بصورت خاک‌سرخ وجود دارند مطالعات بسیار زیادی صورت گرفته است ولی در بخش ذخیره سنگی مطالعات قابل توجهی مشاهده نمی‌شود با توجه به اینکه این ذخایر بصورت محلی وجود دارند مطالعه مکانی آن‌ها مورد نیاز است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه

از نظر جغرافیایی، منطقه مورد مطالعه بخشی از جزیره هرمز واقع در استان هرمزگان و در فاصله ۸ کیلومتری جنوب بندرعباس به طول‌های جغرافیایی $56^{\circ} 27' 38''$ تا $56^{\circ} 27' 03''$ شرقی و عرض‌های $27^{\circ} 02' 26''$ تا $27^{\circ} 02' 08''$ شمالی در ارتفاع ۵۰ متری از سطح دریا واقع شده است. راه دسترسی به منطقه از شهر هرمز آسفalte می باشد. جزیره هرمز در جنوب شرق به بندرعباس و از شمال شرق به جزایر قشم و لارک واقع شده است و دسترسی به آن تنها از طریق راه آبی از سه منطقه ذکر شده و توسط شناور یا قایق امکان پذیر است. این جزیره یکی از گنبد‌های نمکی رخنمون دار به شکل بیضی با قطر کوچک ۷، قطر بزرگ ۸ کیلومتر و مساحتی در حدود ۴۵ کیلومتر مربع را بوجود آورده است. راه‌های درون جزیره بسیار محدود بوده و مهمترین آن‌ها جاده‌ای است که در پیرامون و به موازات محیط آن احداث شده و نیمی از آن آسفalte و نیمه دیگر خاکی است. دسترسی به قسمت‌های مرکزی نیز تنها از طریق دره‌ها و آبراهه‌ها امکان پذیر است.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.

۱-۳- وضعیت آب و هوایی منطقه مورد مطالعه

جزیره هرمز همانند سایر جزایر و مناطق ساحلی خلیج فارس و بویژه بخش خاوری آن به طرف مکران، از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تاثیر آب و هوای نیمه‌بیابانی و بیابانی قرار دارد. دمای هوا در تابستان‌ها بسیار گرم و مرطوب و گاهی نیز دمای آن از ۵۲ درجه سانتیگراد تجاوز می‌کند. دمای متوسط سالانه این منطقه در حدود ۲۷ درجه سانتیگراد است. از ویژگی‌های آب و هوایی این منطقه یک فصل طولانی گرم و یک فصل کوتاه خنک است. فصل گرم همراه با هوای شرجی ۹ ماه به درازا می‌کشد. فصل تابستان از اوایل اسفندماه شروع می‌شود، هوا رفته‌رفته رو به گرمی می‌رود تا اینکه گرما در تیر و مرداد به اوج خود می‌رسد. فصل خنک آن همراه با خشکی نسبی هوا در حدود ۳ ماه طول می‌کشد. این فصل از اوایل آذر ماه شروع و تحت تأثیر توده‌های هوای خنک غربی قرار می‌گیرد. دمای هوا در سردترین شب‌های سال به ندرت به صفر درجه می‌رسد و در روزهای زمستانی دمای آن معمولاً از ۱۰ درجه سانتیگراد بالای صفر پایین‌تر نمی‌آید. اصولاً آب و هوای این استان مانند آب و هوای نواحی بیابانی است و میزان بارش‌های جوی آن نیز فوق‌العاده اندک می‌باشد. در این منطقه در حدود ۹ ماه از سال بارندگی مهمی صورت نمی‌گیرد متوسط بارندگی سالانه ۱۰۸ میلی‌متر و قسمت عمده بارندگی آن نیز در یک یا دو نوبت به وقوع می‌پیوندد. در همان موارد اندک هم بارندگی آن اغلب مانند باران‌های بهاری سیل‌آسا است و خسارات فراوانی به بار می‌آورد. میزان رطوبت نسبی سالانه جزیره عمدتاً بالا است و بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد نوسان دارد.

۱-۴- پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر پوشش گیاهی فقیر و جزء مناطق با اقلیم حاره‌ای محسوب می‌شود. گیاهان این منطقه منحصر به گیاهانی است که معمولاً در نقاط کم‌آب و خشک می‌رویند و همچنین در مقابل خشکی هوا نیز مقاوم و سخت می‌باشند، این گونه گیاهان، شامل کرت آفریقایی و بوته‌های خشکی پسند و مقاوم به شوری خاک می‌باشند که عمدتاً گیاهان یکساله هستند.



شکل ۱-۲: نمایی از پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه با دید به سمت جنوب.

۱-۵- وضعیت معیشتی منطقه مورد مطالعه

به طور کلی به دلیل آب و هوای گرم منطقه و بارندگی اندک، فعالیت کشاورزی در جزیره رونق ندارد و عمده درآمد مردم از طریق ماهیگیری، صنایع کارخانه‌های، صنایع دستی و معدنی حاصل می‌شود. مهمترین کارخانه‌های جزیره هرمز کارخانه تهیه پودر ماهی، کارخانه تهیه پودر ماهی، کارخانه سنگبری و کارخانه خاک سرخ است. صنایع دستی مردم این منطقه بیشتر سفالگری، حصیربافی و تولید انواع رودوزی‌های سنتی نشأت گرفته از صنایع دستی میناب است.

۱-۶- زمین‌ریخت‌شناسی

قسمت اعظم جزیره هرمز ناهموار است بلندترین نقطه در این جزیره ۲۲۸ متر بالاتر از سطح آب دریا قرار دارد. سواحل جنوبی و غربی حالت پرتگاهی و صخره‌ای دارد و به سمت جنوب‌شرق و شرق از ارتفاع سواحل کاسته می‌شود (شکل ۱-۴، الف و ب). از مرکز جزیره به سمت شمال نیز ارتفاعات کاسته شده به نحوی که قسمت‌های شمالی و منتهی به شهر بیشتر از نواحی مسطح دشتی تشکیل شده است (شکل ۱-۴، پ). نمک‌های رنگارنگ و توف‌های ریولیتی در مرکز جزیره اغلب ارتفاعات را به خود اختصاص داده‌اند و از امتدادی با روند قوسی تبعیت می‌کنند (شکل ۱-۴، ت و ث). به دلیل

حلالیت زیاد قسمت‌های نمکی و قرارگیری آن‌ها در معرض عوامل طبیعی، تشکیل دره‌های عمیق، حفرات، فرورفتگی‌های بزرگ و غار ریخت‌شناسی این منطقه را منحصر به فرد ساخته است (شکل ۴-۱، ج و چ). تمام آبراهه‌ها از مرکز به سمت محیط جزیره سرازیر می‌شوند. از کل مساحت جزیره هرمز ۱۴ کیلومترمربع آن شامل پهنه‌های آبرفتی و واریزه‌های دامنه‌ای و ۳۱ کیلومتر مربع دیگر شامل بخش‌های دیگر سازند هرمز است. درکل جزیره هرمز از نظر مورفولوژی به سه قسمت ناهمواری‌ها، دشت‌ها و سواحل قابل تقسیم است. در تقسیم‌بندی مورفودینامیکی بوساک و همکاران، (۱۹۹۸) گنبدنمکی جزیره هرمز به دلیل داشتن برجستگی مثبت، شبکه آبراهه‌ای حاشیه‌ای، از بین نرفتن سنگ‌های تبخیری روی گنبد و کم بودن اشکال انحلالی و ریزشی در زیر گروه ۱ قرار گرفته است.



شکل ۱-۳: الف) سواحل پرتگاهی و صخره‌ای جنوب غرب جزیره هرمز؛ ب) سواحل مسطح شرق جزیره؛ پ) نواحی مسطح دشتی در نزدیکی شهر در شمال جزیره؛ ت) ارتفاعات نمکی مرکز جزیره؛ ث) قله توف‌های ریولیتی کلاه‌رستم؛ ج) تشکیل غار نمکی در اثر آب‌های فرورونده؛ چ) تشکیل حفرات بزرگ در اثر انحلال و استخراج نمک در جزیره هرمز.

۷-۱- پیشینه مطالعات در جزیره هرمز

سازند هرمز از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان بوده و مطالعات زیادی در این خصوص صورت گرفته است. در اینجا سعی شده تا به طور مختصر به برخی نتایج حاصل از آن‌ها اشاره شود.

- پیلگریم (۱۹۰۸)، اصطلاح سری هرمز را برای نمک و سنگ‌های رسوبی و آذرین همراه آن در گنبد-های نمکی جنوب ایران به کار برد و سن این سنگ‌ها را به بعد از کرتاسه نسبت داد. وی در سال ۱۹۲۴ این واحدها را متعلق به تریاس-ژوراسیک دانسته است.

- هریسون (۱۹۳۰)، آنچه در گنبد‌های نمکی جنوب ایران بر روی نمک قرار دارد یک ردیف نیست، بلکه توده‌ای درهم از واحدهایی است که به هنگام بالا آمدن نمک درهم آمیخته‌اند. وی یادآور شد که این بلوک‌ها شامل سنگ‌هایی گوناگون با سن‌های مختلف است که از جمله می‌توان به ماسه‌سنگ‌های سرخ کامبرین، آهک و شیل‌های کامبرین میانی و بالایی، دولومیت‌های خاکستری پرمین-تریاس، ماسه‌سنگ‌های آهکی زرد رنگ تریاس و آهک‌های جلبک‌دار ژوراسیک اشاره کرد. وی نمک‌های هرمز را به سن کامبرین پیشین-میانی در نظر گرفت.

- قریب (۱۳۳۶)، طی رساله دکترای خود به مطالعه کانی‌های آپاتیت، اولیژیست و پیروکسن در جزیره هرمز پرداخت.

- اوبراین (۱۹۵۷)، به دلیل فراوانی ریولیت‌ها و تراکیت‌ها، صعود گنبد‌های نمکی جنوب ایران را به تزریق سنگ‌های آذرین در قاعده هر گنبد نسبت داد.

- کنت (۱۹۵۹)، با نظریه تنوره آتشفشانی اوبراین مخالفت کرده و اظهار داشت که عامل اصلی بالا آمدن گنبد نمکی، سنگینی لایه‌های رویی است.

- وولف (۱۹۵۹)، نقشه زمین‌شناسی اولیه جزیره هرمز را تهیه نمود.

- احمدزاده‌هروی، هوشمندزاده و نبوی (۱۹۹۰)، مفاهیم جدیدی از چینه‌شناسی سازند هرمز و دیاپیریسیم گنبد‌های نمکی جنوب ایران را مطرح کردند. آن‌ها سازند هرمز را به چهار واحد مجزا تقسیم نمودند. ایشان نارسایی‌های موجود در ارتباط با گنبد‌های نمکی جنوب ایران و خلیج فارس را تشریح کرده و پرسش‌هایی را مطرح نمودند که اغلب آن‌ها همچنان بی پاسخ باقی مانده است.

- مرتضوی در سال ۱۳۷۰، طی پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود در جزیره لارک، به مطالعه ماگماتیسم (به گفته وی) مجموعه هرمز و ارتباط آن با دیاپیریسم پرداخت. به عقیده وی نوع و نحوه تشکیل سنگ‌های جزیره لارک شباهت زیادی به جزیره هرمز دارد و فعالیت‌های ماگمایی اسیدی در جزیره لارک و دیگر گنبد‌های نمکی جنوب ایران، با تشکیل واحد سوم سری هرمز (H3 نبوی و همکاران، ۱۹۹۰) همزمان است. همچنین وی معتقد است که همانند جزیره هرمز، ماهیت ماگما در جزیره لارک قلیایی بوده و سنگ‌های بازیک گسترش کمی دارند. از طرفی سنگ‌های اسیدی جزیره لارک حاصل تفریق ماگمای بازیک نبوده بلکه در نتیجه ذوب سنگ‌های پوسته‌ای و حاصل عمل کافت حادث در اردوویسین هستند.

- به گزارش مطیعی (۱۳۷۲)، محققان مختلفی از جمله اشتوکلین، پلی‌یر و کنت، نمک‌های سازند هرمز را به استناد هم ارزی آن با دولومیت سلطانیه و علی‌رغم وجود تریلوبیت *Redlichia* به اینفراکامبرین نسبت داده‌اند. وی بر این باور است که با توجه به بررسی‌های صمدی (۱۹۸۴)، که عقیده دارد بخش عمده سازند سلطانیه به کامبرین پیشین تعلق دارد و قویدل سیوکی که در سنگ‌های بخش رویی نمک‌های هرمز در چاه درنگ ۱ در عمق ۲۱۰۷ تا ۲۱۱۰ متر آکریتارک‌هایی به سن بخش بالای کامبرین شوروی سابق، هند و اسپانیا شناسایی کرده است؛ می‌توان سن سازند نمکی هرمز را از کامبرین پیشین تا پسین در نظر گرفت.

- تالبوت و علوی (۱۹۹۶)، میانبارهای ولکانیکی در نمک‌های هرمز را بررسی نموده و به وجود رخساره‌های پتاس‌دار گنبد نمکی هرمز در زون ولکانیسم سیلیسی قرار می‌گیرند؛ بنابراین منشأ پتاس در نمک‌های هرمز می‌تواند با ولکانیسم مرتبط باشد.

- حبیبی (۱۳۸۲)، جزیره هرمز را طی پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود مورد مطالعه قرار داد. وی با اندازه‌گیری زوایا، ابعاد و از شکل افتادگی کانی‌های پیریت و هماتیت، تشکیل بخشی از این کانی‌ها را

تکتونیک و بخشی را شیمیایی دانسته است. همچنین پیریت را به عنوان عامل مهمی در تشکیل هماتیت، ژیپس، انیدریت و کانسار خاک سرخ معرفی می کند.

- براتانز و همکاران (۲۰۱۰)، مقاله‌ای با عنوان تکامل گنبد‌های نمکی و ریخت‌شناسی کارستی طی آخرین سیکل یخچالی در جزایر خلیج فارس (لارک، نمکدان و هرمز) را منتشر کردند. در این ۱۳ تحقیق تأثیر نوسانات آب دریا، بالا آمدگی‌های ناحیه‌ای و دیابیری و نقش فرسایش در تکامل ریخت-شناسی جزایر مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین نرخ صعود دیابیر در فاصله ۶۰۰ متری از حاشیه دیابیر حدود ۴ میلی‌متر در سال در نظر گرفته شده است. سرعت فرسایش بر روی دیابیر نمکی هرمز نیز ۴۰ میلی‌متر در سال و در بقایای هوازده با ضخامت کمتر از ۲ متر در حدود ۴ میلی‌متر در سال می‌باشد. نتایج حاصل از سن‌سنجی سری اورانیم انجام شده در قلوه سنگ‌های آراگونیتی جنوب غرب نمکدان در این تحقیق سن ۴۳ تا ۴۶ میلیون سال را نشان داده است.

- طرح تهیه کود آهن از خاک سرخ جزیره هرمز توسط سازمان صنایع و معادن و دانشگاه هرمزگان در سال ۱۳۸۰ به اجرا درآمد. نتایج بدست آمده از این طرح حاکی از آن است که فرآوری گل اوخرا از جزیره هرمز در جهت تولید کود آهن برای تغذیه گیاهان و بهبود کشاورزی در خاک‌های قلیایی (از طریق ترکیب آهن سه ظرفیتی بدست آمده از خاک سرخ با لیگاند مورد نظر EHPG در راستای تهیه کود سکوسترین ۱۳۸ کاملاً اقتصادی و مقرون به صرفه است.

- به عقیده صمدیان (۱۳۶۹) وجود ساخت بالشی در سنگ‌های آذرآواری گنبد‌های نمکی و همراهی گدازه‌های جریان‌ی و آگلومراهای آتشفشانی در بین توالی رسوبی آنها، وقوع فعالیت‌های آتشفشانی به هنگام رسوبگذاری نهشته‌های تبخیری را تقویت می کند.

- جعفری صدر (۱۳۷۰)، نیز به وجود سنگ‌های آذرین اسیدی از جمله توف، ریولیت، گرانیت، گابرو، دیاباز و بازالت دگرگون شده در گنبد نمکی گچین اشاره کرده و این سنگ‌ها را از نوع آلکالن و مرتبط با ریفت معرفی می‌کند.

- عطاپور و آفتابی (۱۳۹۰)، به مطالعه سنگ‌های آهن‌دار جزیره هرمز پرداخته‌اند. این محققین منشأ سنگ‌های آهن‌دار را از نوع رسوبی و مشابه آهن نواری نوع راپیتان می‌دانند.

- رستمی و همکاران (۱۳۹۳)، رفتار زمین‌شیمیایی عناصر خاکی کمیاب در آپاتیت‌های جزیره را مورد بررسی قرار داده و درصد REE، نسبت LREE\HREE، و منشأ آپاتیت‌ها را معرفی کردند.

- فرامرزی و همکاران (۱۳۹۳)، با مطالعه میانبارهای سیال بر روی کانی و کوارتز و آپاتیت موجود در منطقه هرمز به نتایج زیر رسیدند: با توجه به مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال کوارتز و آپاتیت می‌توان نتیجه گرفت که امکان تبلور هر دو کانی از یک ماگمای مادر وجود دارد اما بخشی از سیالات درون آپاتیت‌ها در عمق کمتر و پس از کاهش شوری در اثر اختلاط با آب‌های جوی یا تحولات هیدروترمال تشکیل شده‌اند. وجود میانبارهای سیال دو فاز غنی از گاز در کنار سیالات غنی از مایع در میانبارهای سیال آپاتیت و گستردگی دمای همگن شدگی در آن‌ها نیز می‌تواند دلیلی بر رخداد پدیده جوشش باشد. به هر حال منشأ میانبارهای سیال درون بلورهای کوارتز در ریولیت‌های هرمز کاملاً ماگمایی است اما در مورد بلورهای آپاتیت نمی‌توان یک منشأ ماگمایی محض را در نظر گرفت.

۱-۸- مطالعات انجام گرفته در ایران (هم تیپ کانسار آهن- آپاتیت هرمز)

محمدعلی رجب زاده و همکاران ۱۳۹۲، به بررسی کانی‌شناسی و زمین‌شیمی آپاتیت‌ها و سنگ‌های میزبان فسفات با هدف تعیین منشأ و خاستگاه آپاتیت در کانسار اسفوردی استان یزد پرداخته است که نتایج داده‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسار اسفوردی نشان می‌دهد که این مجموعه احتمالاً در

یک محیط کشتی قوسی در ارتباط با سنگ‌های گرانیتوئیدی همزمان با تصادم قاره‌ای تشکیل شده است.

حسینی و همکاران (۱۳۹۰)، با بررسی بر روی مطالعات کانی‌شناسی، زمین‌شیمیایی خاک‌های کمیاب کانسار آهن-آپاتیت اسفوردی شمال شرق بافق-جنوب یزد، مطالعات انجام شده بر روی کانی‌های آپاتیت بیانگر این است که کانی‌های مونازیت و آلانیت بیشترین پراکندگی نسبت به سایر کانی‌های خاک‌های کمیاب در کانسار اسفوردی دارا می‌باشد و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی این کانی‌ها با یکدیگر متفاوت می‌باشد، به عنوان نتیجه گیری کلی می‌توان گفت تغییر در میزان سیلیسیم، آلومینیم، کلسیم و عناصر کمیاب‌خاکی در کانی‌های آلانیت و سایر کانی‌های خاک‌های نادر و حضور گسترده این کانی-ها در امتداد شکستگی‌ها و همچنین به صورت ادخال‌هایی محدود در وسط بلورهای آپاتیت می‌تواند حاکی از نقش عمده‌ای سیالات گرمابی در کانه‌زایی کانی‌های خاک‌های کمیاب و تغییر در میزان این عناصر در زون‌های مختلف کانسار اسفوردی می‌باشد.

آزاده ملک‌زاده سفارودی (۱۳۹۴)، بررسی بر روی کانی‌سازی و مطالعات میانبارسیال کانسار اکسید آهن-آپاتیت خانلق، شمال شرقی ایران نشان دهنده کانی‌سازی عمدتاً به شکل رگه و رگچه و کمتر بصورت برشی است، که عمدتاً شامل مگنتیت و آپاتیت است که همراه کلسیت، کوارتز، اپیدوت، پیروکسن و کلریت می‌باشد. دو نوع سیال مختلف در تشکیل کانسار نقش داشته‌اند: (۱) سیال با دمای بالا و شوری بالا که ماهیت ماگمایی دارد و (۲) سیال عمدتاً با دمای متوسط و شوری نسبتاً پایین. این کانسار منشأ ماگمایی-گرمابی دارد و مرتبط با فعالیت‌های ماگماتیکی ترشیاری وابسته به زون فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس سبزوار به زیر صفحه توران است.

نسرین خان‌محمدی و همکاران (۱۳۸۸)، کانی‌شناسی، بافت و ساخت و ژنز کانسار آهن-آپاتیت ذاکر (شمال خاور زنجان) کانه اصلی کانسنگ، مگنتیت-آپاتیت همراه با مقادیر کمی کوارتز و کلسیت است. کانی‌سازی در ۵ شکل رگچه‌های استوک‌ورک مگنتیت، مگنتیت-آپاتیت توده‌ای، مگنتیت-آپاتیت

نواری (باندی)، مگنتیت-آپاتیت رگه‌ای و رگچه‌های سولفیدی در محدوده دیده می‌شود. بررسی‌های بافتی و ساختی در ناحیه نشان می‌دهد که ماده معدنی از توده گرانیتوییدی ذاکر منشأ گرفته و در سنگ‌های آتشفشانی میزبان نفوذ کرده است. شواهد کانه‌نگاری از منشأ ماگمایی نوع کایرونای این کانسار حمایت می‌کند.

قاسم نباتیان و مجید قادری (۱۳۹۱)، بررسی کانی‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر خاکی کمیاب در کانسارهای اکسید آهن-آپاتیت ناحیه زنجان مطالعات انجام شده، بیانگر غنی‌شدگی این کانسارها از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد کانی‌سازی مگنتیت-آپاتیت در ناحیه زنجان از ماگمای کوآرتزومونزونیتی با ترکیب کالک‌آلکالن که در موقعیت زمین‌ساختی کمان‌های ماگمایی قرار دارد، تشکیل شده است.

۹-۱- طرح مسئله و هدف از انجام مطالعه

با توجه به سیاست کشور ما برای خروج از وابستگی به درآمدهای نفتی و ورود ارز به داخل کشور یکی از با اهمیت‌ترین حوزه‌ها معادن می‌باشند، مخصوصاً در حاشیه‌های مرزی به علت صادرات آسان و کم-هزینه آن‌ها به کشورهای دیگر می‌باشد لذا جزیره هرمز یکی از مناطقی است که هم به لحاظ اقتصادی و استراتژیک اکتشاف عناصر و فلزات جهت یافتن پتانسیل‌های اقتصادی در آن از درجه اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. سری هرمز از نظر زمین‌شناسی هم ارز سری‌های ریزو و دزو در ایران مرکزی است، و همانند ایران مرکزی یکی از مناطق مستعد برای پی‌جویی و اکتشاف آهن، فسفات آذرین، عناصر خاکی کمیاب، اورانیم و سایر عناصر کمیاب راهبردی می‌باشد. بر روی کانسارهای ایران مرکزی فعالیت‌های زمین‌شناسی، اکتشافی و تحقیقاتی زیادی انجام گرفته است، این در حالی است که تحقیقات زمین‌شناسی و اکتشافی بر روی جزایر خلیج فارس مانند هرمز، قشم، خارک، هنگام و ... بسیار محدود بوده است، و پتانسیل‌های معدنی و زیبایی‌های طبیعت زمین‌شناسی این مناطق از نظر

دور مانده است، علاوه بر این مطالعات اقتصادی آن می‌تواند داده‌های سودمندی را از چگونگی فرآیندهای موثر در تشکیل و تمرکز کانه‌ها در اختیار ما قرار دهد و همچنین بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، زمین‌شیمی و ارائه مدل تشکیل برای این ذخایر بتوان به عنوان الگو و راهنما در اکتشاف سایر کانی‌ها در منطقه و کانه‌زایی‌های مشابه در ایران سودمند باشد. وجود این مسائل ضرورت انجام هرگونه تحقیقات زمین‌شناسی و معدنی را در جزیره هرمز قوت می‌بخشد. بنابراین اهداف این پژوهش از دیدگاه زمین اقتصادی عبارتند از :

- تغییرات سنگ‌چینه ای در لایه H4 سری هرمز کدامند؟
- چه نوع موادمعدنی در این واحدهای سنگ‌شناسی شکل گرفته است؟
- ارتباط بین کانه‌زایی‌ها با یکدیگر و با سنگ‌های میزبان چگونه است؟
- کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی کانی‌ها در کانسار چگونه است؟
- شکل کانی‌سازی‌ها در سنگ‌های میزبان چگونه است ؟
- آیا این نوع کانی‌سازی‌ها با دگرسانی خاصی همراهی می‌شوند؟
- ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانی‌سازی و سنگ‌میزبان کدامند؟
- چه عواملی کنترل‌کننده کانه‌زایی در منطقه هستند؟
- تیپ کانی‌سازی‌ها و الگوی تشکیل آن‌ها چگونه است؟
- چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی بین این کانه‌زایی‌ها و کانه‌زایی آهن-آپاتیت ایران مرکزی وجود دارد؟
- ارزیابی اقتصادی مقدماتی کانی‌سازی‌ها و ارائه کلیدهای اکتشافی جهت بهینه‌سازی فعالیت‌های اکتشافی در آینده کدامند؟

۱-۱۰-۱- روش مطالعه

گردآوری اطلاعات

الف) گردآوری و مطالعه کتب و مقالات مطرح در زمینه موضوع پایان نامه از طریق سازمان‌های تحقیقاتی، کتابخانه، سایت‌های معتبر علمی و غیره.

ب) ارتباط با زمین‌شناسان داخلی جهت تهیه و تامین منابع به روز.

پ) گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی و نقشه‌های توپوگرافی منطقه معدنی و گزارش و مقالات مرتبط با منطقه موردنظر و همچنین کانه‌زایی مشابه در جهان.

عملیات صحرایی

الف) بازدیدهای مقدماتی جهت آشنا شدن با منطقه و برداشت‌های زمین‌شناسی و نمونه‌برداری مقدماتی.

ب) نمونه‌برداری برای مطالعات سنگ‌نگاری از سنگ میزبان و سنگ دربرگیرنده به منظور تفکیک آن‌ها.

پ) مطالعه و شناسایی توده آذرین و دگرسانی‌های موجود در منطقه.

ت) نمونه‌برداری برای مطالعات کانه‌نگاری، ساخت و بافت ماده معدنی و توالی پاراژنزی کانی‌ها و مطالعه میانبارهای سیال.

ث) نمونه‌برداری از سنگ میزبان و سنگ دربرگیرنده کانه‌زایی برای مطالعات زمین‌شناسی.

مطالعات آزمایشگاهی

الف) تهیه مقاطع نازک، صیقلی، نازک-صیقلی، درکارگاه تهیه مقطع دانشگاه شهید باهنر کرمان، جهت مطالعه کانه‌زایی، ساخت و بافت ماده معدنی، بررسی توالی پاراژنزی کانی‌ها، نحوه توزیع کانه در سنگ درونگیر ماده معدنی و کانسنگ.

ب) تجزیه نمونه‌های سنگ و کانسنگ به منظور تعیین میزان عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب به روش‌های ICP-OES/MS در آزمایشگاه زرآزما.

پ) تجزیه نمونه‌های سنگ به روش ذوب قلیایی و با دستگاه ICP-OES در آزمایشگاه زرآزما، به منظور تعیین میزان غلظت اکسید عناصر اصلی.

ت) تجزیه نمونه به روش پراش ایکس (XRD)، در آزمایشگاه زراآزما، به منظور تعیین کانی‌های اصلی و فرعی در سنگ‌های موجود در منطقه.

ث) تجزیه نمونه برای مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال در شرکت آذین زمین پویا.

مطالعه دفتری و پردازش و تفسیر داده‌ها

الف) نتایج حاصل از مراحل قبلی با مطالعه کتاب‌های مرجع، مقالات و نیز استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری، دسته‌بندی، پردازش و تلفیق گردیده و در نگارش پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته است که شامل مراحل زیر می‌باشد.

ب) تجزیه و تحلیل و تلفیق داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی، مطالعات مقاطع میکروسکوپی و داده‌های زمین‌شیمی.

پ) ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی با استفاده از نرم افزار Google Earth و Arc Gis.

ت) تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها با استفاده از نرم افزارهای تخصصی GCD kit.

نرم افزار آماری SPSS و رسم نمودارهای مورد نیاز با استفاده از نرم افزار Grapher12.

ث) تلفیق داده‌های فوق‌الذکر با داده‌های حاصل از مطالعه مقالات و کتب مربوط به منظور ارائه مدل

کانه‌سازی در منطقه و نیز مقایسه‌ی این کانه‌زایی با نهشته‌های مشابه در جهان.

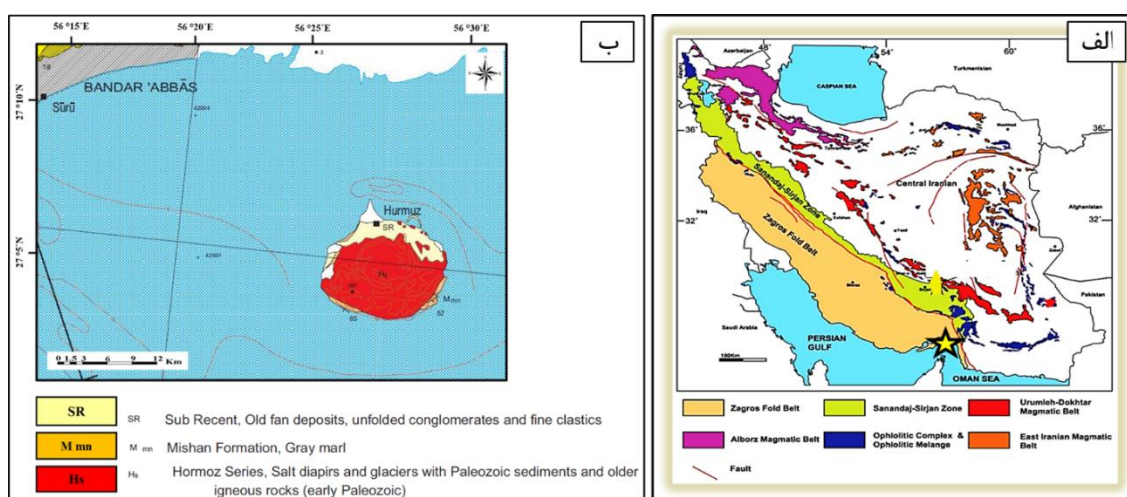
ج) نگارش فصول پایان‌نامه.

فصل دوم:

زمین شناسی

۱-۲- مقدمه

محدوده مورد مطالعه در استان هرمزگان و جنوب غرب جزیره هرمز قرار دارد، این جزیره با توجه به تقسیم بندی رسوبی ساختاری عمده ایران، در منتهی الیه جنوب شرق پهنه زاگرس چین خورده و در برکه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰ بندرعباس واقع شده است (شکل ۱-۲، الف و ب). رخنمون های سنگی منطقه مورد مطالعه بخشی از سازند نمکی هرمز است که مجموعه ای از واحدهای تبخیری، آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی مربوط به پرکامبرین، پالئوزویک و سنوزوئیک می باشند. در این فصل به ترتیب به شرح زمین شناسی ناحیه ای، چینه شناسی، زمین شناسی ساختمانی، زمین شناسی اقتصادی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.



شکل ۱-۲: الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه (جزیره هرمز) بر روی نقشه پهنه های زمین ساختی ایران (آقاباتی، ۱۳۸۵) که محدوده با ستاره مشخص گردیده است. ب) تصویری از محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰ بندرعباس، (شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۷۳).

۲-۲- زمین شناسی ناحیه ای

زاگرس از پهنه های ساختاری-رسوبی مهم در بخش جنوب باختری ایران هست و از نظر زمین شناسی و رخساره های سنگی به زیر پهنه های زاگرس مرتفع، چین خورده و دشت خوزستان تقسیم می گردد. منطقه مورد مطالعه (سری هرمز) در منتهی الیه بخش جنوبی زیر پهنه ی زاگرس چین خورده واقع

می‌باشد (آقابات، ۱۳۸۵)، (شکل ۱-۱). بخش غربی و جنوبی رشته کوه‌های زاگرس، با طولی حدود ۱۳۷۵ کیلومتر و عرضی بین ۱۲۰ تا ۲۵۰ کیلومتر، زاگرس چین‌خورده نامیده می‌شود. این بخش از زاگرس، هم‌راستا با زاگرس مرتفع، تا خلیج فارس و تنگه هرمز ادامه می‌یابد، تاقدیس‌های بزرگ و کشیده از مشخصه‌های زاگرس چین‌خورده هستند. روند عمومی این پهنه به تقریب شمال‌غربی- جنوب‌شرقی است و در آن رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک، و ترشیر به طور هم‌شیب روی هم قرار دارند. درگستره زاگرس چین‌خورده، سنگ‌های پرکامبرین پسین تا تریاس میانی رخساره گندوانایی و مشابه با دیگر نواحی ایران یکنواختی دارند ولی، توالی‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک آن، با رسوب‌های همزمان دیگر نواحی ایران، رخساره‌های سنگی و حتی زیستی متفاوتی دارند و بیشتر معرف رخساره‌های جنوب تتیس جوان است. این نکته نشان می‌دهد که از تریاس میانی به بعد، شرایط رسوبی حاکم بر زاگرس چین‌خورده، نسبت به دیگر مناطق ایران، تفاوت داشته است. در زاگرس چین‌خورده رخنمونی از سنگ‌های پرکامبرین دیده نشده و حفاری‌های نفتی نیز تاکنون به پی‌سنگ نرسیده است. با توجه به بررسی‌های ژئوفیزیکی، باور بر این است که پی‌سنگ پرکامبرین زاگرس ادامه‌ی شمال - شمال‌خاوری سپر نوبی- عربی (Arabian- Nubian Shield) است که از شمال خاور آفریقا تا عربستان و حتی در زیر حوضه زاگرس ادامه دارد. پوشش رسوبی روی پی‌سنگ، با مجموعه‌ای از سنگ نمک، انیدریت، سنگ‌آهک، دولومیت و سنگ‌های آذرین (مجموعه هرمز) آغاز می‌شود که تغییرات سنی آن از پرکامبرین پسین تا کامبرین میانی است و بخشی از آن‌ها به صورت حدود ۱۱۵ گنبد نمکی، از زمان ژوراسیک به بعد به سطح زمین رسیده‌اند. آنچه که این بخش از زاگرس را از سایر مناطق ایران جدا می‌سازد، مراحل تکاملی خاص آن است که می‌توان در سه مرحله خلاصه کرد:

مرحله اولیه یا مرحله پلاتفرم: که از اینفراکامبرین تا تریاس میانی طول کشیده و طی آن رسوباتی مشابه با ایران مرکزی و البرز برجای گذاشته شده است. به علاوه، رسوبات نمک‌دار اینفراکامبرین در مشرق و جنوب زاگرس شبیه رسوباتی است که در مشرق عربستان ته‌نشین شده است. این مدت بخش‌هایی از آن از آب خارج بوده است، چه رسوبات سیلورین تا پرمین در برخی از نقاط، حتی در

حفاری‌های نفتی یافت نشده است. در اوایل پرمین زاگرس به وسیله‌ی رسوبات تبخیری قاره‌ای پوشیده شد که بعداً رسوبات آهکی مربوط به دریای کم‌عمق همراه با شیل و رخساره‌های کولابی تا تریاس میانی در آن گذاشته است.

مرحله بزرگ‌ناودیس تریاس- میوسن: در اواخر تریاس، این قسمت از سایر مناطق ایران جدا شد و به صورت حوضه‌ی فرورفته‌ای (حوضه‌ی رسوبی زاگرس یا بزرگ‌ناودیس زاگرس) که دائماً در حال نشست بوده است درآمد، و در آن رسوبات مزوزوئیک تا نتوژن، با ضخامت بیش از ۱۰۰۰۰ متر روی هم انباشته شد. جنس این رسوبات اصولاً کربناته است و در آن مارن، ماسه‌سنگ و شیل نیز کم و بیش دیده می‌شود. وجود رسوبات تبخیری و برخی از نبوده‌های چینه‌شناسی کوتاه‌مدت، نشان‌هایی از حرکات قائم (خشکی‌زایی) در این حوضه‌ی رسوبی است. چنان‌که گفته شد، تمام این رسوبات به طور هم‌شیب بر روی رسوبات پالئوزوئیک قرار دارد و تنها طی آخرین فاز کوهزایی آلپی (میو-پلیوسن)، چین‌خوردگی پیدا کرد و از آب خارج شد و محیطی دریاچه‌ای-رودخان‌های پدید آمد که در آن رسوبات تخریبی ناشی از فرسایش ارتفاعات مجاور، به حالت دگرشیب در آن ته‌نشین شد (کنگلومرای بختیاری). هیچ نوع فعالیت ماگماتیسم و دگرگونی، طی فاز آلپی در این حوضه مشاهده نمی‌شود.

مرحله جدید یا مرحله پس از کوهزایی: همزمان با ته‌نشینی کنگلومرای بختیاری، طی میو-پلیوسن، زاگرس و به عبارتی، تمام فلات ایران فاز کوهزایی پاسادین را پشت سر نهاد (اوایل پلیستوسن) و به این ترتیب کنگلومرای بختیاری و معادل آن، یعنی هزاردره در البرز جنوبی، چین‌خوردگی پیدا کرد. چنین به نظر می‌رسد، که با پیدایش سلسله جبال زاگرس-عمان در اواخر کرتاسه، منطقه زاگرس چین‌خورده و بخشی از پلاتفرم عربستان به صورت گودال حاشیه‌ای درآمد که خود طی میوسن به صورت شیاری تبخیری تکامل پیدا کرد.

۲-۲-۱- فعالیت ماگمایی زاگرس چین خورده

به جز سنگ‌های ماگمایی موجود در گنبد‌های نمکی هیچ‌گونه تکاپوی آتشفشانی در پهنه زاگرس دیده نمی‌شود. در پایان پرکامبرین، به لحاظ کاری‌شدن گسل‌های ژرف، دیابیرهای داغ بالای گوشته، موجب تشکیل ماگمای بازالتی شده و پس از آن به علت گداز بخشی پوسته قاره‌ای، ماگمای اسیدی به وجود آمده است که هر دو ماگما به هنگام شکل‌گیری رسوب‌های تبخیری، آواری و کربناتی سری هرمز به درون حوضه رسوبی نفوذ کرده و به صورت گدازه‌های بازالتی و گاه بالشی و یا ریولیت و توف اسیدی، سرد شده‌اند. سبزه‌ای، (۱۳۵۵) بر این باور است که ماگمای بازیک برآمده از گوشته بالایی، موجب گداز بخشی از پوسته شده و ماگمای اسیدی را پدید آورده است. از آنجا که رویدادهای پس از تشکیل، به ویژه رخداد‌های دگرگونی و دگرسانی موجب تغییرهایی شده است، بنابراین شناسایی نوع ماگمای اولیه دشوار است. سنگ‌های بازیک یافت شده در گنبد‌های نمکی کم و بیش از خانواده قلیایی هستند، تنها یک نمونه در دسته نیمه قلیایی جای گرفته است. سنگ‌های اسیدی به صورت توده‌های نفوذی ژرف (گرانیت‌ها) یا سیل‌های نیمه ژرف، گنبد‌های ریولیتی و یا گدازه‌های سطحی هستند.

۲-۲-۲- توان اقتصادی زاگرس چین خورده

وجود میدان‌های عظیم گاز و نفت سبب شده است تا زاگرس یکی از نفت‌خیزترین حوضه‌های رسوبی جهان باشد. میدان‌های گازی زاگرس را می‌توان به دو واحد بزرگ «گروه دهرم» و «جوان‌تر از دهرم» تقسیم کرد. میدان‌های گازی گروه دهرم (سازندهای فراقون، دالان، کنگان)، بیشتر از نوع میدان‌های بسیار عظیم و عظیم‌اند که از آن جمله می‌توان به ذخایر پارس جنوبی، پارس شمالی، کنگان، نار، آغار، دالان، و راوی اشاره کرد. مهم‌ترین میدان‌های گازی جوان‌تر از دهرم عبارتند از: میدان‌های تنگ بیجار در سازند سروک، سرخون در سازند جهرم و عضو گوری، گورزین در سازند آسماری، سلخ در سازندهای سروک و فهلیان، گشوی جنوبی در سازندهای سروک، پابده و آسماری،

سورو در سازندهای گدوان و داریان. جدا از میدان‌های عظیم نفت و گاز، بخشی از توان اقتصادی زاگرس از نوع انباشته‌های فلزی و یا غیرفلزی است که عمده‌ترین آن‌ها عبارتند از:

«سرب و روی» در سنگ‌های رسوبی پرمین-تریاس کوه سورمه واقع در جنوب فیروزآباد فارس.

«فسفات» در سازند پابده به سن پالئوژن که در مناطق وسیعی از لرستان، خوزستان، فارس و بوشهر گزارش شده است.

«آلومینیوم» در ردیف‌های کرتاسه بالا به ویژه بین دو سازند سروک و ایلام. اگر چه عیار ممکن است تا ۴۰٪ برسد ولی بالا بودن سیلیس و ترکیب کانی‌شناختی ذخایر که از نوع دیاسپور است، فرآوری این انباشته‌ها را غیر اقتصادی می‌نماید.

«سلسیت» در سنگ‌های رسوبی میوسن مانند کانسار لیکک در شمال باختر بهبهان که در روی سنگ‌آهک‌های آسماری است. گاهی نیز در انباشته‌های تبخیری سازند گچساران لایه‌هایی از سولفات استرانسیوم گزارش شده است.

«آزبست» در گنبد‌های نمکی حاجی‌آباد که از نوع آمفیبول قلیایی (ریه‌بکیت) یافت می‌شود ولی غیر اقتصادی است.

«خاک‌نسوز» در ردیف‌های پرمو-تریاس دوپلان. جدا از موارد گفته شده در گنبد‌های نمکی مجموعه هرمز انباشته‌هایی از «خاک سُرَخ»، «سنگ نمک»، اورانیوم، پتاس سنگی وجود دارد. در گنبد نمکی پهل ذخیره پتاس سنگی برآورد شده حدود ۴ میلیون تن است که عیار آن گاهی تا حدود ۹۰٪ کلرور پتاسیم می‌رسد.

۲-۲-۳- تکتونیک زاگرس چین‌خورده

چین‌ها و گسله‌ها ساختارهای اصلی کمربند چین-راندگی زاگرس هستند. با این حال، وجود تعداد زیادی دیابیرنمکی در زاگرس خاوری بصورت برونزد یافته و یا بصورت مدفون (گنبد) از نمک‌های سری رسوبی هرمز به سن نئوپروتروزوئیک پسین-کامبرین پیشین منشأ گرفته‌اند. مطالعات انجام شده بر روی خطوط لرزه‌ای گستره خلیج فارس به عنوان پیش‌بوم زاگرس بیانگر آن است که حرکت جانبی و قائم نمک‌های تبخیری هرمز از پالئوزوئیک پیشین، یعنی با یک فاصله زمانی تقریباً کوتاه بعد از رسوبگذاری سری هرمز اتفاق افتاده است. این فعالیت تقریباً بصورت پیوسته ولی با شدت‌های متغیر تا حال حاضر ادامه دارد. عملکرد طولانی این دیابیرهای نمکی سبب شکل‌گیری ناودیس‌های حاشیه‌ای شده که به طور محلی حجم قابل توجهی رسوب در آن نهشته شده است. وجود این دیابیرها به همراه ضخیم‌شدگی محلی توالی رسوبی در اطراف آن‌ها، محل و روند چین‌های شکل گرفته در زمان سنوزوئیک پسین را شدیداً تحت تاثیر قرار داده است. عملکرد متقابل این دو عامل، سبب چرخش روند چین‌ها در گستره زاگرس خاوری شده است. علاوه بر آن، وجود دیوارهای نمکی شکل گرفته در زمان پالئوزوئیک آغازین و ضخامت کم رسوبات پوششی در بالای دیابیرها و مقاومت برشی ضعیف در این راستا سبب شکل‌گیری تعداد زیادی گسله راست‌لغز شده است. در نهایت با توجه به اینکه منطقه سری هرمز محدوده مورد مطالعه است در ادامه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، چینه‌شناسی، تکتونیکی و اقتصادی آن پرداخته می‌شود.

۳-۲- گنبد نمکی هرمز

جزیره هرمز یک گنبدنمکی است که در مدخل خلیج فارس واقع شده و این گنبد نمکی با تشکیلات دیگر تقریباً دارای ساختمان متحدالمرکزی است این جزیره از مرکز به حاشیه شامل سنگ‌های تبخیری، سنگ‌های آذرین و سنگ‌های رسوبی است که آخرین بخش این سنگ‌ها متعلق به زمان نئوژن و بخصوص دوره‌های میوسن و پلیوسن تا عهد حاضر می‌باشد، این مجموعه را سری هرمز نامیده‌اند، این سری در گذشته به زمان‌های تریاس، اولیگوسن و سرانجام به کامبرین نسبت

داده شده است. اشتوکلین با توجه به سن نسبی این سنگ‌ها اصطلاح سری‌هرمز را فقط در مورد سنگ های تبخیری صادق دانسته است.

۲-۳-۱- زمین‌شناسی سری‌هرمز

گروه نمکدان (بوساک، ۱۹۱۹) و گروه خمیر (ریچاردسون، ۱۹۲۶)، نام‌های قدیمی این مجموعه است. در حال حاضر رسوب‌های تبخیری و سنگ‌های ماگمایی این حوضه به صورت ۱۱۵ گنبد نمکی برونزد دارند، جزیره هرمز یکی از این گنبدهای نمکی است و به همین دلیل به این واحد سنگ‌چینه‌ای سری‌هرمز نام داده شده است. سری‌هرمز در حوضه‌های بسیار کم‌عمق ولی در ارتباط با دریا‌های آزاد، از پرکامبرین پسین تا کامبرین پیشین بر روی سپر دشت‌گون‌شده زاگرس نهشته شده است این سری نمکی همچنین نشان می‌دهد که این خشکی‌ها در ناحیه اقلیمی گرمی (عرض‌های جغرافیایی ۱۰ تا ۴۰ درجه) قرار داشته‌اند. ترکیب‌سنگی سری‌هرمز شامل سنگ‌نمک به رنگ‌های گوناگون، انیدریت، ژپس، سنگ‌آهک سیاه‌رنگ، دولومیت بودارچرتی، ماسه‌سنگ سرخ، شیل‌رنگارنگ، سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی و کانی‌های آهن و آپاتیت‌دار است. سنگ‌های یاد شده فاقد نظم چینه-نگاشتی هستند و به همین رو تاکنون برش الگو ندارند در مورد ضخامت نمک نظرها بین ۹۰۰ تا ۴۰۰۰ متر متفاوت است ولی در مجموع بیشترین انباشت نمک در ناحیه بندرعباس و هرمزگان است. پراکندگی گنبدهای نمکی در جنوب ایران یکنواخت نیست و در دو گستره گرد آمده‌اند. یکی بندرعباس-سروستان که ۱۰۱ گنبد و دیاپیر را شامل می‌شود و دیگری گستره جنوب کازرون است که تنها ۱۴ گنبد و دیاپیر دارد. مجموع این گنبدها تحت عنوان سری‌هرمز نخستین بار توسط پلگریم (Pilgrim, 1908) و سپس توسط بلنفرد (Blanford, 1972) از نام جزیره هرمز که تقریباً تمامی آن سری‌گنبد نمکی بزرگی را تشکیل داده بودند، انتخاب شد. محققین زیادی سازند هرمز را به بخش‌های مختلف تقسیم کرده‌اند مانند (Pilgrim, 1924)؛ سبزه‌ای و نبوی، ۱۳۶۹؛ Kent, Forst, 1976) (1970). با توجه به مشاهدات صحرائی در این مطالعه، به نظر می‌رسد کاملترین تقسیم‌بندی توسط

احمدزاده هروی و همکاران (۱۳۶۹) صورت گرفته که طی آن سازند هرمز به چهار واحد H3 H2 H1 و H4 تقسیم شده است:

واحد (H1): که به آن سازند هرمز گفته می‌شود عبارت است از طبقات و لایه‌های نمکی با ضخامت متفاوت، که قاعده آن معلوم نبوده و در هیچ نقطه‌ای به تنهایی ظاهر نشده است. این بخش دارای میان لایه‌های نازکی از توف، مارن، آهک‌های تیغه‌ای همراه با قطعاتی از اکسیدها و سولفورهای آهن است و به ندرت در آن کانی‌های مس نیز دیده می‌شود. توده‌های نمکی مربوط به این سازند با ضخامت‌های زیاد در جزیره هرمز کاملاً مشهود و اغلب به شکل نوارهای رنگارنگ رخنمون یافته است.

واحد (H2): مجموعه‌ای از پیروکلاستیک‌ها، توف‌ها، ریولیت‌ها و تراکیت‌ها است. این واحد با رنگ قرمز مستقیماً بر روی واحد H1 قرار گرفته و به واحد خاک سرخ معروف است. علاوه بر مجموعه فوق تناوب مارن‌های سفید تا زرد کم‌رنگ، انیدریت (اغلب به ژنپس تبدیل شده‌اند)، آهک‌های نازک لایه سیاه رنگ، سنگ آهک‌های نازک لایه و اکسیدهای آبدار و بی‌آب آهن، در این واحد وجود دارند.

واحد (H3): یک واحد کربناتی است و به نام واحد آهک‌های سیاه رنگ جلبکی معروف است. این واحد به علت حضور گاز H_2S به شدت بدبو است. این لایه دارای ضخامت کم و سرشار از فسیل جلبک‌های گوناگون به شکل دمبلی، استوان‌های، کروی و حلقوی می‌باشد. حضور کالنتا و اسپرینژینا قابل توجه است.

واحد (H4): بیشتر حجم این واحد را ماسه‌سنگ‌های قرمز، خاکستری و سبزرنگی تشکیل می‌دهد که دارای موج نقش‌های چشم‌گیر است. این طبقات دسیمتری با لایه‌هایی از توفیت‌های سبزرنگ سانتی‌متری در تناوب است. در بعضی از گنبد‌ها و فور سنگ‌های آتش‌فشانی (توفیت‌های سفید) چنان است که این واحد را بیشتر به یک واحد آتشفشانی شبیه می‌سازد که با طبقات آواری در تناوب است. این لایه بدلیل دارا بودن کانی‌سازی‌های آهن، فسفر و ... برای هدف مطالعه انتخاب شده است.

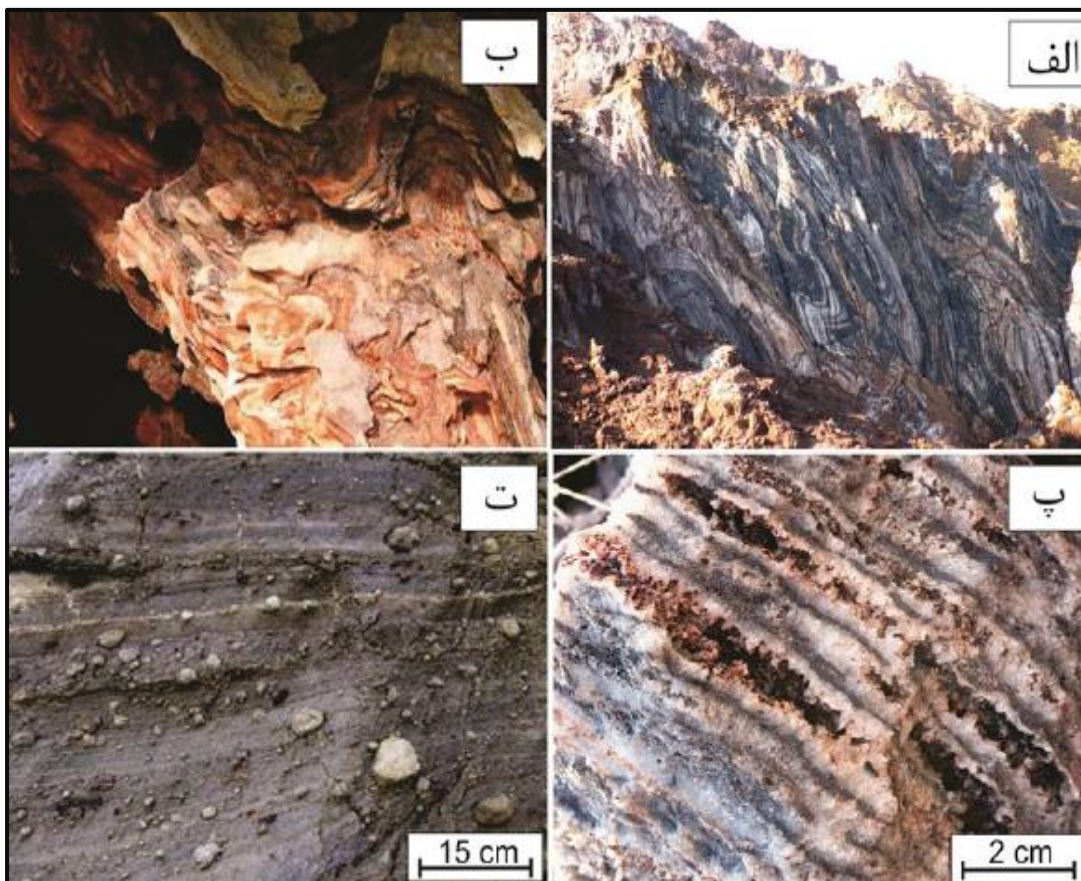
۲-۳-۲- چینه‌شناسی هرمز

در نگاه کلی جزیره هرمز در قسمت میانی در حدود ۲ کیلومتر از سنگ نمک با میان‌لایه‌های نازکی از دولومیت، انیدریت، ژیپس، مارن، سنگ‌آهک، توف و قطعاتی از اکسیدها و سولفورهای آهن و مس تشکیل شده است. با فاصله گرفتن از مرکز جزیره، ماسه‌سنگ‌های قرمز، شیل‌های سیاه و بنفش به ضخامت چند سانتی‌متر تا یک متر، و لایه‌های اکسیدآهنی به بخش مرکزی اضافه و بر ضخامت لایه‌های دولومیتی (ضخامت ۰/۱ تا ۲۰ متر) افزوده می‌شود. سنگ‌های آذرین ریولیتی و تراکیتی و سنگ‌های آذرآواری توف تا ایگنیمبریت (۰/۰۰۱۳ ~ تا ۰/۲۵ km²) رخمون‌های شاخصی هستند که از فاصله ۲ کیلومتری مرکز جزیره از درون نمک‌های رنگین بیرون زده‌اند. کنتاکت این آنکلاوهای بزرگ (که به صورت پراکنده و منفرد مشاهده می‌شوند) مشخص نیست و به نظر می‌رسد توسط نمک دربرگرفته‌شده و به سطح زمین رسیده‌اند. در بخش خارجی نمک حلقه‌ای از برش آهن‌دار با ضخامت ۱۸ تا ۱۱۷ متر، حاوی بقایای سنگ‌پوش و احتمالاً قطعات یخچالی مشاهده می‌شود. لایه‌های سیاه‌رنگ سیلیسی‌شده (مشابه افق‌های بیتومین‌دار نئوپروتروزوییک) در بخش شرقی جزیره، بین توف‌های ریولیتی و برش آهن‌دار با ضخامت متوسط ۱۰ متر گسترش یافته که تاکنون با تردید از آن به عنوان بازالت سیلیسی‌شده یاد شده است (الیاسی و همکاران، ۱۳۵۵). در جنوب جزیره سنگ‌های رسوبی (با ضخامتی در حدود چندین متر تا ۲ کیلومتر و شامل ماسه‌سنگ، مارن، کنگلومرا و ماسه-سنگ‌آهکی) بر روی بخش‌های نمکی قرار گرفته‌اند. رسوبات پرمین در این جزیره مشاهده نمی‌شود اما رسوبات کم عمق و ساحلی میوسن تا پلیوسن (شامل مارن و ماسه‌سنگ‌آهکی) بر روی کنگلومرای قاعده‌ای قرار گرفته و به طور قوسی تشکیلات برش آهن‌دار جزیره را احاطه کرده است. بر اثر دیاپیرسم نمک، شیب این رسوبات از حالت افقی اولیه به حدود ۷۰ درجه تغییر یافته است. در خارجی‌ترین بخش جزیره رسوبات کواترنری و زمان حاضر نهشته شده‌اند. در ادامه به شرح کامل این واحدها پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱- پروتروزوئیک و پالئوزوئیک

واحد نمکی- ژپسی: قاعده واحد نمکی در جزیره هرمز معلوم نیست. به دلیل حالت شکل پذیر و چین خوردگی، تعیین ضخامت دقیق این واحد دشوار است اما می توان آن را در حدود ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر نخمین زد. ترکیب شیمیایی واحد نمکی به طور میانگین در حدود ۸۱٪ از NaCl تشکیل شده و کانی اصلی تشکیل دهنده آن هالیت می باشد. پس از هالیت فراوان ترین کانی های تشکیل دهنده واحد نمکی، ژپس، انیدریت و در برخی نمونه ها سیلویت است. اندازه بلورهای هالیت در این بخش از چند میلی متر تا ۳ سانتی متر تغییر می کند. واحد نمکی کمتر بصورت خالص یافت شده و اغلب میان لایه های از دولومیت، انیدریت، ژپس، مارن، سنگ آهک، توف و قطعاتی از اکسیدها و سولفورهای آهن و مس بصورت ناخالصی در آن مشاهده می شود. ضخامت نوارها از کمتر از یک سانتی متر تا چند متر متغیر است. این لایه ها به دلیل چین خوردگی حاصل از حرکات نمکی یا فعالیت های تکتونیکی و انحلال چهره زیبایی به منطقه بخشیده اند (شکل ۲-۱، الف و ب). وجود نوارهای آهن دار ما بین نمک نشان دهنده ی بالا بودن مقادیر آهن در حوضه ی تبخیری هرمز است (شکل ۲-۱، پ). سبزه ای (۱۳۶۹)، از ساخت نواری و رنگارنگ نمک به عنوان فولیاسیون نام برده و آن را حاصل فرآیندهای دینامیکی و ترمودینامیکی می داند. علاوه بر موارد ذکر شده در برخی مناطق ناخالصی هایی شامل قطعاتی از سنگ های مختلف بصورت بین چینه ای در واحد نمکی یافت می شود. نحوه استقرار برخی از این قطعات در درون نمک به گونه ای است که تصور می شود به صورت آواری و همزمان با ته نشست واحد نمکی به آن راه یافته اند. (شکل ۲-۱، ت). جنس بسیاری از این قطعات با سنگ هایی که در جزیره مشاهده می شود قرابتی ندارد و به نظر می رسد از قطعات معلق یخچالی باشند. مطالعات Bahroudi and Talbot, 2003 و Talbot and Alavi, 1996، حاکی از وجود دو توالی نمکی مجزا در سازند هرمز زاگرس است. به عقیده این محققین ابتدا توالی نمکی زیرین (نمک به همراه انیدریت و رسوبات کربناتی) در محیط دریاچه ای یا سبخایی کم عمق اما وسیع ته نشست یافته؛ پس از آن مجموعه رسوبی از تخریبی های رودخان های تا دریایی (سازند لالون) و سپس توالی تبخیری-کربناتی دوم با

سن کامبرین پایینی تا میانی و حاوی تریلوبیت نوع ردلشیا (شاخص اواخر کامبرین آغازین) رسوب کرده است. به عقیده این محققین سیکل اول ته‌نشست نمک در حوضه‌های نیمه‌گرا بینی محدود به گسل‌های با امتداد NW-SE (گسل‌های نجد پان آفریقا) صورت گرفته است. در مقابل سیکل جوانتر نمک هرمز احتمالاً به سرعت در حوضه‌های پایدار در گرابن‌های نازک عرضی نهشته شده‌اند (Schroder, 2003). نیز پس از مطالعه مغزه‌های بدست آمده از حفاری‌های عمیق، وجود دو مجموعه تبخیری در عربستان سعودی، بحرین و ابوظبی را تایید میکنند. به عقیده این محققین، در وقفه‌ی بین دو توالی ذکر شده ولکانیسمی به سن حدود ۵۵۰ میلیون سال رخ داده است. (Ghazban and Al-Aasm , 2010)، نیز به وجود بیش از یک سیکل رسوبی-تبخیری در جزیره هرمز اشاره کرده و آن را نشان‌های از شرایط نسبتاً پایدار و خشک در حین رسوبگذاری دانسته‌اند. از طرفی وجود لایه‌هایی از دولومیت (کربنات‌های دریا‌های کم‌عمق) به همراه لایه‌های ضخیمی از نمک‌های تبخیری در جزیره هرمز، معرف رسوب‌گذاری در محیط اینترتایدال تا سوپرتایدال است (Ala, 1974 Gansser, 1992). با توجه به مطالب ذکر شده و نبود فسیل تریلوبیت در واحدهای کربناتی، نتایج تعیین سن ریولیت‌ها و برتری حجمی نمک نسبت به رسوبات کربناتی در جزیره هرمز به نظر می‌رسد توالی نمکی یا هرمز پایینی نسبت به توالی تبخیری-کربناتی (هرمز بالایی) رخنمون بیشتری در جزیره هرمز دارد.



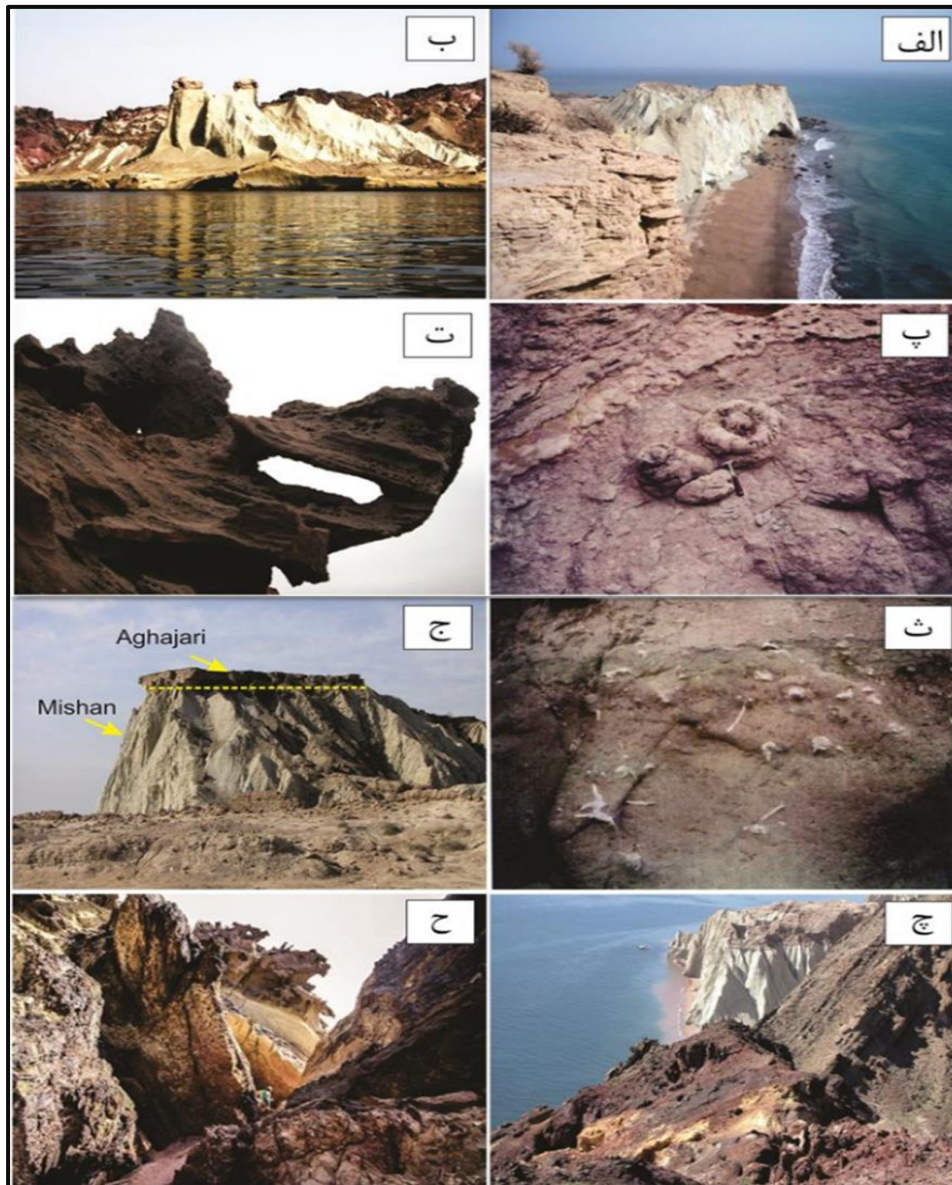
شکل ۲-۲: الف) چین خوردگی حاصل از حرکات نمکی یا فعالیت‌های تکتونیکی در نمک‌های جزیره هرمز؛ ب) ایجاد ساخت‌های زیبا به دلیل انحلال لایه‌های حاوی ناخالصی نمک؛ پ) وجود میان‌لایه‌های نازکی از کانی‌های آهن‌دار در نمک‌های جزیره هرمز؛ ت) قطعاتی از سنگ‌های گردشده آواری و بیگانه در بین لایه‌های نمک.

۲-۲-۳-۲- سنوزوئیک

میوسن - پلیوسن: سنگ‌های متعلق به مزوزوئیک در جزیره هرمز مشاهده نشده‌اند؛ گویی در این زمان منطقه خارج از آب بوده است. در میوسن دریا بر روی جزیره هرمز پیشروی کرده و مارن‌های سبز و خاکستری سازند میشان را برجای گذاشته است. سن سازند میشان از میوسن فوقانی تا پلیوسن می باشد (احمدزاده هروی و همکاران، ۱۳۶۹) و در مناطق اطراف گنبدنمکی گچین و بندر معلم بر روی سازند گچساران (شامل انیدریت، ژیپس و مارن) دیده می شود (مرادی، ۱۳۸۲). در جنوب جزیره هرمز سازند میشان بر روی کنگلومرای مونومیکت قرار گرفته است. این سازند در جزیره هرمز از تناوب مارن سبز تا خاکستری و آهک‌های کرم‌رنگ تشکیل شده و ضخامت آن به ۲۰۰ متر نیز می‌رسد

(شکل ۲-۲، الف). در شرق جزیره، فرسایش بادی این رسوبات به تشکیل ستون‌هایی از مارن و سنگ-آهک انجامیده است (شکل ۲-۲، ب). در مارن‌های جنوب و جنوب شرق جزیره اشکال خاص به صورت مدور با رشد کنکرسیونی مشاهده می‌شود. این قطعات مدور از یک هسته کلسیتی و بدنه مارنی تشکیل شده‌اند. سرعت رشد و تشکیل این اشکال بسیار سریع است و گاهی قطر آن‌ها در مدت کمتر از دو ماه به ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. اشکال مذکور تنها در این بخش از سواحل جزیره هرمز که تحت هجوم شدید امواج جزر و مدی است تشکیل می‌شوند (شکل ۲-۲، پ). پس از نشست رسوبات سازند میشان، بالا آمدن کوه‌ها و پسروی دریا به علت چین‌خوردگی و راندگی، موجب تشکیل حوضه‌های خلیج دهانه‌ای و دریاچه‌ای شده است. در این زمان در جزیره هرمز رسوبات تخریبی ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ‌آهکی سازند آجاجاری نهشته شده‌اند. این سازند از لحاظ سنگ‌شناسی شامل ماسه‌سنگ-های آهک‌دار قهوه‌ای و خاکستری، رگه‌های گچ، مارن‌های قرمز و سیلت است. هوازدگی این سنگ‌ها در جنوب جزیره به تشکیل مناظر زیبایی انجامیده است و مردم محلی از آن‌ها به عنوان مجسمه‌های سنگی یاد می‌کنند (شکل ۲-۲، ت). قطعات فسیلی درون سازند آجاجاری بیشتر پوسته‌های اویستر است که در جنوب جزیره قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۲-۲، ث). به عقیده مطیعی، (۱۳۷۲)، ضخامت سازند آجاجاری در رشته کوه‌های زاگرس از ۶۰۰ تا ۳۰۰۰ متر متغیر است. ضخامت این سازند در جزیره هرمز ۱۵ تا ۳۰۰ متر اندازه‌گیری شده است. ضخامت زیاد رسوبات سازند میشان و آجاجاری در جزیره هرمز حاکی از دوام طولانی محیط دریایی است. مرز بین مارن‌های سبز و خاکستری سازند میشان با سازند آجاجاری (که در بالا قرار دارد) به صورت تدریجی و هم شیب می‌باشد (شکل ۲-۲، ج). رسوبات میوسن - پلیوسن مذکور، در شرق جزیره به صورت افقی باقی مانده‌اند در حالیکه که در جنوب جزیره بر اثر فازکوهزایی نئوژن و مراحل پایانی دیاپیریسیم (الیاسی و همکاران، ۱۳۵۵) دارای شیبی در حدود ۷۰ تا ۸۵ درجه شده‌اند. سواحل در حاشیه جنوبی جزیره به دلیل شیب زیاد این لایه‌ها به صورت پرتگاهی با ارتفاع بیش از ۱۰۰ متر مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۲، چ). همچنین

فرسایش ناشی از آبراهه‌ها دره‌های تنگ و عمیقی را در این سنگ‌ها حفر و مناظر زیبایی را خلق کرده است (شکل ۲-۲، ح).



شکل ۲-۳: الف) ارتفاعات مارن‌های سبز و آهک‌های کرم‌رنگ سازند میشان در جنوب جزیره هرمز؛ ب) تشکیل ستون در اثر فرسایش بادی رسوبات سازند میشان در شرق جزیره؛ پ) رشد کنکرسیونی قطعات مدور هسته کلسیتی و بدنه مارنی در جنوب و جنوب شرق جزیره؛ ت) تشکیل مجسمه‌های سنگی در اثر فرسایش بادی رسوبات سازند آغاجاری در جنوب جزیره؛ ث) فسیل قطعات بدن جانوران دریازی در سازند آقاجاری، جنوب جزیره؛ ج) لایه بندی افقی و مرز تدریجی بین سازند میشان و آغاجاری در شرق جزیره؛ چ) سازند آغاجاری با بیش از ۷۰ درجه شیب در جنوب غرب جزیره؛ ح) ایجاد دره‌های عمیق و باریک در جنوب جزیره به دلیل فرسایش سازند آغاجاری.

۳-۲-۳-۲- پلیوکواترنر

پادگانه‌های آبرفتی نسبتاً قدیمی و رسوبات نمکی-ژیپسی عهد حاضر: این رسوبات بیشتر در نیمه شمالی جزیره و در پهنه‌های وسیعی از شرق تا غرب آن مشاهده می‌شوند. در جنوب شرق جزیره نیز در مساحت محدودتری می‌توان این رسوبات را یافت. ضخامت این واحد گاهی به ۱۰ متر می‌رسد و قطعات تخریبی سنگ‌های مختلف جزیره را می‌توان در آن یافت (شکل ۲-۳، الف). این سنگ‌ها اندکی سیمانی شده‌اند؛ معمولاً افقی هستند اما در مجاورت گنبد گاه تا ۵ درجه به سمت جنوب و جنوب-شرقی شیب دارند. به عقیده (Samadian, 1990) این رسوبات طی ۶-۳۰ هزار سال پیش نهشته شده‌اند. بیشترین پوشش گیاهی منطقه در این واحد روئیده است. در گودال‌های پادگانه‌های آبرفتی نسبتاً قدیمی، رسوبات نمکی-ژیپسی عهد حاضر مشاهده می‌شوند که امروزه نیز در حال تشکیل‌اند. به عنوان مثال در بخش شرقی جزیره، در دیواره گودال‌ها طبقاتی از ژپس در پادگانه‌های آبرفتی نسبتاً قدیمی دیده می‌شود (شکل ۲-۳، ب). همچنین در این بخش جزیره می‌توان بلورهای درشت ژپس (گاهی با طول ۱۰ سانتی‌متر) که در پی اشباع محیط بر روی سطوح سنگی متبلور شده‌اند را مشاهده کرد (شکل ۲-۳، پ و ت).

پادگانه‌های آبرفتی جوان: این نهشته‌های جوان در دو بخش محدود در شرق و غرب جزیره مشاهده می‌شوند. ضخامت این واحد بیشتر از ۲ متر نیست و از نظر موقعیت بر روی پادگانه‌های آبرفتی قدیمی قرار دارند. در این بخش معمولاً قطعات درشتی از سنگ‌های جزیره مشاهده نمی‌شود.

نهشته‌های بادی: این نهشته‌ها در جنوب جزیره بیشترین گسترش را دارند و در حدود ۱۹۷ متر سطح برش دیامیکتی را پوشانده‌اند. حجم عمده نهشته‌های بادی را ذرات ماسه تشکیل داده است اما ذرات سیلت و رس نیز در آن‌ها مشاهده می‌شوند. رنگ زرد کم‌رنگ نهشته‌های بادی که به دلیل فراوانی ماسه‌های زرد تا کرم است باعث شده تا بتوان این واحد را به راحتی از دیگر رسوبات کواترنر تشخیص داد (شکل ۲-۳، ث).

رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای: به دلیل بارندگی اندک و دائمی نبودن رودخانه‌ها، رسوبات آبرفتی بستر رودخانه‌ها در جزیره هرگز بسیار محدود هستند. این رسوبات در شرق و جنوب شرق جزیره، در اطراف

آبراهه‌های فصلی مشاهده شده و از نهشته‌های تبخیری به همراه قطعات خردشده سنگ‌های مختلف جزیره در حد قلوه سنگ‌های ریز و درشت تشکیل شده‌اند. (شکل ۲-۳، ج). در کنار دره‌های عمیق حاصل از رودهای سیلابی می‌توان قطعات درشت‌تری از رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای را مشاهده کرد (شکل ۲-۳، چ).



شکل ۲-۴: الف) تشکیل پادگانه های آبرفتی نسبتاً قدیمی در شمال جزیره؛ ب) تشکیل طبقات ژئیس در پی فرایند تبخیر در گودال های این پادگانه ها؛ پ و ت) تشکیل بلورهای سوزنی ژئیس در شمال جزیره هرمز؛ ث) ماسه های بادی به رنگ زرد تا کرم در جنوب جزیره؛ ج و چ) رسوبات آبرفتی رودخانه ای در کنار رودهای فصلی.

نهشته‌های باتلاقی: نهشته‌های باتلاقی در شمال شرق و شمال غرب جزیره با گسترش کمتر از یک کیلومتر مربع مشاهده می‌شوند. رسوبات تشکیل‌دهنده این بخش بیشتر از رس، سیلت و ماسه است. این نهشته‌ها اغلب در دلتای ورودی رودهای فصلی به دریا و در نواحی مسطح تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۴، الف). در شمال شرق جزیره این نهشته‌ها بسیار سست می‌باشند (شکل ۲-۴، ب).

نهشته‌های زون جزرومدی: این نهشته‌ها از ماسه و به مقدار کمتر از رس تشکیل شده‌اند. این بخش از سواحل جزیره هرمز معمولاً در طول روز نیز توسط قشر نازکی از آب پوشیده شده و در نتیجه محل مناسبی را جهت تشکیل جلبک‌ها و زندگی سخت پوستان یا دو کفه‌ای‌ها فراهم آورده است (شکل ۲-۴، پ و ت).

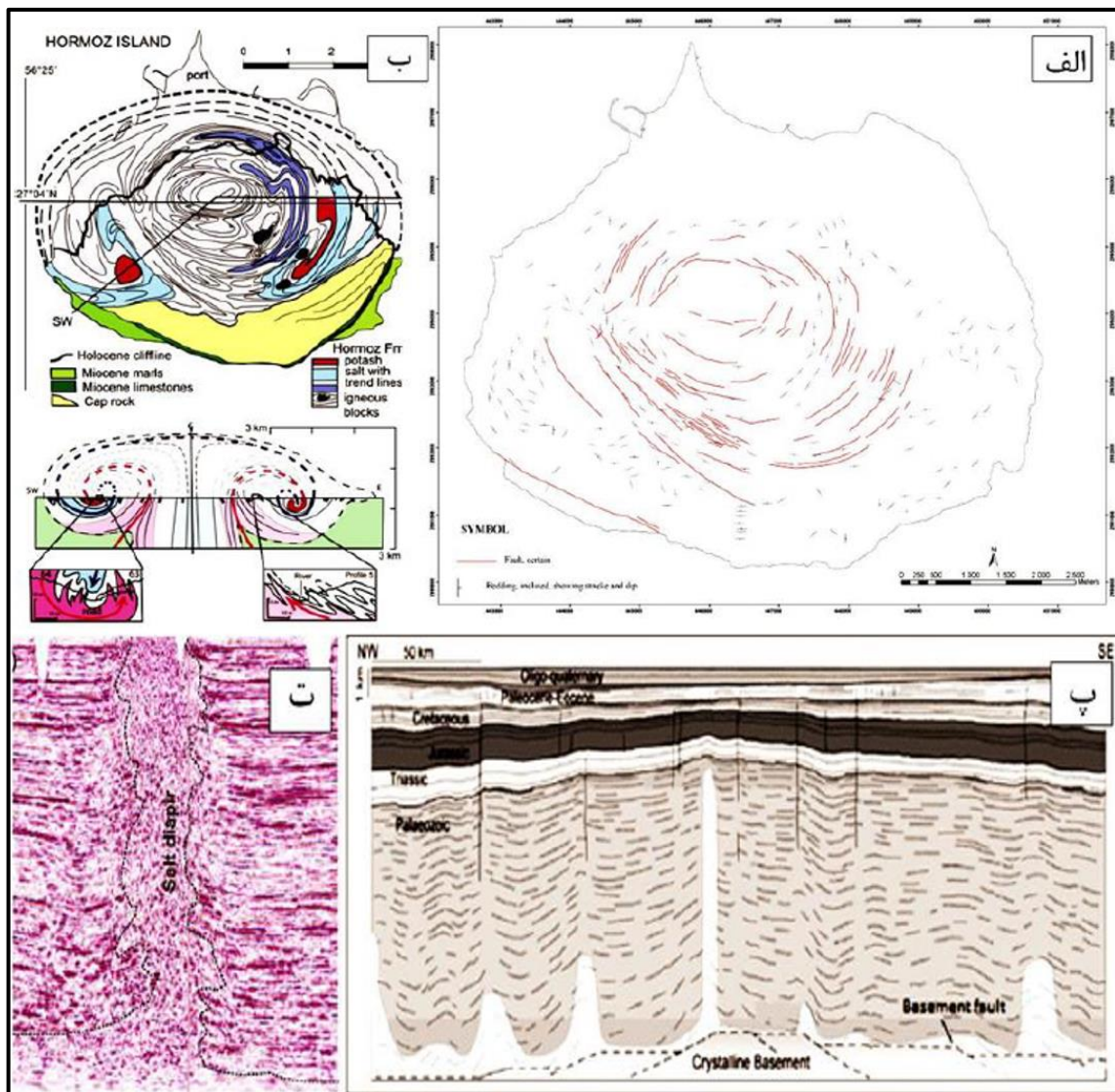
رسوبات ماسه‌ای سواحل: سواحل ماسه‌ای در قسمت غربی جزیره بیشترین گسترش را دارند (شکل ۲-۴، ث). ماسه‌های این سواحل به دلیل حضور آهن به رنگ‌های مختلف مشاهده می‌شوند. به خصوص در قسمت‌های جنوبی جزیره سواحل به دلیل وجود پولک‌های براق اولیژیست به رنگ نقره‌ای تا خاکستری (شکل ۲-۴، ج) و به دلیل حضور اوخرا به رنگ قرمز (شکل ۲-۴، چ) در آمده است.



شکل ۲-۵: الف و ب) تشکیل نهشته‌های باتلاقی در شمال شرق و غرب جزیره؛ پ و ت) تشکیل نهشته‌های زون جزرو مدی در سواحل شمالی جزیره هرمز؛ ث و ج) پراکندگی پولک‌های نقره‌ای و ریز اولیژیست در سواحل جنوبی جزیره هرمز؛ چ) پراکندگی اوکر در ساحل جنوبی جزیره هرمز.

گنبد نمکی هرمز از نظر تکتونیکی همچنان فعال است (Bruthans, 2009). ساختار متحدالمركز، تشکیل گسل‌های حلقوی، جهت شیب و امتدادهای اندازه‌گیری شده برای بیش از ۱۵۰ نقطه در این جزیره حاکی از بالآمدگی بخش نمکی است (شکل ۲-۵، الف). وجود تراس‌های دریایی با ارتفاع بیش از ۳۵-۳۰ متر در طول سواحل و کنگلومراهایی با ارتفاع بیش از ۱۰۰ متر در بخش شمالی جزیره هرمز حرکات قائم منطقه و بالآمدگی گنبد نمکی با سرعتی نسبتاً زیاد را تایید می‌کند. ساختار دیابیری جزیره هرمز توسط تالبوت و همکاران (۲۰۰۸)، بصورت یک گنبد نمکی قارچی شکل معرفی شده است. در فرایند تشکیل دیابیرهای قارچی، حداقل در بازه محدود زمانی طی صعود، فشار ناشی از بخش‌های بالایی بر فشار ناشی از سبک‌شدگی نمک فائق آمده و از حرکت دیابیر به سطح زمین جلوگیری شده است. در این مرحله، فشار بخش‌های بالایی از یکسو و فشار نمک از یکسوی دیگر به چین‌خوردگی طرفین دیابیر به سمت پایین و در نهایت تشکیل ساختار قارچی شکل می‌انجامد. تشکیل این ساختار در جزیره هرمز باعث شده تا لایه‌های پتاس در محور چین‌های دو سمت دیابیر تجمع یافته و ذخایر ارزشمند اما دور از دسترسی را مهیا سازند (شکل ۲-۵، ب). مطالعات گسترده‌ای در خصوص نقش گسل‌های پی‌سنگ در شکل‌گیری ساختار کنونی گنبدهای نمکی جنوب ایران صورت گرفته که از تکرار آن‌ها پرهیز می‌شود اما در نگاه کلی می‌توان گفت الگوی پراکندگی گنبد-های نمکی جنوب ایران در حقیقت انعکاسی از ساختارهای تکتونیکی منطقه است که عملاً باعث ایجاد ضعف در پوسته و متعاقباً حرکت آن‌ها به سطح زمین شده است. مطالعات لرزه‌ای معادل گنبدهای نمکی سازند هرمز در قطر نشان می‌دهد که ریشه هر دیابیر درست در مکانی قرار دارد که پی‌سنگ گسله است (پروتی و همکاران، ۲۰۱۱؛ شکل ۲-۵، پ). به عبارتی هسته اولیه گنبد نمکی در بخش‌های گسله پی‌سنگ ایجاد شده و گسل‌های پی‌سنگ نقش کنترل‌کننده‌ای در تشکیل گنبدهای نمکی دارند. از طرفی مطالعات لرزه‌ای گنبدهای نمکی عمان و امارات متحده عربی به وضوح حاکی از

آن است که ریشه برخی گنبد‌های نمکی با وجود صعود مسیر ۸ کیلومتری از عمق به سطح، هنوز به لایه‌های نمکی اولیه تشکیل شده بر روی پی‌سنگ عربی متصل‌اند (توماس و همکاران، ۲۰۱۵؛ شکل ۲-۵، ت). این امر نشان‌دهنده منبع تغذیه‌کننده عظیمی از نمک برای ادامه صعود گنبد‌های نمکی خلیج فارس می‌باشد.



شکل ۲-۶: الف) نقشه ۱/۲۵۰۰۰ جزیره هرمز که در آن موقعیت گسل‌ها و جهت شیب و امتداد سنگ‌ها نمایش داده شده است؛ ب) ساختار قارچی شکل در گنبد نمکی هرمز و محل استقرار لایه‌های حاوی پتاس در محور چین‌های دو سمت دیپایپر (برگرفته از تالبوت و همکاران، ۲۰۰۸)؛ پ) نتایج حاصل از مطالعات لرزه‌ای در نزدیکی سواحل قطر در خلیج فارس (برگرفته از پروتی و همکاران، ۲۰۱۱)؛ ت) تصویر لرزه‌ای گنبد نمکی جبل ظنا در سواحل خلیج فارس امارات متحده عربی (برگرفته از توماس و همکاران، ۲۰۱۵).

۲-۳-۴- زمین شناسی اقتصادی هرمز

از کانسارهای مهم جزیره هرمز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

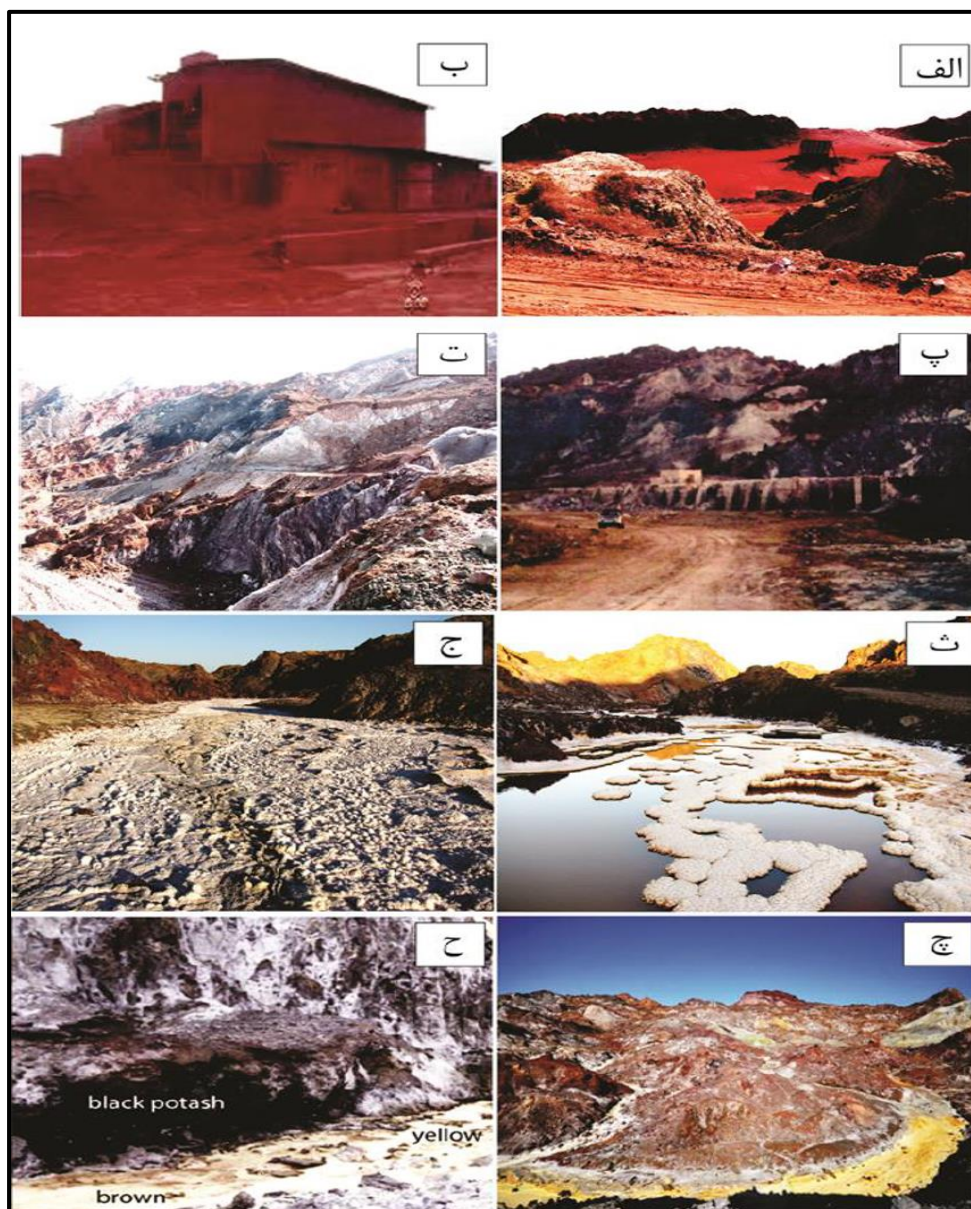
کانسار خاک سرخ: کانسار خاک سرخ در جنوب جزیره هرمز قرار دارد (شکل ۲-۶، الف). این خاک کاربرد زیادی در صنایع رنگ‌سازی، آجر، موزائیک، مواد شیمیایی ضد زنگ، لوازم آرایشی، پودرهای میکرونیز صنعتی و تولید نوار کاست دارد. ساکنین جزیره هرمز و برخی از شهرهای استان هرمزگان با استفاده از خاک سرخ با نام محلی گلک، ماده‌ای به نام سوراغ تهیه می‌کنند که به عنوان ماده افزودنی و ادویه در تهیه نان و غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع ماده معدنی خاک سرخ جزیره هرمز گل اوخرا است که ذخیره‌ای در حدود یک میلیون تن دارد (حبیبی، ۱۳۸۶). امروزه فعالیت کارخانه خاک سرخ (واقع در شمال شرقی جزیره) به دلیل پاره‌ای مشکلات بسیار محدود است (شکل ۲-۶، ب).

کانسار نمک سنگی و آبی: در حال حاضر سنگ نمک در شمال شرق جزیره هرمز از یک کوه نمکی در حال بهره‌برداری و استخراج است. ذخیره ماده معدنی سنگ نمک در این منطقه ۳۴۴۰۰۰ تن برآورد شده است. (حبیبی، ۱۳۸۶؛ شکل ۲-۶، پ و ت). کانسار نمک آبی جزیره هرمز در ماه‌های گرم سال پس از خشک شدن نمک شورآبراهه‌ها برجای مانده و به مصارف خوراکی می‌رسد. (شکل ۲-۶، ث و ج).

کانسار پتاس: دو آنومالی مجزای نهشته‌های لایه‌ای پتاس در شرق و غرب جزیره هرمز معرفی شده است (تالبوت و همکاران، ۲۰۰۸) به عقیده این محققین نهشته‌های پتاس از نوع سنگی و با تشکیل کانی سیلویت همراه است. با وجود اینکه استخراج کانسار پتاس در این منطقه مقرون به صرفه و قابل رقابت با بازارهای جهانی است اما تاکنون بهره‌برداری از آن آغاز نشده است. طی پیجویی‌های صحرائی رخنمونی از لایه‌های سیلویت در منطقه مشاهده نشد و به نظر می‌رسد این لایه‌ها هنوز به سطح زمین نرسیده باشند. البته نمک‌های زردرنگی در شورآبراهه‌های غرب جزیره دیده شده است که به نظر می‌-

رسد حاصل انحلال و تبخیر شورآبراهه‌های غنی از لیمونیت یا سیلویت باشد (شکل ۲-۶، چ). این نمونه‌ها مورد آزمایش قرار نگرفتند اما مزه تلخ آن‌ها به سیلویت شبیه است. لازم به ذکر است ذخایر پتاس هم به صورت لایه‌ای و هم بصورت تبخیر شورآبراهه‌ها در گنبد نمکی پوهل رخ نموده‌اند (تالبوت و همکاران، ۲۰۰۸؛ شکل ۲-۶، ح).

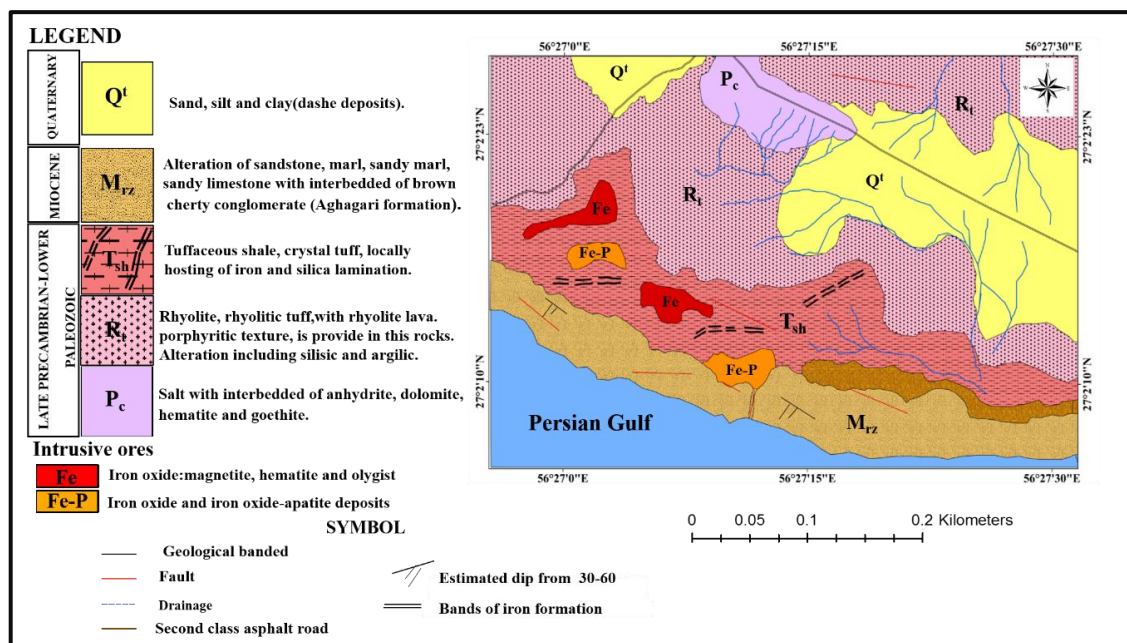
معادن سنگ لاشه: جنس این کانسار از ریولیت است و ذخیره ماده معدنی آن ۴۸ میلیون متر مکعب برآورد شده است (حبیبی، ۱۳۸۶).



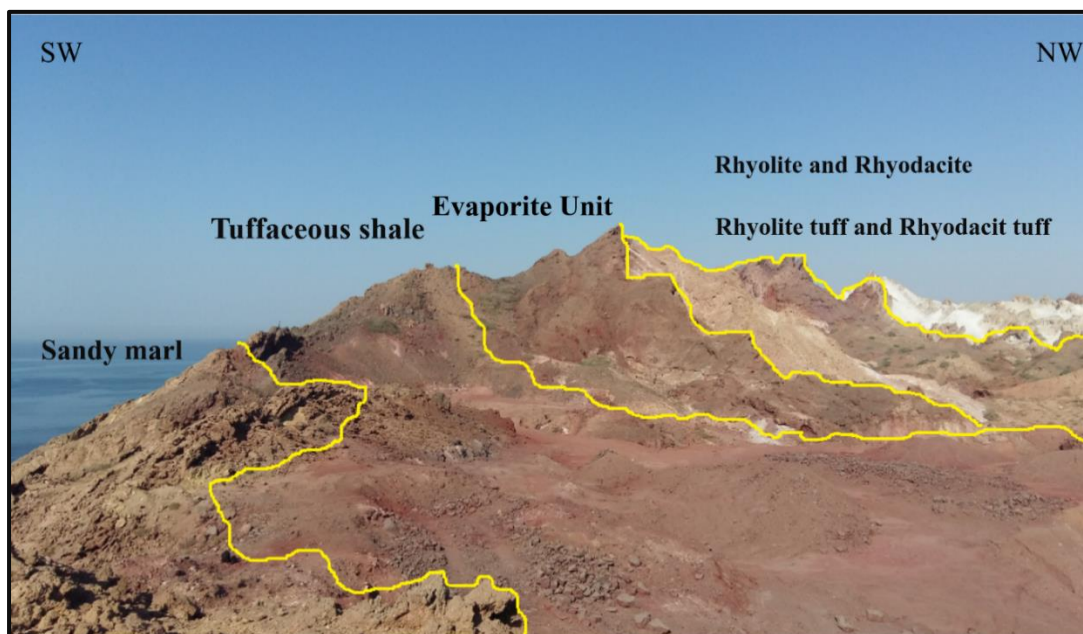
(شکل ۲-۷: الف) معدن خاک سرخ در جنوب جزیره هرمز ب) کارخانه فرآوری خاک سرخ در شمال شرق جزیره هرمز پ) نمایی از سینه کار معدن سنگ نمک (دید به سمت شمال) ت) نمایی از ذخیره سنگ نمک در معدن نمک (دید به سمت غرب) ث) نمک آب بر به صورت شورآبراهه ج) خشک شدن آب شورآبراهه‌ها و باقی ماندن نمک بر روی سطح در ماه‌های گرم سال چ) شورآبراهه‌های زرد رنگ در غرب جزیره که امکان حضور سیلویت و اکسید آهن در آن‌ها وجود دارد ح) نهشته‌های غنی از آهن و پتاس در گنبد نمکی پهل بر حسب درجه اکسیداسیون در طی زمان از رنگ زرد به قهوه‌ایی و پس از سال‌ها به رنگ سیاه تغییر می‌یابند. (تالبوت و همکاران ۲۰۰۸).

۲-۴- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

این منطقه در جنوب‌غرب جزیره هرمز و در ورقه ۱/۲۵۰۰۰ واقع است. از نظر چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه بخشی از سری هرمز محسوب می‌شود تقسیم‌بندی سری هرمز توسط احمدزاده هروی و همکاران (۱۳۶۴) صورت گرفته که طی آن سازند هرمز به چهار واحد H1، H2، H3 و H4 تقسیم شده است که منطقه مورد مطالعه در لایه H4 و تا حدودی در واحد H2 قرار می‌گیرد. واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه که عضوی از این واحد می‌باشند از پرکامبرین تا عهد حاضر تعلق دارند، که از قدیم به جدید واحدهای سنگ‌شناسی زیر رخنمون دارند: (۱) واحدهای مربوط به پرکامبرین پسین-پالئوزوئیک زیرین شامل توالی از واحدهای تبخیری، آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی است، که وسیعترین رخنمون سنگی منطقه را شکل می‌دهند، که واحد شیل توفی و کریستال توف کانی‌سازی منطقه را میزبانی می‌کنند. (۲) مجموعه رسوبی سنوزوئیک با دامنه‌ای از ماسه‌سنگ، مارن، مارن‌ماسه-ای، آهک‌ماسه‌ای با درون‌لایه‌هایی از کنگلومرای چرتی قهوه‌ای (سازند آقاجاری، میوسن) و رسوبات بادی کواترنری می‌باشد (شکل ۲-۷)، (شکل ۲-۸).



شکل ۲-۸: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲-۹: تصویر صحرایی از تناوب لایه‌های گدازه‌ای، آذرآواری، تبخیری و رسوبی در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب). مقیاس.

۲-۴-۱- واحدهای پرکامبرین پسین - پالئوزوئیک زیرین

۲-۴-۱-۱- واحد تبخیری:

قدیمی‌ترین واحدی که در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد سازند تبخیری هرمز می‌باشد که زمان آن را کامبرین آغازین می‌دانند که به شکل گنبدنمکی به سطح زمین راه یافته‌اند، مواد اصلی تشکیل دهنده آن‌ها را آهک‌های سیاه متورق، ژیپس، دولومیت قهوه‌ای چرت‌دار، ماسه‌سنگ‌های قرمز، شیل-های متنوع، سنگ نمک، خاک‌رس، و سنگ‌های آذرین از قبیل دولریت‌های فرسوده، بازالت و ریولیت تشکیل می‌دهد (نبوی، ۱۳۶۹). این واحد بین واحد آذرآواری و شیلی-توفی قرار گرفته به نظر می‌رسد بعد از هر بارندگی ژیپس‌ها دوباره رشد کرده و سطح واحدها را می‌پوشاند (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۱۰: نمایی از واحد تبخیری (دید به سمت جنوب غرب).

۲-۴-۱-۲- واحد آتشفشانی

واحدهای آتشفشانی موجود در منطقه شامل ریولیت و ریوداسیت می باشند :

ریولیت: گدازه‌های ریولیتی منطقه دارای اشکل سخت تا نیمه سختی هستند و به دلیل مقاوت بالایی که ریولیت‌ها نسبت به سنگ‌های پیرامون دارند، در صورت رسیدن به سطح زمین، ارتفاعات گنبد نمکی جزیره هرمز را تشکیل داده‌اند و کم و بیش اختصاصات اولیه خود را حفظ نموده‌اند. بافت عمده ریولیت‌ها، پورفیری با خمیره میکروگرانولار می‌باشد (شکل الف-۲-۱۰).

ریوداسیت: توده‌های ریوداسیتی در جنوب جزیره و در میان برش آهن‌دار برون‌زد دارند. ضخامت این واحد ۸۳ متر و رنگ آن صورتی تا ارغوانی کمرنگ است. این توده‌ها در منطقه به دو صورت: همراه با گدازه‌های ریولیتی و نیز به صورت نفوذ یافته در واحد شیل توفی اما با بافت به شدت خردشده‌ای مشاهده می‌شود که بعضاً کانه‌زایی آهن-آپاتیت بویژه آپاتیت منطقه را همراهی می‌کند. بلورهای آپاتیت در درون شکاف‌های موجود در این ریوداسیت‌ها متبلور شده است. به دلیل آلتراسیون و خرد-شدگی، بلورهای منفرد آپاتیت بصورت پراکنده در حوالی رگه‌های سنگ‌های ریوداسیتی مشاهده می‌شوند (شکل ب-۲-۱۰).



شکل ۲-۱۱: تصاویر صحرایی؛ الف) واحد ریولیتی (دید به سمت جنوب)، ب) واحد ریوداسیتی (دید به سمت جنوب-غرب).

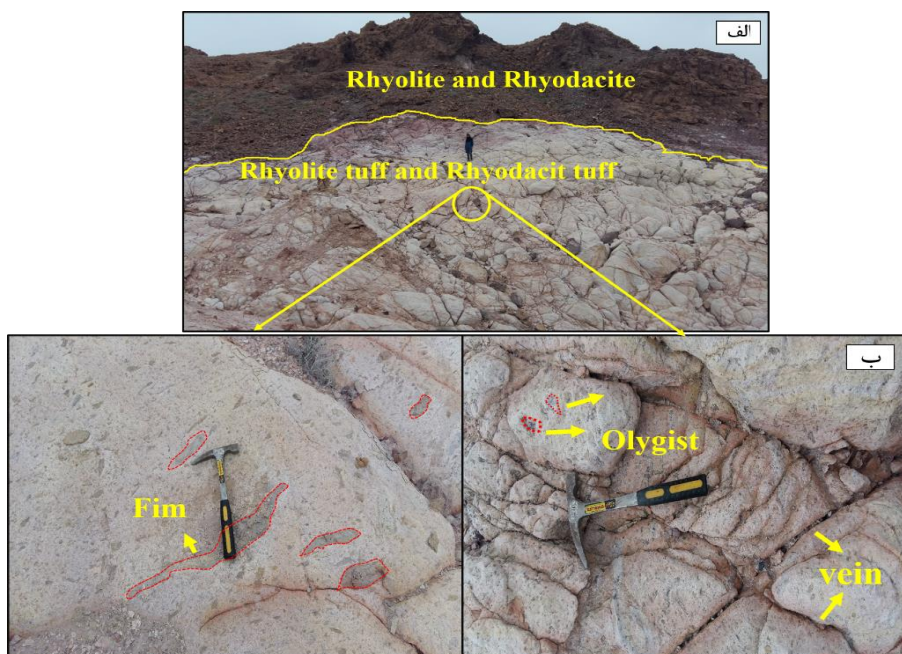
۲-۱-۴-۲- واحد آتشفشانی - رسوبی

در مشاهدات صحرایی این واحد بخش اعظم محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد و به صورت هم‌روند با واحدهای گدازه‌ای رخنمون دارند و به رنگ‌های قهوه‌ای، خاکستری متمایل به زرد تا صورتی بدلیل آغستگی با اکسیدهای آهن و با دگرسانی شدید در منطقه مشخص می‌گردد. سنگ‌های آذرآواری کانسار، دارای دامنه‌ای از توف‌ریولیتی، توف‌ریوداسیتی شیل‌توفی و کریستال‌توف هستند.

توف ریولیتی - توف ریوداسیتی

ترکیب این توالی عمدتاً شامل توف‌ریولیتی و در برخی قسمت‌ها به سمت توف ریوداسیتی میل می‌کند. این سنگ‌ها در واحد H2 و H4 سازند هرمز رخنمون دارند (در بخش سری هرمز به این واحدها پرداخته شده)؛ اما در جزیره هرمز تشخیص اینکه توف‌های ریولیتی به کدام یک از واحدهای مذکور تعلق دارد به راحتی امکان‌پذیر نیست. معمولاً توف‌هایی که به بخش H2 تعلق دارند توده‌های با ضخامت بالا را تشکیل داده و در زیر لایه‌های اوخرا قرار می‌گیرند در حالیکه توف‌های مربوط به واحد H4 ضخامت کمتری داشته و حاوی میان لایه‌هایی از شیل، ماسه‌سنگ و به ندرت ژپس هستند. تشکیل این توف‌ها به صورت دوره‌ای صورت گرفته است به نحوی که در وقفه بین دو فوران، لایه‌های رسوبی و تبخیری فرصت ته‌نشست یافته‌اند. توف‌های ریولیتی به دلیل وجود نمک در بافتشان، شور مزه‌اند و در هنگام بارندگی به دلیل انحلال نمک به راحتی متلاشی می‌شوند این سنگ‌ها بصورت

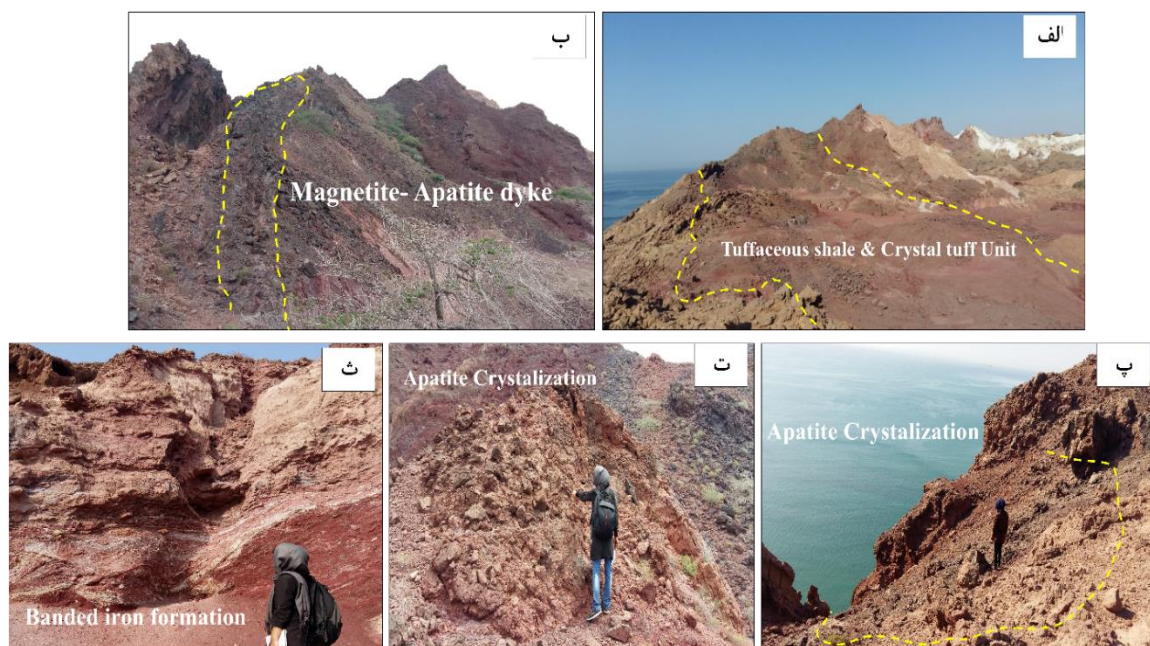
آنکلاو یا قطعات بیگانه توسط نمک حمل شده و به سطح زمین رسیده‌اند. این توالی‌ها با ریولیت‌ها و ریوداسیت‌ها همبندی دارند و دارای رنگ سفید تا خاکستری روشن و یا خاکستری و در ابعاد مختلف از توالی‌های کوچک با مساحتی در حدود 0.013 Km^2 تا توالی‌های بزرگ در حدود Km^2 $0/25$ همراه مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۱۱، الف). معمولاً این توالی به دنبال تکتونیک و حرکات بالا رونده دیابیری خرد شده و سپس توسط سیمانی از جنس خود توفریولیتی به هم جوش خورده‌اند که این پدیده منجر به ایجاد درزه‌ها و رگچه‌هایی در این توده‌ها شده که تا عمق زیادی قابل ردیابی است، این درزه‌ها معمولاً متقاطع بوده و بعضاً آثار چرخش محلول‌های آهن‌دار در شکستگی‌های آن‌ها مشاهده می‌شود. در بیشتر این سنگ‌ها بلورهای اتومورف اولیژیست در داخل حفره‌ها و یا شکستگی‌های سنگ و یا گاهی در خمیره آن مشاهده می‌شوند. بعضاً در بعضی قسمت‌ها حالت جریان یافتگی نیز در توفها مشاهده می‌شود، اثرات جریان یافتگی فیام‌های تیره‌رنگ (قطعات پومیس که در اثر حرارت و فشار بالا دچار طولیل شدگی و جهت‌یافتگی شده‌اند) در توفها به خوبی دیده می‌شود که نشان‌دهنده روان شدن به دلیل بالا بودن میزان مواد فرار است (شکل ۲-۱۱، ب).



شکل ۲-۱۲: الف) تصویر صحرایی از واحد توف ریولیتی تا ریوداسیتی (دید به سمت غرب)، ب) نمایی نزدیک از واحد توفی و نمایش عدسی‌های اولیژیست و فیام (انکلاوهای جریان یافته).

شیل توفی - کریستال توف

این واحد از نظر وسعت بعد از واحد آتشفشانی- رسوبی قرار می‌گیرد و عمدتاً میزبان کانه‌زایی‌های منطقه از جمله کانی‌سازی‌های منطقه شامل اکسیدهای آهن (اولیژیست و هماتیت) بصورت نوارهای متناوب با سیلیس‌های آهن‌دار (ژاسپیلیت)، توده کریستال توف، توده آهک‌ماسه‌ای، دربرگیرنده انواع کانه‌زایی آهن- آپاتیت در منطقه که به سه صورت (۱) نفوذیافته در واحد شیل توفی و کریستال توف، (۲) همراه با گدازه‌های ریوداسیتی تزریق شده به واحد شیل توفی و (۳) همراه با دایک‌های مگنتیتی نفوذ- یافته در بخش شیلی توفی. علاوه بر انواع کانه‌زایی‌های نام برده، این واحد همچنین دارای کانه‌زایی اکسید آهن به صورت هماتیت و لیمونیت در سطح است که حاصل فرآیندهای سوپرژن شکل گرفته می‌باشد (شکل ۲-۱۲).



شکل ۲-۱۳: تصاویر صحرایی؛ الف) واحد شیل توفی (دید به سمت جنوب)، ب) دایک مگنتیتی تزریق شده در واحد شیل توفی (دید به سمت جنوب)، پ) کانه‌زایی آهن- آپاتیت در بخش شیل توفی (دید به سمت جنوب غرب)، ت) کانه‌زایی آهن- آپاتیت واقع در بخش ریوداسیتی (دید به سمت جنوب)، ث) کانه‌زایی آهن‌نواری (دید به سمت جنوب).

۲-۴-۲- واحدهای سنوزوئیک

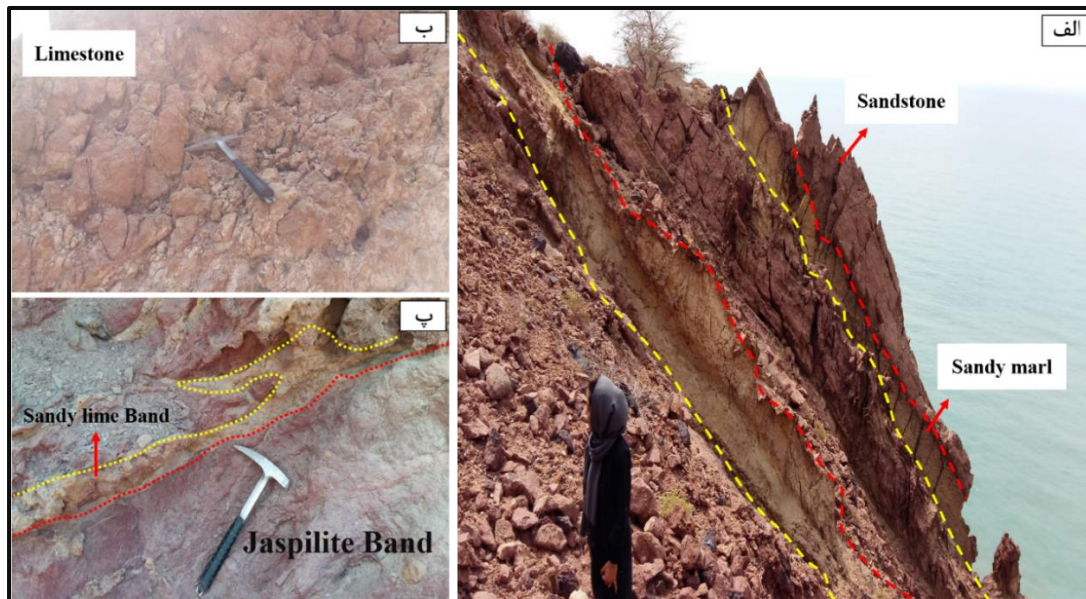
این واحد از لحاظ سنگ‌شناسی، دامنه‌ای از ماسه‌سنگ‌های آهکی قهوه‌ای متمایل به قرمز تیره، مارن‌های زرد متمایل به کرم، مارن‌ماسه‌ای، آهک‌ماسه‌ای، با درون‌لایه‌هایی از کنگلومرای چرتی قهوه‌ای، رگه‌های گچ و سیلت (سازند آقاجاری، میوسن) و رسوبات بادی کواترنری می‌باشد. از این مجموعه از دو واحد ماسه‌سنگ، مارن‌ماسه‌ای و آهک‌ماسه‌ای مقطع زده شد که به طور مختصر به ویژگی‌های آن‌ها پرداخته شده:

۲-۴-۲-۱- ماسه‌سنگ و مارن‌ماسه‌ای

در مشاهدات صحرایی، این واحد از زرد متمایل به کرم تا قهوه‌ای متمایل به قرمز تیره تغییر رنگ می‌دهد و به صورت لایه‌های بسیار بزرگ در امتداد ساحل با شیبی حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه واقع شده‌اند، سواحل در حاشیه جنوبی جزیره به دلیل شیب زیاد این لایه‌ها به صورت پرتگاهی با ارتفاع بیش از ۱۰۰ متر مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۱۳، الف).

۲-۴-۲-آهک ماسه ای

این توده بصورت نفوذی و ثانویه در واحد شیل توفی تزریق شده که در بعضی قسمت‌ها بطور متناوب با باندهای ژاسپیلیتی قرار گرفته است (شکل ۲-۱۳، ب و پ).

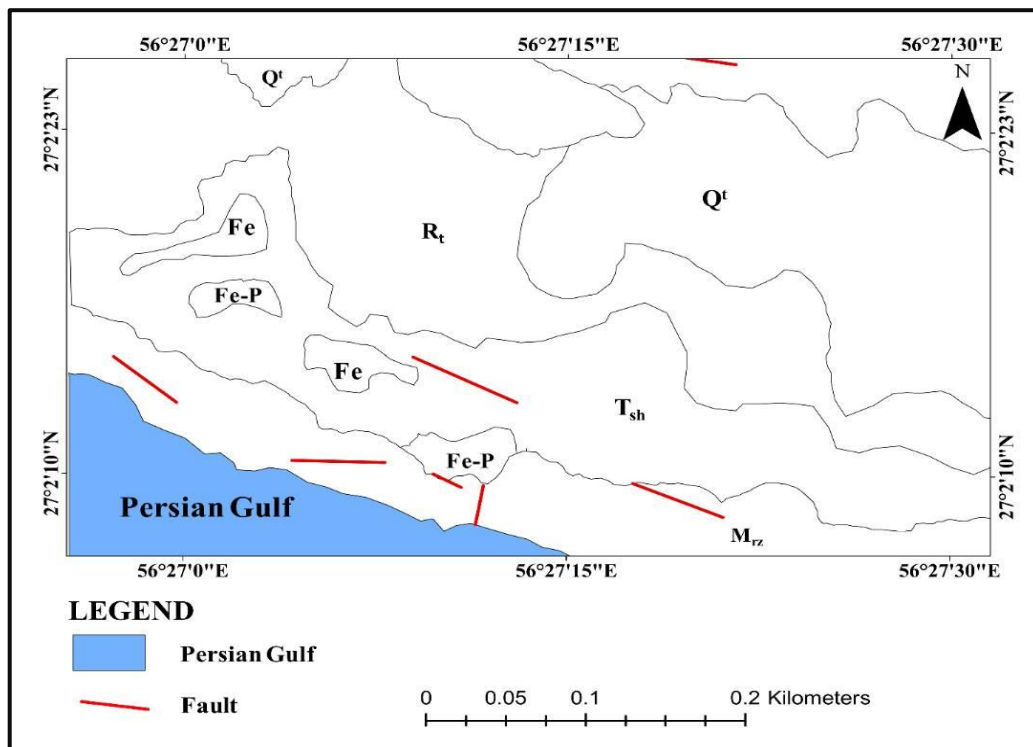


شکل ۲-۱۴: تصاویر صحرایی؛ الف) تناوبی از مارن ماسه‌ای و ماسه‌سنگ (دید به سمت شمال)، ب) نمایی نزدیک از کانه‌زایی آهک ماسه‌ای، پ) تناوبی از باندهای ژاسپیلیت به همراه آهک ماسه‌ای.

۲-۴-۳- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه:

جزیره هرمز در حقیقت خود یک دیپایر نمکی است که در منتهی‌الیه شرق خلیج فارس و نزدیک تنگه هرمز قرار گرفته است. گنبد‌های نمکی هرمز در خلیج فارس جزایر کوچکی را تشکیل می‌دهند. این گنبد‌ها به درون چین‌های دوران سوم کوه‌های زاگرس بدون داشتن جهت خاصی نفوذ کرده‌اند بطوریکه تمام موارد و محل‌های ممکن از قبیل قله، پهلو، محور تاقدیس و ناودیس در روی گسل‌ها دیده می‌شود. از نگاه تکتونیکی، ساختارهای ناحیه بیشتر تناوبی از تاقدیس‌ها و ناودیس‌های موازی‌اند که روند عمومی آن‌ها کم و بیش خاوری-باختری است. علاوه بر این در مجاورت با گنبد‌های نمکی سری هرمز تغییراتی در روند چین‌ها دیده می‌شود. بیشترین تغییر در مجاورت گسل شمالی-جنوبی

میناب دیده می‌شود که حرکت‌های امتدادلغز و شیب‌لغز آن تغییرات قابل توجهی در روند چین‌ها ایجاد نموده است (شکل ۲-۱۴).



شکل ۲-۱۵: نقشه تکتونیک منطقه مورد مطالعه.

فصل سوم:

سنگ‌شناسی

۱-۳- مقدمه

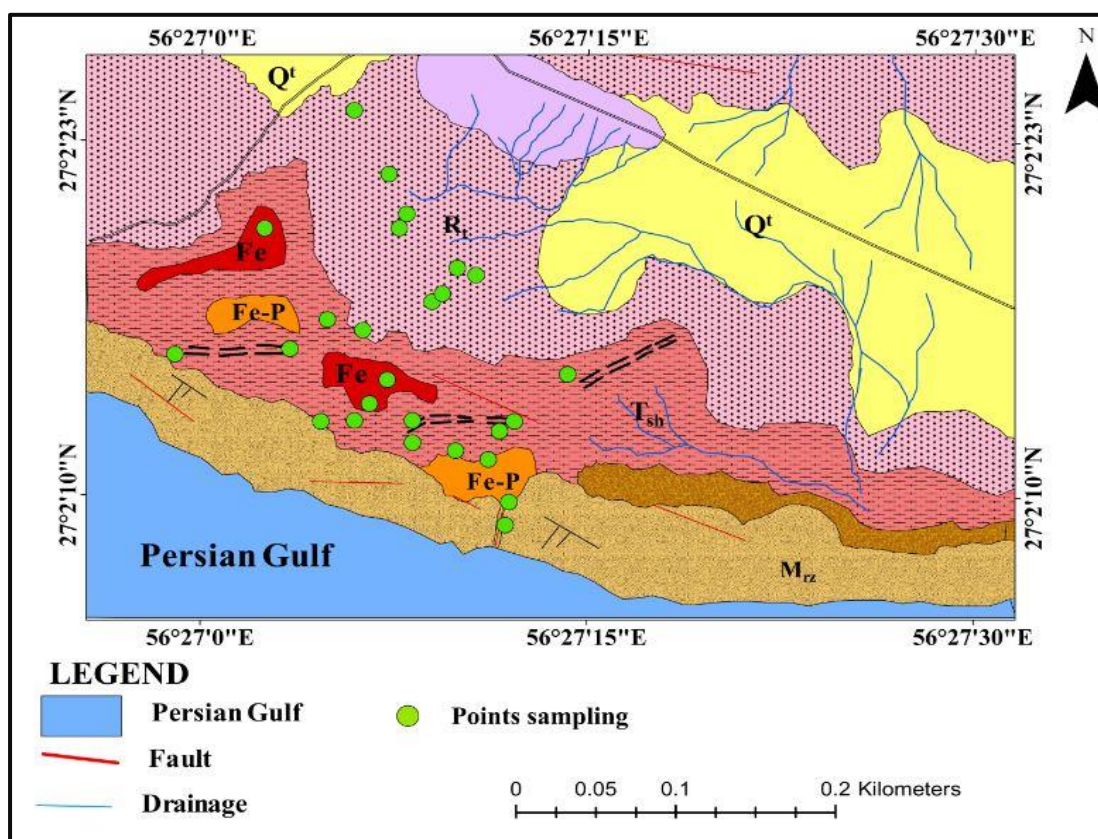
به منظور مطالعات سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه، پیمایش‌های صحرایی، نمونه‌برداری، تهیه مقاطع نازک، نازک‌صیقلی و مطالعات آزمایشگاهی انجام شد. برداشت نمونه‌ها با هدف تفکیک سن و جنس لایه‌ها از لحاظ سنگ‌شناسی صورت پذیرفت. نمونه‌ها از سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی-رسوبی و رسوبی جمع‌آوری شدند و در نهایت بر اساس نتایج این مطالعات نقشه زمین‌شناسی منطقه تکمیل شده است. موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده جهت مطالعات سنگ‌شناسی در (جدول ۱-۳) و (شکل ۱-۳) نشان داده شده است.

جدول ۱-۳: نام و موقعیت نمونه‌های سنگی جمع‌آوری شده

Serial No.	X	Y	Lithology
HI-T-1	445671	2990871	Rhyolitic tuff
HI-T-3	445745	2990802	Rhyolite
HI-T-5	445624	2990740	Rhyodacitic tuff
HI-T-7	445652	2990916	Rhyodacitic tuff
HI-T-8	445786	299056	Sandy marl
HI-T-9	445780	2990546	Sandy marl
HI-T-10	445786	2990637	Crystal tuff
HI-T-11	4445699	2990855	Rhyolitic tuff
HI-T-12	4445699	2990855	Rhyolitic tuff
HI-T-13	445579	2990637	Sandy lime stone
HI-T-18	445698	2990772	Rhyolite
HI-T-19	445709	2990781	Rhyodacitic tuff
HI-T-20	445725	2990810	Tuff
TP-1	445615	2990938	Iron oxide-apatite
TP-2	445423	2990713	Tuffaceous shale with iron
TP-3	445663	2990855	Rhyodacitic tuff with iron
TP-4	445586	2990752	Dacite with iron
TP-5	445776	2990520	Iron oxide-apatite
TP-7	445677	2990613	BIF
TP-8	445758	2990594	Rhyolitic tuff with iron
TP-9	445786	2990637	Iron oxide-apatite
TP-10	445723	2990604	BIF
TP-11	445677	2990613	Rhyodacitic tuff with iron

P-1	445770	2990626	Olygist-hematite ore
P-2	445631	2990657	Hematite ore
P-3	445843	2990690	Magnetite-hematite ore
P-4	445615	2990638	Olygist ore
P-5	445677	2990613	BIF
P-6	445519	2990855	Magnetite-hematite ore
P-7	445650	2990684	Olygist ore
P-8	445776	2990520	Iron oxide-apatite
P-9	445546	2990719	Iron oxide-apatite

مطالعات سنگ شناسی این پایان نامه شامل بررسی ۱۷ عدد مقطع نازک و ۱۱ عدد مقطع نازک صیقلی می باشد که در آن ها کانی های اولیه و ثانویه، اندازه کانی ها، نوع بافت، رابطه زمانی و ارتباط با کانی سازی مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳-۱: موقعیت نقاط نمونه برداری بر روی تصویر (Google earth) جنوب غرب جزیره هرمز.

۲-۳- واحدهای آتشفشانی

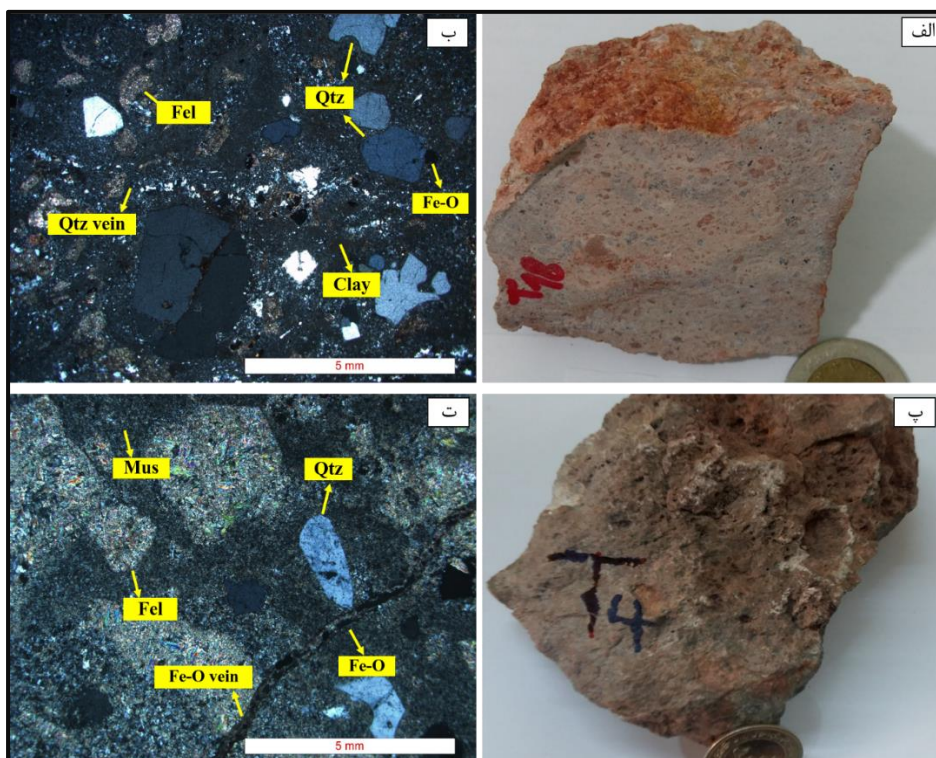
بر اساس شواهد صحرایی و مطالعه مقاطع نازک سنگ‌های آتشفشانی در منطقه شامل ریولیت و ریوداسیت هستند که بیشتر بصورت گدازه تظاهر دارند. نمونه‌های HI-T-4 و HI-T-18 از این واحد برداشت شده‌اند و در ادامه هر کدام از این واحدها توصیف شده‌اند.

۱-۲-۳- ریولیت

بر پایه مطالعات میکروسکوپی، ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها شامل درشت‌بلورهای کوارتزخلیجی و رگه-ای، فلدسپات‌های آلکالن، کلریت، مسکوویت و اکسید آهن (هماتیت و گوتیت) می‌باشند که در یک زمینه ریزدانه قرار دارند. در این سنگ فلدسپات‌ها در حال تجزیه به سریسیت، کانی‌های فرومنیزین به کلریت و اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) می‌باشند. گسترش زیاد اکسید آهن (هماتیت، گوتیت) در این سنگ‌ها به دلیل احتمال وجود کانی‌های فرومنیزین از قبیل بیوتیت بوده است. در این سنگ‌ها اغلب کانی‌ها از جمله بیوتیت به دلیل دگرسانی زیاد، از بین رفته‌اند. بافت غالب در این سنگ‌ها، پورفیری است و دگرسانی سیلیسی و رسی را نیز متحمل شده‌اند (شکل ۲-۳، الف و ب).

۲-۲-۳- ریوداسیت

ریوداسیت‌ها دارای بافت پورفیری و شامل کانی‌های کوارتزخلیجی، کوارتز ریزدانه، کانی‌های رسی، سریسیت، مسکوویت، بیوتیت، کلریت و اکسیدهای آهن بصورت پراکنده و رگه‌ای در متن سنگ می‌باشند (شکل ۲-۳، پ و ت).



شکل ۳-۲: الف و پ) تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی از نمونه ریولیت، ب و ت) تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی از نمونه ریوداسیت حاوی فنوکریست‌های کوارتزخلیجی، زیرکن و اکسید آهن در زمینه سیلیسی فایده‌شده و کانی‌های -رسی، Qtz: کوارتز، Zr: زیرکن، Bi: بیوتیت Fe-O: اکسید آهن، Qtz vein: رگه کوارتز، Fe-O vein: رگه اکسید آهن، Clay: رس.

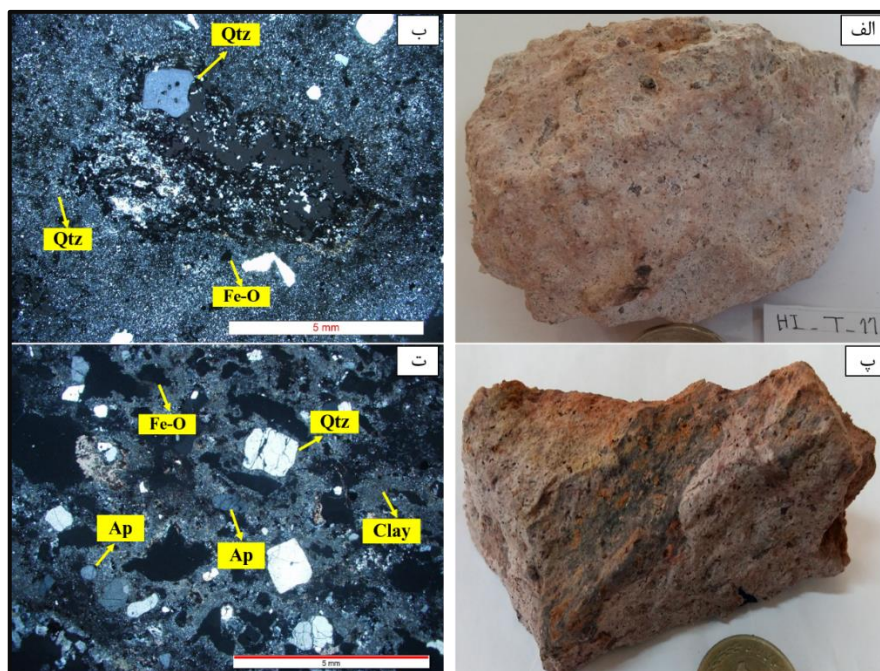
۳-۳- واحدهای آذرآواری

در مشاهدات صحرایی این واحد بخش اعظم منطقه مورد مطالعه را دربرمی‌گیرد و به صورت هم‌روند با واحدهای گدازه‌ای رخنمون دارند و به رنگ‌های قهوه‌ای، خاکستری متمایل به زرد تا صورتی بدلیل آغستگی با اکسیدهای آهن و با دگرسانی شدید در منطقه مشخص می‌گردد. سنگ‌های آذرآواری دارای دامنه‌ای از توف ریولیتی، توف ریوداسیتی، کریستال توف و شیل توف هستند.

۳-۳-۱- توف ریولیتی-ریوداسیتی

ترکیب این توالی عمدتاً شامل توف ریولیتی و در برخی قسمت‌ها به سمت توف ریوداسیتی میل می‌کند. بافت غالب در این سنگ‌ها، پورفیری است و حفرات موجود در آن‌ها توسط سیلیس پر شده‌است (شکل ۳-۳ الف و پ). این سنگ‌ها دگرسانی سیلیسی و رسی را نیز متحمل شده‌اند. در توف‌های

ریولیتی از کانی‌های اولیه سنگ، فقط فنوکریستال‌های کوارتز باقی مانده و فلدسپات‌ها به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. بلورهای ریز کوارتز همراه با آپاتیت، فلدسپات‌های آکالن، کانی‌های رسی و فاز اکسید آهن بخش اصلی زمینه سنگ را شکل می‌دهند (شکل ۳-۳ ب و ت). در این سنگ فلدسپات‌ها در حال تجزیه به کانی‌های رسی و سریسیت، کانی‌های فرومنیزین به کلریت و اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) می‌باشند. گسترش زیاد اکسید آهن (هماتیت، گوتیت) در این سنگ‌ها به دلیل احتمال وجود کانی‌های فرومنیزین از قبیل بیوتیت بوده است.



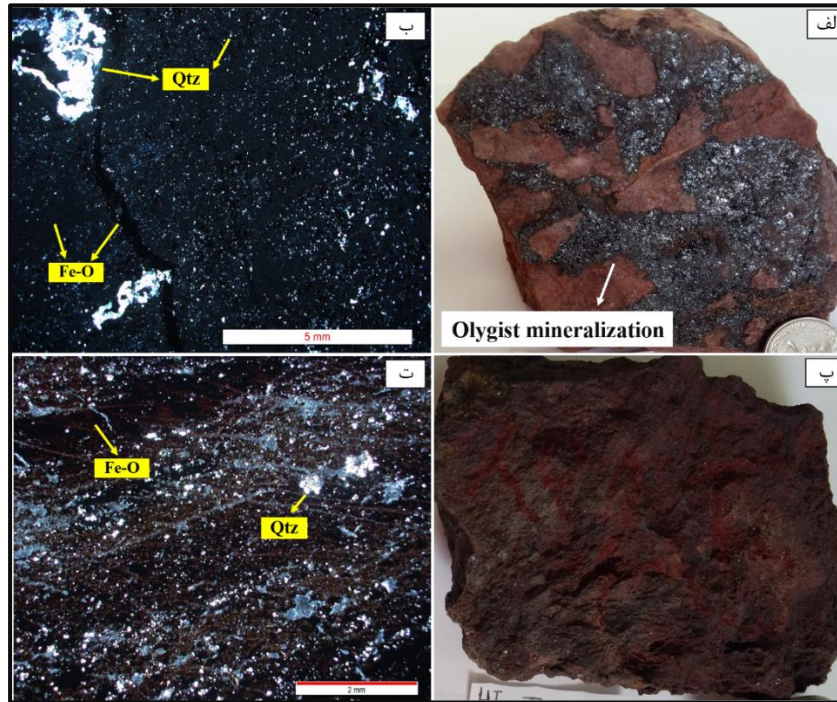
شکل ۳-۳: تصاویر صحرایی - توالی از توف‌های ریولیتی تا ریوداسیتی، (ب) حالت جریان‌ی در توف‌ها، (پ) وجود درزه و شکستگی در توف‌های منطقه، (ت) تصویر میکروسکوپی از توف ریولیتی در نور XPL. در این مقطع کوارتز هم بصورت خلیجی و هم بصورت رگه رگچه به همراه اکسید آهن حضور دارد. Fe-O: اکسید آهن، Qtz: کوارتز، Clay: رس، AP: آپاتیت.

۳-۲-۳-۳- کریستال توف

ترکیب این واحد شامل فنوکریست‌های کوارتز که تبلور مجدد یافته و فاز اکسید آهن می‌باشد. فاز اکسید و هیدروکسید آهن (گوتیت، اولیژیست) هم بصورت رگه-رگچه و هم در زمینه سنگ دیده می‌شود که حاکی از فرآیندهای سوپرژن و سطحی در منطقه است.

۳-۳-۳- شیل توفی

بر اساس مطالعات میکروسکوپی این سنگ به طور عمده شامل کانی‌های کوارتز، مسکوویت، سربیسیت، کلریت و کانی‌های رسی است. این واحد سنگی به دلیل هجوم سیالات غنی از آهن و سیلیسیم، غنی از اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و کوارتز می‌باشد.



شکل ۳-۴: الف و ب) تصاویر صحرایی کریستال توف، پ) تصویر نمونه دستی همراه با رگه رگچه‌هایی از کانه زایی الزیسیست، ت) کانه زایی اولیژیست بصورت رگه رگچه در بین درز و شکاف‌های سنگ، این رگه‌ها در تصویر میکروسکوپی نیز مشهود است. ت) رگه‌های اکسید آهن و رگچه‌های کوارتز در زمینه کوارتزی. Fe-O: اکسید آهن، Qtz: کوارتز.

۳-۴- واحد رسوبی

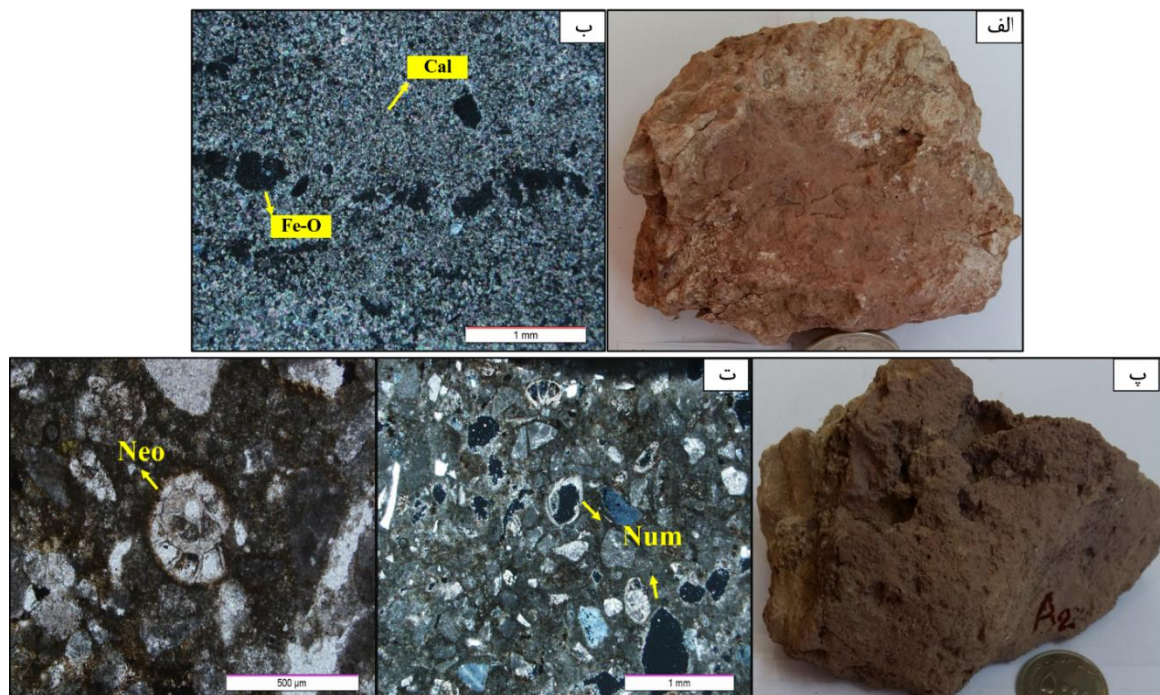
از دو واحد مارن ماسه‌ای و آهک ماسه‌ای این مجموعه مقطع تهیه شده، که به طور مختصر به ویژگی‌های آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۳-۴-۱- سنگ آهک ماسه ای

از لحاظ ویژگی‌های میکروسکوپی متشکل از کانی‌های کلسیت به همراه دانه‌های کوارتز ریزدانه است. اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) به صورت پراکنده در متن سنگ و نیز به شکل رگه و رگچه‌ای وجود دارند (شکل الف و ب).

۳-۴-۲- مارن ماسه‌ای

کانی‌های سازنده سنگ بیشتر کوارتز، کلسیت، فلدسپار، کانی‌های رسی و فسیل‌های نابرجا از جنس نئوروتالیا و نومولیت می‌باشند، که توسط سیمان کربناتی- رسی به هم متصل شده‌اند (شکل ت).



شکل ۳-۵: الف و پ- تصاویر نمونه‌دستی از واحد رسوبی مارن ماسه‌ای و سنگ آهک ماسه‌ای، ب- تصویر میکروسکوپی از آهک ماسه‌ای همراه با رگه‌های اکسید آهن - ت- تصویر میکروسکوپی مارن ماسه‌ای و نمایش فسیل نئوروتالیا و نومولیت.

فصل چہارم:

کانہ زاپی و دگرسانی

۴-۱- مقدمه

یکی از نکات مهم در مطالعه‌ی هر کانساری، توجه به عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی می‌باشد. کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی‌ها می‌توانند ساختاری و چینه‌ای باشند. شکل و گسترش جانبی و عمقی کانی‌سازی‌ها توسط این عوامل کنترل می‌شوند. در این بخش بر پایه‌ی شواهد زمین‌شناسی صحرائی و مطالعه نمونه‌های دستی و میکروسکوپی اشکال مختلف کانی‌سازی‌های آهن و آهن-آپاتیت منطقه هرمز بررسی می‌گردد. کانی‌سازی در این منطقه به شکل‌های نواری، دایک‌مانند، توده-ای، انتشاری، رگه-رگچه‌ای و برشی مشاهده می‌گردد. کانی‌سازی‌های هرمز با دگرسانی همراه می‌باشند، مناطق دگرسانی گرمابی نتیجه واکنش‌های متاسوماتیکی سیالات و سنگ‌های دیواره برای رسیدن به تعادل‌های شیمیایی و حرارتی است (McCuaig & Kerrich, 1998). بنابراین، دگرسانی را میتوان حاصل واکنش سیالات گرمابی با سنگ‌های دیواره و تشکیل کانی‌های جدید از طریق واکنش سنگ-سیال دانست (Mikucki, 1994). در مناطق برشی، گسلی، درزه و سنگ‌های واکنش پذیر دگرسانی‌ها از گسترش بیشتری برخوردار هستند. شناخت محصولات و فرایندهای دگرسانی، که همراه با کانه‌زایی دیده میشوند، اساس شناسایی فرایندهای مربوط به تشکیل کانسار است و کلیدی برای اکتشاف کانسارها می‌باشند (Lentz, 1994). مجموعه کانی‌هایی که در دگرسانی‌های مختلف وجود دارند در نتیجه‌ی تغییرات فشار، درجه حرارت و ترکیب شیمیایی به وجود می‌آیند (Evans, 1997)، در این میان نقش عوامل شیمیایی و حرارتی برجسته است. مطالعات صحرائی، سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی به روش XRD وجود دگرسانی‌های آرژلیک، سیلیسی، سریسیتی، کربناتی و اکسید آهنی را در محدوده مورد بررسی نشان می‌دهند.

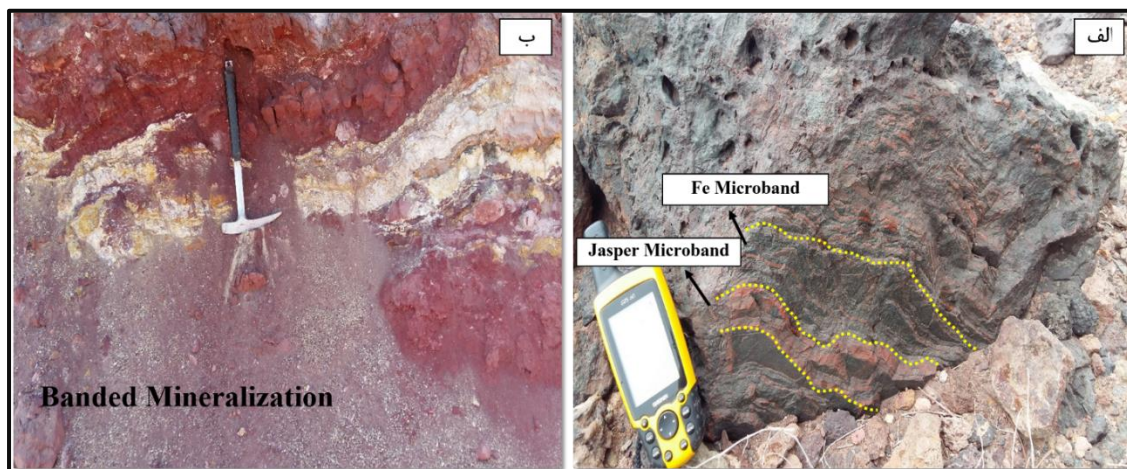
۴-۲- کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه

از مجموعه سنگ‌های موجود در منطقه، واحد گدازه‌ای ریوداسیت، واحد آذرآواری کریستال توف و

شیل توفی نقش سنگ‌میزبان کانه‌زایی را ایفا می‌کند. کانی‌سازی آهن و آهن-آپاتیت به شکل‌های نواری، دایک‌مانند، توده‌ای، برشی و رگه-رگچه‌ای وجود دارند. در ادامه به شرح کامل شکل‌های مختلف کانه‌زایی‌های در منطقه پرداخته می‌شود.

۴-۲-۱- کانه‌زایی نواری

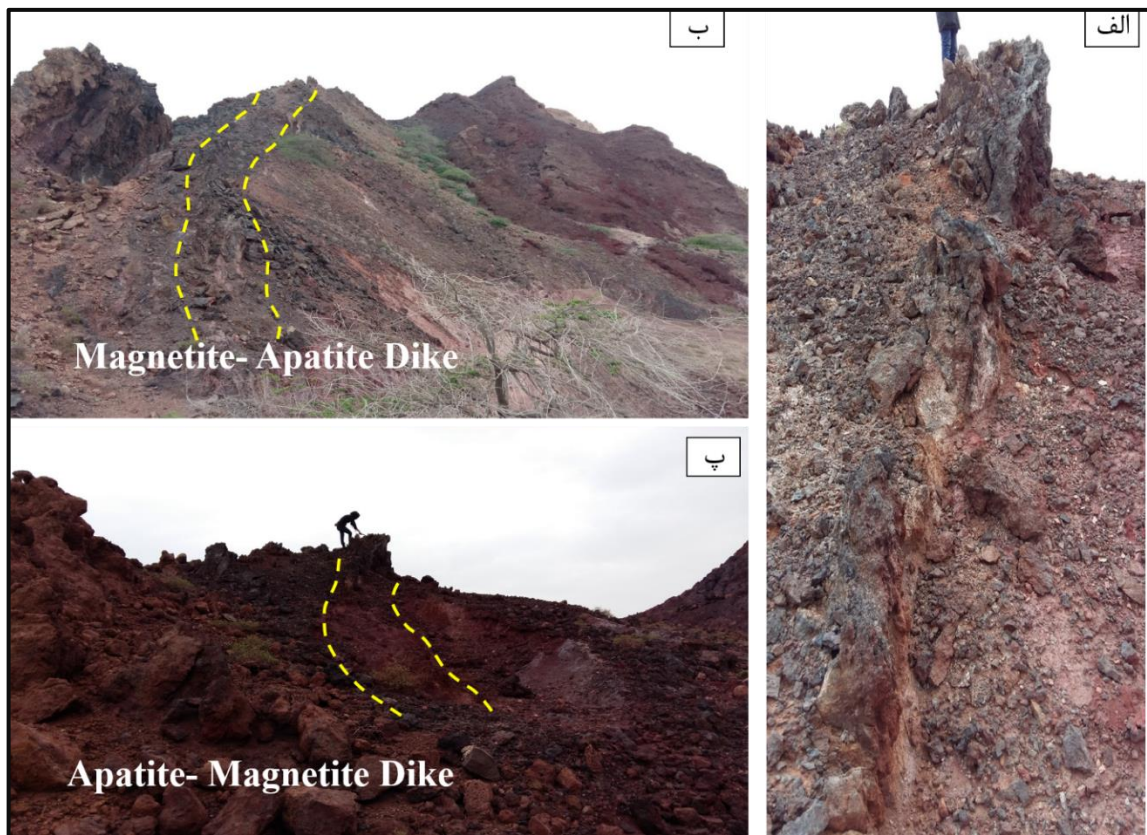
کانه‌زایی نواری یکی از شاخص‌ترین تیپ‌های کانه‌زایی در منطقه است که بصورت نوارها یا نوارهایی متناوب از آهن شامل (اولیژیست و هماتیت) با سیلیس‌های آهن‌دار (ژاسپیلیت) تکرار می‌شوند (شکل ۴-۱، الف). در بعضی قسمت‌ها این نوارها بشدت آلتزه شده و بصورت رسوب درآمده‌اند (شکل ۴-۱، ب). این نوع کانه‌زایی بیشتر با واحد شیل توفی همراه است و از وسعت زیادی در منطقه برخوردار می‌باشد. کانه اصلی آن اولیژیست و هماتیت و ضخامت نوارها از چند میلیمتر تا چند سانتیمتر تغییر می‌کند.



شکل ۴-۱: تصاویر صحرایی کانه‌زایی نواری در منطقه؛ الف) تناوبی از باندهای آهن (عمدتاً اولیژیست و ژاسپیلیت)، ب) باند هماتیت با سیلیس به شکل آلتزه.

۴-۲-۲- کانه‌زایی دایک

شکل دیگری از کانه‌زایی در منطقه بصورت دایک‌هایی با طول ۱۳ و عرض ۳ متر در واحد شیل توفی تزریق شده است (شکل ۴-۲، الف). این شکل کانه‌زایی حامل کانی‌های مگنتیت و آپاتیت است که از دایک‌های عمدتاً مگنتیتی تا عمدتاً آپاتیتی متغیرند (شکل ۴-۲، ب و پ).



شکل ۴-۲: الف) تصویری از نمای نزدیک شامل رخداد کانه‌زایی مگنتیت-آپاتیت در منطقه، ب و پ) تصاویری از کانه-زایی مگنتیت-آپاتیت در منطقه که بصورت دایک رخ داده است.

۴-۲-۳- کانه‌زایی توده‌ای

کانه‌زایی توده‌ای قسمت اعظم بخش کانه‌زایی کانسنگ اکسید آهن-آپاتیت‌دار را در برمی‌گیرد. در منطقه مورد مطالعه کانسنگ اکسید آهن-آپاتیت‌دار در دو بخش، بصورت همراه با توده‌های ریوداسیتی و همچنین، به عنوان میزبان در واحد شیل‌توفی وجود دارد (شکل ۳-۴، الف و ب). این شکل از کانه‌زایی اکسید آهن-آپاتیت بصورت کریستال‌های شفاف تا نیمه‌شفاف به رنگ‌های زرد تا سبز فسفری مشاهده می‌شود. کریستال‌های آپاتیت توده‌ای در بخش شیل‌توفی دارای اشکال بی-پیرامیدال و در اندازه‌های بزرگتر نسبت به کریستال‌های موجود در توده ریوداسیتی هستند و دارای بیشترین حجم آپاتیت‌زایی در منطقه می‌باشند، این در حالی است که کریستال‌های آپاتیت موجود در

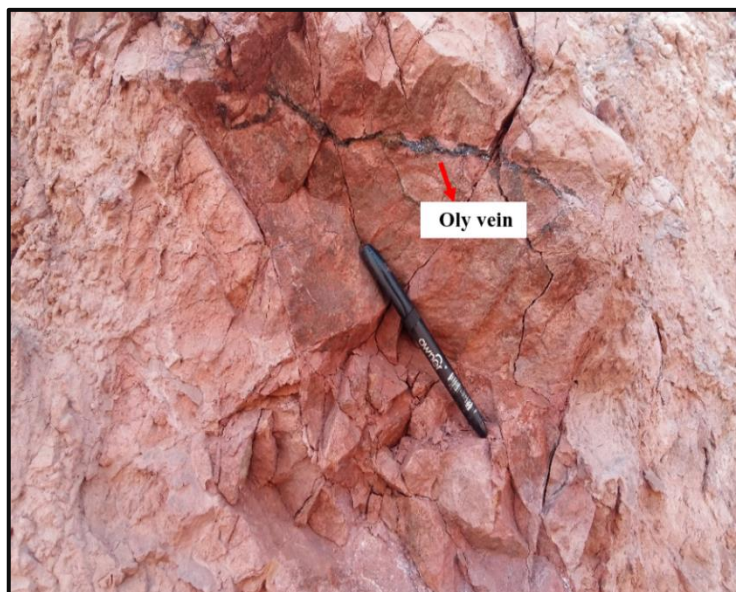
توده ریوداسیتی بصورت اشکال منوپیرامیدال (شش‌وجهی تک‌سر) و اندازه بلورها بین (۳-۵ cm) در تغییر است.



شکل ۴-۳: تصاویر صحرایی الف) کانه‌زایی توده‌ای آپاتیت در بخش ریوداسیتی، ب) کانه‌زایی توده‌ای آپاتیت در بخش شیل‌توفی.

۴-۲-۴- کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای

آنچه که به عنوان این نوع کانه‌زایی در منطقه اطلاق می‌شود شامل انواع رگه-رگچه‌های میکروسکوپی مگنتیت، اولیژیست، هماتیت، گوتیت و آپاتیت است که بعضاً با کلسیت و کوارتز همراهی می‌شوند. این کانه‌زایی به طور گسترده رگه‌ها و شکستگی‌های بین قطعات یک سنگ را پر می‌کند و کانه‌زایی دایک‌مانند و سنگ‌های میزبان منطقه از جمله سنگ‌های توف‌شیلی را قطع می‌کنند. ساخت رگه-رگچه‌ای در منطقه مورد مطالعه تنها در مورد کانه‌ی اولیژیست قابل مشاهده می‌باشد و در مورد سایر کانه‌ها این کانه‌زایی در مقاطع میکروسکوپی و بصورت بافت رگه-رگچه‌ای قابل مشاهده هستند (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۴: کانه‌زایی رگه-رگچه اولیژیست.

۴-۲-۵- کانه‌زایی برشی

در این نوع کانه‌زایی قطعات زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده از سنگ درونگیر توده نفوذی، در داخل متنی از کانسنگ‌های آهن نواری به چشم می‌خورد، این قطعات به شدت دگرسان شده و به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۴-۶، الف). در نمونه‌های دستی، این قطعات به رنگ کرم و سفید دیده می‌شوند و اندازه آن‌ها از میلی‌متر تا چند سانتی‌متر است (شکل ۴-۶، ب). به نظر می‌رسد سیال حمل‌کننده آهن، به علت داشتن فشار زیاد نسبت به محیط در برگرفته‌اش، باعث برشی شدن سنگ میزبان در اطراف کانسار شده است.



شکل ۴-۵: الف و ب) تصاویر صحرایی و نمونه دستی از کانه‌زایی برشی در منطقه.

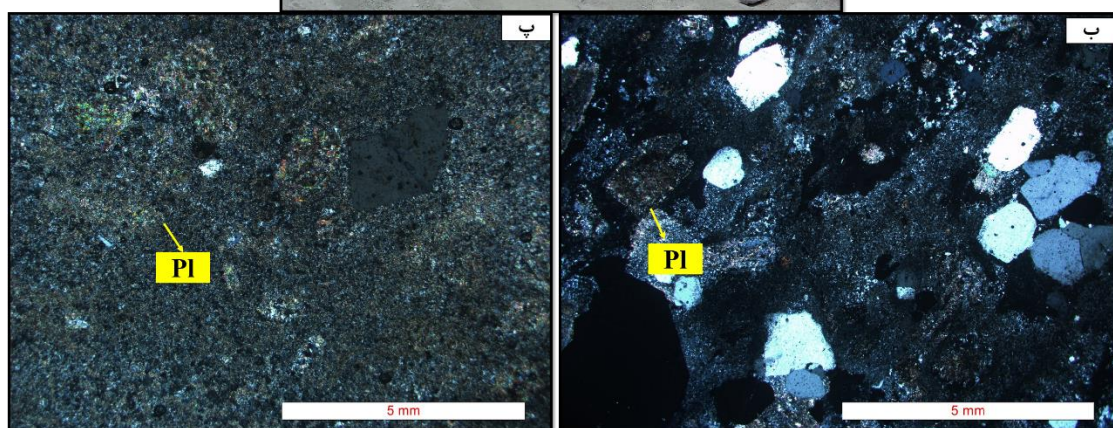
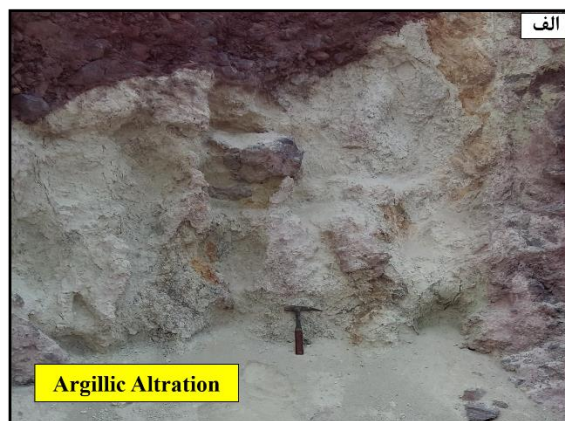
۴-۳- دگرسانی

بنا به تعریف، دگرسانی شامل انواع تغییرات فیزیکی و شیمیایی در کانی‌های تشکیل دهنده سنگ، در اثر واکنش با سیالات هیدروترمالی می‌باشد (Beane, 1994). شناخت محصولات و فرآیندهای دگرسانی که همراه کانی‌زایی وجود دارند، یکی از بنیان‌های شناسایی فرآیندهای مربوط به نحوه تشکیل کانسار است و باعث پیشرفت در تکنیک‌های اکتشافی می‌شود (Lentz, 1994). بنابراین مطالعه و بررسی ذخایر معدنی، نه تنها اطلاعاتی درباره چگونگی تشکیل یک کانسار را ارائه می‌دهد، بلکه موجب تسهیل و تسریع در فعالیت‌های اکتشافی می‌شود. دگرسانی سنگ دیواره، با توجه به ماهیت سنگ میزبان (شامل شیمی، اندازه، حالت فیزیکی و میزان تروایی سنگ میزبان) و ترکیب محلول‌های کانه‌ساز شامل فشار، دما، شیمی، pH و Eh کنترل می‌شود (Evans, 1993). تغییراتی که دگرسانی در سنگ‌ها ایجاد می‌کند شامل تغییرات مینرالوژیکی و تغییرات شیمیایی می‌باشد و به وجود آمدن انواع مجموعه‌های دگرسانی، بوسیله عواملی از جمله نوع واکنش شیمیایی، ترکیب شیمیایی سنگ‌های دیواره، درجه و فشار محیط (Guilbert & Park, 1997) به مشخصات خاستگاه، مشخصات سیال کانه‌دار، حرارت و فشار انجام واکنش بستگی دارد (یعقوب پور، ۱۳۸۳). با توجه به اهمیت شناخت دگرسانی‌های همراه کانه‌زایی، در این بخش به بررسی دگرسانی‌های همراه با کانی‌زایی آهن-آپاتیت جزیره هرمز پرداخته می‌شود. اطلاعات این مبحث مربوط به بازدیدهای صحرایی، مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک-نازک صیقلی و آنالیز XRD است. مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد، که بیشتر سنگ‌های منطقه مورد مطالعه دچار دگرسانی شده‌اند، دگرسانی‌های موجود در این کانسار از نظم خاصی پیروی نمی‌کنند، ولی به طور کلی در زون‌های کانه‌دار، دگرسانی به صورت گسترده و به شکل تقریباً حاشیه‌ای متقارن و باریک در اطراف ماده معدنی مشاهده می‌شود. ویژگی بارز کانی‌شناسی اغلب نمونه‌ها دگرسانی شدیدی را نشان می‌دهند و همین دگرسانی روی ترکیب شیمیایی و نورماتیو سنگ‌ها تأثیر گذاشته است. سنگ‌های منطقه مورد مطالعه با سن (پرکامبرین

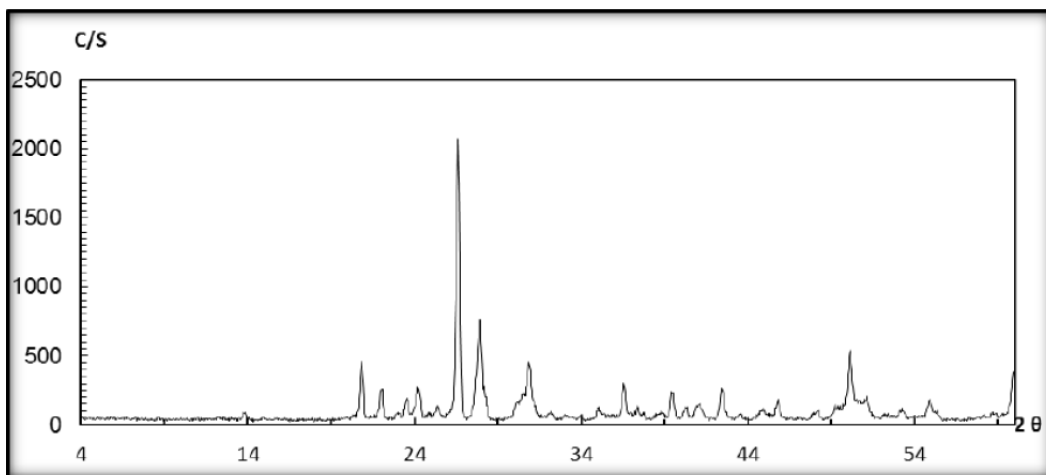
بالایی- کامبرین زیرین) دارای شواهد متعددی از دگرسانی می‌باشند، که از جمله می‌توان به دگرسانی‌های آرژیلی، سرسیتی، سیلیسی، کربناتی‌شدن، کلریتی و اکسید آهن کانی‌ها اشاره کرد. از این میان، دگرسانی‌های آرژیلی و اکسید آهن بیشترین گسترش را در منطقه دارند و مسکویت، میکا و سرسیت جانشین کانیهای پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالن شده است. از بین کانی‌های شاخص این دگرسانی‌ها، هماتیت، لیمونیت، گوتیت، ایلیت، کائولینیت و مونوریلونیت، در سنگ‌های منطقه گسترش چشمگیری دارد که در اینجا بطور مختصر این کانی‌های ثانویه را بررسی می‌کنیم.

۴-۳-۱- دگرسانی آرژیلیک

دگرسانی آرژیلیک که به واسطه حضور کانی‌های رسی مشخص می‌شود، در شرایط کاملاً اسیدی رخ می‌دهد. با کاهش نرخ دمای سیالات و کاهش فعالیت K^+/H^+ ، تمامی کاتیون‌های قلیایی از سنگ خارج شده، در چنین شرایطی کانی‌های رسی تشکیل می‌گردند. در طی دگرسانی، فلدسپات‌ها به کانیهای رسی تبدیل می‌شوند. طی فرآیند دگرسانی، همراه با آبشویی کاتیون‌های قلیایی در شرایط اسیدی، کائولینیت، دیکیت و پیروفیلیت تشکیل می‌گردد (Pirjano, 1992). آرژیلی‌شدن یکی از فرآیندهای عمده دگرسانی در محدوده مورد مطالعه است که بصورت محلی و ناحیه‌ای رخمون دارد. این دگرسانی به رنگ سفید تا خاکستری در واحدهای توفی مشاهده می‌شود و به صورت گسترده منطقه‌ای مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. این دگرسانی از نوع اولیه بوده و کانی‌های این زون شامل ایلیت، مسکوویت و کوارتز می‌باشند. به علت شدت دگرسانی در برخی نقاط سنگ اولیه به صورت پودر کائولینیت رخمون دارد که در برخی نقاط رنگ آن توسط اکسید و هیدروکسیدهای آهن تغییر پیدا کرده است (شکل ۴-۷، الف). طبق مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک اغلب پلاژیوکلازها و فلدسپات‌ها به طور بخشی و گاه کامل از حواشی و مرکز بلور به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۴-۷، ب و پ).



شکل ۴-۶: الف) نمایی از دگرسانی آرژیلیک در منطقه، ب و پ) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی آرژیلیک. پلاژیوکلازها به شدت آرژیلی و سریستی شده‌اند. PI: پلاژیوکلاز

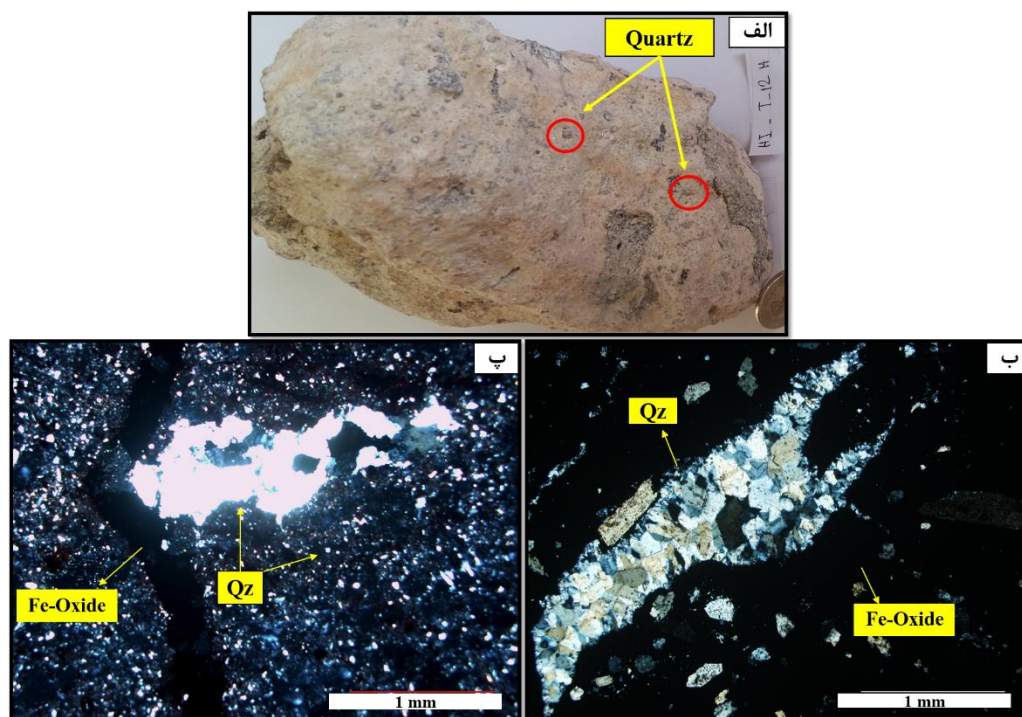


Sample:	Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
BH10-20.5	Quartz (33-1161) SiO ₂	Kaolinite (29-1488) Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	-
Az: 11026-46257	Albite (09-0466) NaAlSi ₃ O ₈	Montmorillonite (13-0135) Ca _{0.2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .xH ₂ O	
Date: 14/1/2016	Dolomite (36-0426) CaMg(CO ₃) ₂	Hematite (33-0664) Fe ₂ O ₃	
kV= 40			
mA= 30			
Ka.= Cu			
Fil.= Ni			

شکل ۴-۷: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی آرژلیک می‌باشد.

۴-۳-۲- دگرسانی سیلیسی

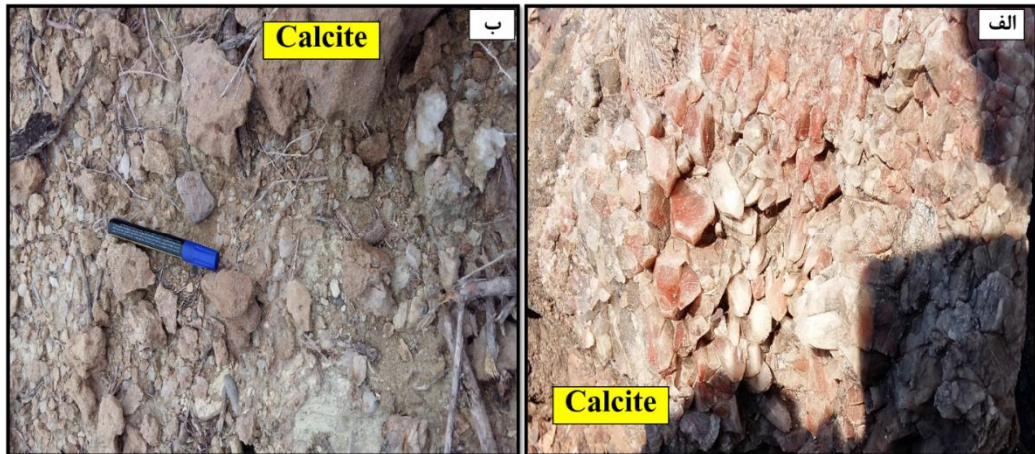
دگرسانی سیلیسی، نتیجه افزایش در نسبت کوارتز یا سیلیس میکروکریستالین در سنگ‌های دگرسان شده است (Evans 1993). قابلیت انحلال سیلیس با افزایش دما و فشار افزایش می‌یابد و در فشار و درجه حرارت پایین به راحتی نهشته می‌شود (Pirajno 1992). سیلیسی شدن سنگ‌ها به روش‌های مختلفی از جمله الف) به علت انحلال و شستشوی کاتیون‌های موجود در سنگ، مقدار سیلیس افزایش یابد و ب) یا از طریق دیگر منابع، مانند محلول‌های ماگمایی و گرمایی به سنگ اضافه شود. همچنین در مواردی، به علت تبدیل کانی‌ها به محصولات ثانویه دگرسانی، در طی تشکیل دگرسانی‌های دیگر، سیلیس حاصل می‌شود که این سیلیس بوجود آمده، در مجموعه پاراژنتیکی دگرسانی وارد می‌شود. محصولات اصلی دگرسانی سیلیسی شامل کوارتز بصورت، دانه‌پراکنده تا رگه‌ای و نیز به صورت سیلیس مخفی بلور می‌باشد (Ferkus & Leblanc, 1995). در محدوده‌ی مورد مطالعه این دگرسانی به شکل ذرات پراکنده و ریز در متن سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی نظیر توف‌ها و همچنین رگه-رگچه‌ای قابل مشاهده است (شکل ۴-۹ الف، ب و پ).



شکل ۴-۸: الف) تصویر نمونه دستی از توف ریولیتی حاوی فنوکریست‌های ریز کوارتز حاصل از دگرسانی سیلیسی، ب و پ) تصاویر میکروسکوپی از رگه-رگچه و ذرات پراکنده کوارتز حاصل از دگرسانی سیلیسی. Qz: کوارتز Fe-Oxide: اکسید آهن.

۳-۳-۴- دگرسانی کربناتی

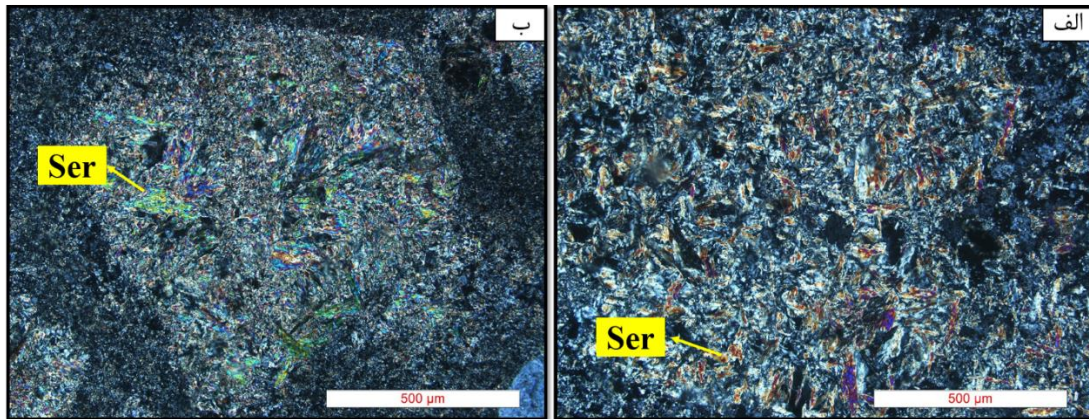
محصولات اصلی کربناتی‌شدن، کلسیت، دولومیت و آنکرایت هستند. همچنین می‌تواند به همراه کانی-های دیگر مانند تالک، کلریت، سریسیت و آلبیت باشد. رخداد دگرسانی کربناتی، نتیجه واکنش میان سیال گرمابی غنی از CO_2 و سنگ‌دیواره است (Reed, 1997). این دگرسانی در منطقه به صورت تجمعی از کلسیت‌های سوزنی شکل با بافت دندان‌سگی بصورت ترکیب با کانه‌زایی آهن و همچنین کلسیت‌های بیشکل تا نیمه شکل‌دار در واحد مارنی میوسن به چشم می‌خورد (شکل ۴-۱۰ الف و ب).



شکل ۴-۹: نمایی از دگرسانی کربناتی در منطقه.

۴-۳-۴- دگرسانی سریسیتی

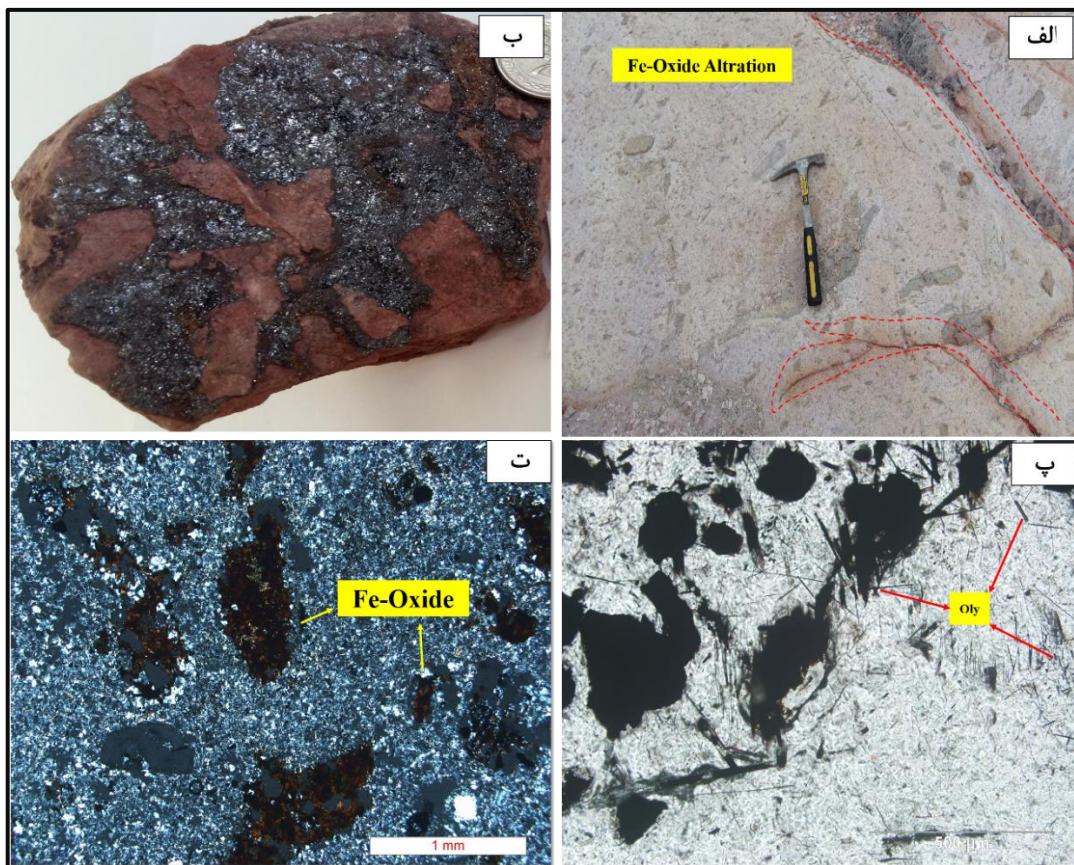
در طی دگرسانی سریسیتی، فلدسپات‌های اولیه موجود در سنگ به کانی سریسیت تبدیل شده، که باعث تشکیل بلورهای ریزدانه و پراکنده سریسیت بر روی بلورهای درشت فلدسپات میشود. دگرسانی سریسیتی در کلیه واحدهای منطقه مشاهده می‌شود. بر اساس مطالعه مقاطع نازک، بیشتر پلاژیوکلازها به سریسیت تبدیل شده‌اند که به صورت دانه‌های ریز پراکنده در متن کانی‌های پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار متمرکز شده است. در طی مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که پلاژیوکلازها مهمترین کانی‌هایی هستند که تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. پلاژیوکلازها با توجه به نوع ترکیب (معمولاً آندزین و الیگوکلاز) در سطوح رخ و شکستگی‌ها به سریسیت تبدیل شده‌اند. همراه با دگرسانی سریسیتی، دگرسانی آرژیلی نیز در مقاطع مشاهده می‌گردد. البته لازم به ذکر است، وسعت دگرسانی سریسیتی در این منطقه نسبت به آرژیلی کمتر می‌باشد.



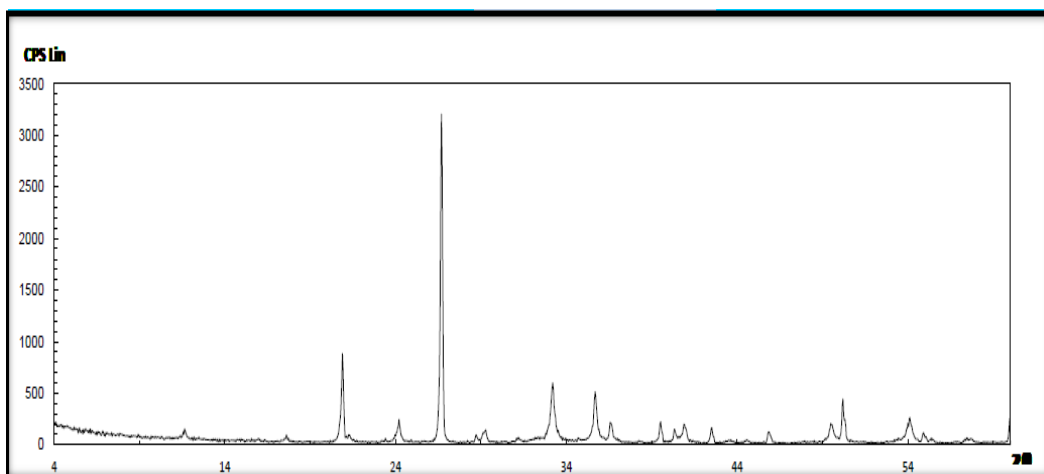
شکل ۴-۱۰: تصاویر میکروسکوپی از دگرسان شدن پلاژیوکلازها به سریسیت Ser: سریسیت.

۴-۳-۵- دگرسانی اکسیدهای آهن

با توجه به مطالعات صحرایی و مطالعه مقاطع نازک آغشتگی اکسید و هیدرواکسیدهای آهن از جمله دگرسانی‌های غالب منطقه می‌باشد. این دگرسانی در مجاورت سطوح کانه‌دار به وضوح قابل مشاهده است و همچنین به صورت گسترده واحدهای سنگی منطقه از جمله درز و شکستگی موجود در توف‌ها، بصورت رگه-رگچه‌های اولیژیستی در سنگ میزبان کریستال توف، در متن کانی آپاتیت و همچنین در متن توف‌ها قابل مشاهده می‌باشد. اکسیدهای آهن حاصل از دگرسانی (اولیژیست، هماتیت و فرم رگه‌ای مگنتیت) توسط سیال کانه‌ساز ایجاد می‌شوند. اگر اکسیدهای آهن توسط فرآیندهای سطحی ایجاد شده باشند و کانی‌هایی نظیر هماتیت، گوتیت و لیمونیت تشکیل شوند دیگر دگرسانی نیست و فرآیندی سوپرژن و مربوط به سیالات سوپرژن است. نمونه‌هایی از این دگرسانی در شکل نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱: الف) تصویر صحرایی از دگرسانی هیدروکسیدهای آهن در درز و شکاف موجود در توفهای منطقه، ب) تصویر صحرایی از رگه-رگچه‌های اولیژیست حاصل از دگرسانی اکسید آهن، پ) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی اکسید آهن در کانی آپاتیت، پ) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی اکسید آهن در متن توفهای منطقه. Fe-Oxide: اکسید آهن Oly: اولیژیست.



Sample:
HI-G-3
Az: 16192-70455

Date :
29/7/2017

kV = 40
mA = 30
Ka. = Cu
Fil. = Ni

Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
Quartz (33-1161) SiO ₂	Goethite (29-0713) FeO(OH)	--
Hematite (33-0664) Fe ₂ O ₃	Gypsum (33-0311) CaSO ₄ · 2H ₂ O	
	Malachite (41-1390) Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂	
	Jarosite (36-0427) KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	

شکل ۴-۱۲: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی اکسید آهن می‌باشد.

فصل پنجم:

کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پارازیتیک

۵-۱- مقدمه

کانی‌شناسی، بافت و ساخت، پاراژنز و توالی پاراژنزی کانی‌ها از ارکان مهم در مطالعه‌ی زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها به حساب می‌آید. شناسایی نوع کانی‌ها، اندازه‌ی آن‌ها، نحوه‌ی قرارگیری کانی‌ها نسبت به همدیگر و بررسی توالی تشکیل کانی‌ها برای تشخیص چگونگی تشکیل کانسار و نیز مطالعات کآن‌ها رایی و فراوری ارزشمند می‌باشد. تلفیق نتایج بدست آمده از مطالعات کانی‌شناسی با یافته‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و زمین‌شیمیایی در شناسایی تیپ کانسارها بکار گرفته می‌شود. در تحقیق حاضر، برای بررسی کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنزی کانی‌ها تعداد ۲۱ نمونه از مناطق مختلف کانی‌سازی انتخاب شده است. در کل تعداد ۱۲ مقطع نازک‌صیقلی و ۹ مقطع صیقلی تهیه و با استفاده از میکروسکوپ‌های نور عبوری و انعکاسی مطالعه شده است. بر پایه نتایج مطالعات کانی‌شناسی در منطقه مورد مطالعه کانی‌ها را می‌توان به دو گروه کانه‌ها و باطله‌ها تقسیم‌بندی نمود. کانه‌ها شامل مگنتیت، اولیژیست، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و آپاتیت بوده و باطله‌ها شامل کوارتز، کلسیت، مسکوویت، ژاسپیلیت، انیدریت، ژیپس و هالیت می‌باشد. در زیر هر گروه از کانی‌ها بطور جداگانه توصیف می‌گردد.

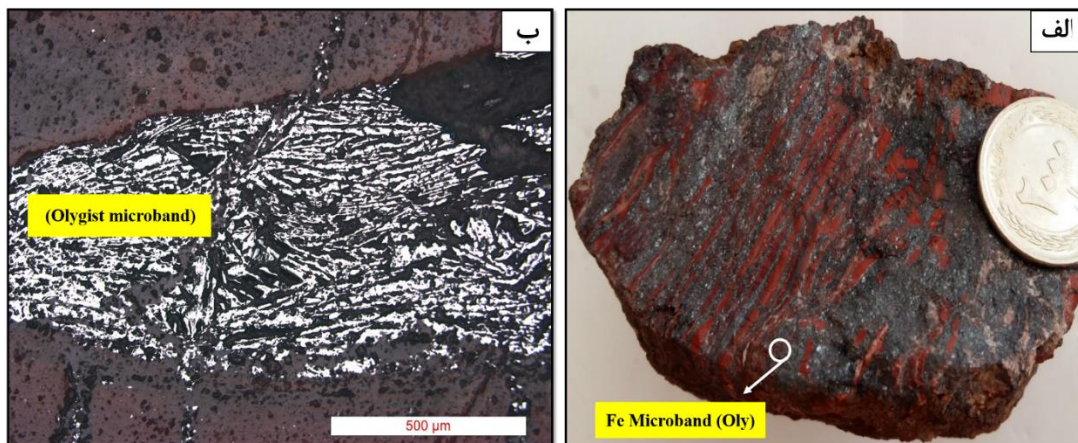
۵-۲- کانی‌شناسی کانی‌های معدنی (کانه‌ها)

اکسیدهای آهن و آپاتیت مهم‌ترین کانی‌های معدنی در کانسنگ‌های آهن نواری و آهن-آپاتیت سری هرمز به حساب می‌آیند. نوع و درصد این کانی‌ها بسته به تیپ کانسار و شدت هوازدگی در نمونه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. کانی‌ها شامل مگنتیت، اولیژیست، هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد. آپاتیت هم در کانسنگ‌های با منشأ ماگمایی-گرماپی کانی‌های اکسید آهن را همراهی می‌نماید. در ادامه کانی‌های مربوط به هر کدام از بخش‌های کانی‌سازی آهن نواری و آهن-آپاتیت به طور جداگانه از نظر کانی‌شناسی و ساخت و بافت توصیف می‌گردد.

۵-۲-۱- کانی‌سازی آهن‌نواری (رسوبی-آتشفشانی)

۵-۲-۱-۱- اولیژیست و هماتیت

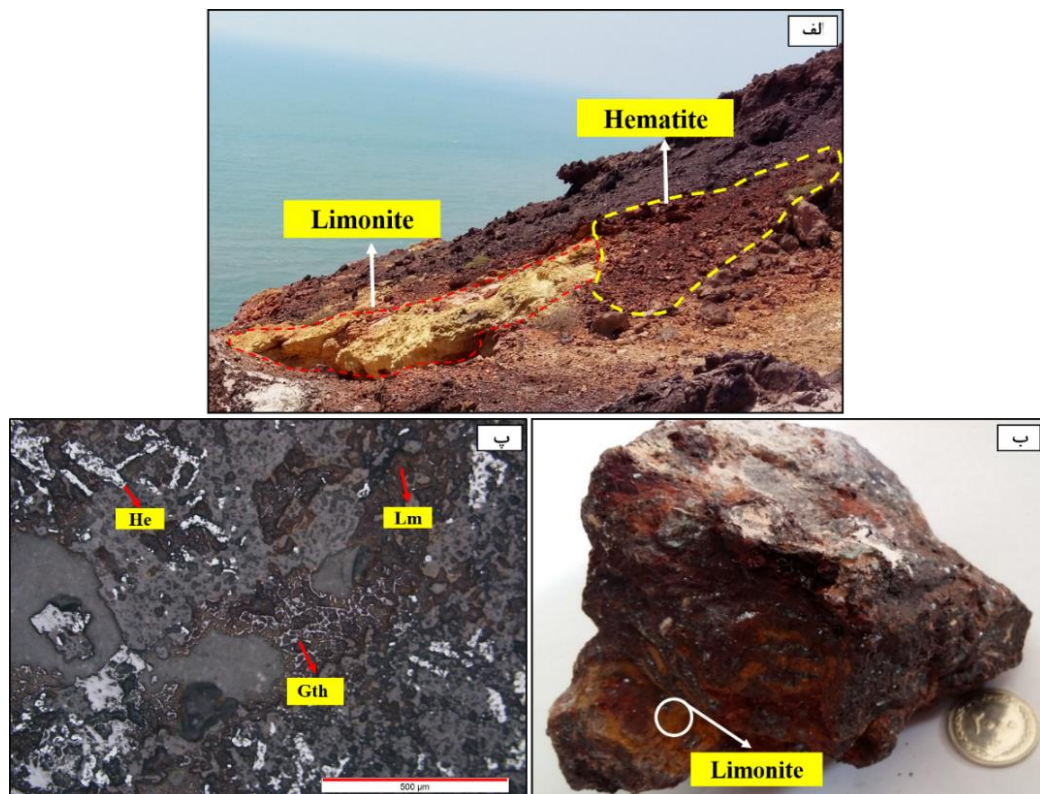
اصلی‌ترین و فراوان‌ترین کانی‌های موجود در کانسارهای آهن‌نواری هرمز، اولیژیست و هماتیت است که بصورت متناوب با نوارهای ژاسپیلیت تکرار می‌شوند (شکل ۵-۱، الف و ب). همچنین اولیژیست و هماتیت بصورت نهشته‌هایی حاصل از فرآیندهای سوپرژن و هوازدگی بر روی سطح زمین قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۵-۲، الف). همانطور که میدانیم، هماتیت به صورت اولیه تحت شرایط فوگاسیته بالای اکسیژن از مذاب اکسیده‌های آهن تشکیل می‌گردد. بر اساس (Hynes et al., 1995) برای تشکیل هماتیت در قسمت‌های فوقانی کانسار، حضور اکسیژن ضروری است. به عبارت دیگر، باید فوگاسیته اکسیژن افزایش پیدا کند. برای این امر یک منبع خارجی لازم است تا این میزان اکسیژن را فراهم کند و محتمل‌ترین منبع اکسیژن، آب‌های جوی است که در اثر چرخش در قسمت بالای کانسار باعث اکسیده‌شدن قسمت فوقانی کانسار شده و باعث تشکیل هماتیت می‌شود.



شکل ۵-۱: الف) تصویر نمونه‌دستی از کانسنگ آهن‌نواری و نمایش نوارهای آهن (اولیژیست و هماتیت)، ب) تصویر میکروسکوپی از نوارهای اولیژیست و هماتیت.

۵-۲-۱-۲- گوتیت و لیمونیت

گوتیت دارای فرمول شیمیایی $FeO.OH$ می‌باشد و در سیستم ارترومبیک متبلور می‌شود. دارای رنگ زرد متمایل به قهوه‌ای است، شدت بازتابش ضعیفی دارد و سختی صیقلی آن کمتر از هماتیت است. گوتیت یک کانی ثانویه است و از اولین فرآورده‌های هوازدگی در کانسارهای آهن می‌باشد. این کانی در منطقه بر اثر هوازدگی کانی‌هایی چون هماتیت و اولیژیست از کانسنگ‌های نواری و اولیژیستی قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵-۲، پ). لیمونیت اکسید آهن آبدار با فرمول شیمیایی $Fe_2O_3.nH_2O$ محصول نهایی دگرسانی اکسیدها و سولفیدهای آهن می‌باشد. کانه‌زایی لیمونیت حاصل از فرایندهای سوپرژن در قسمت‌های سطحی کانسار به مقدار فراوان وجود دارد (شکل ۵-۲، الف). این کانی به همراه هماتیت، گوتیت و مگنتیت قابل مشاهده است (شکل ۵-۲، ب و پ).

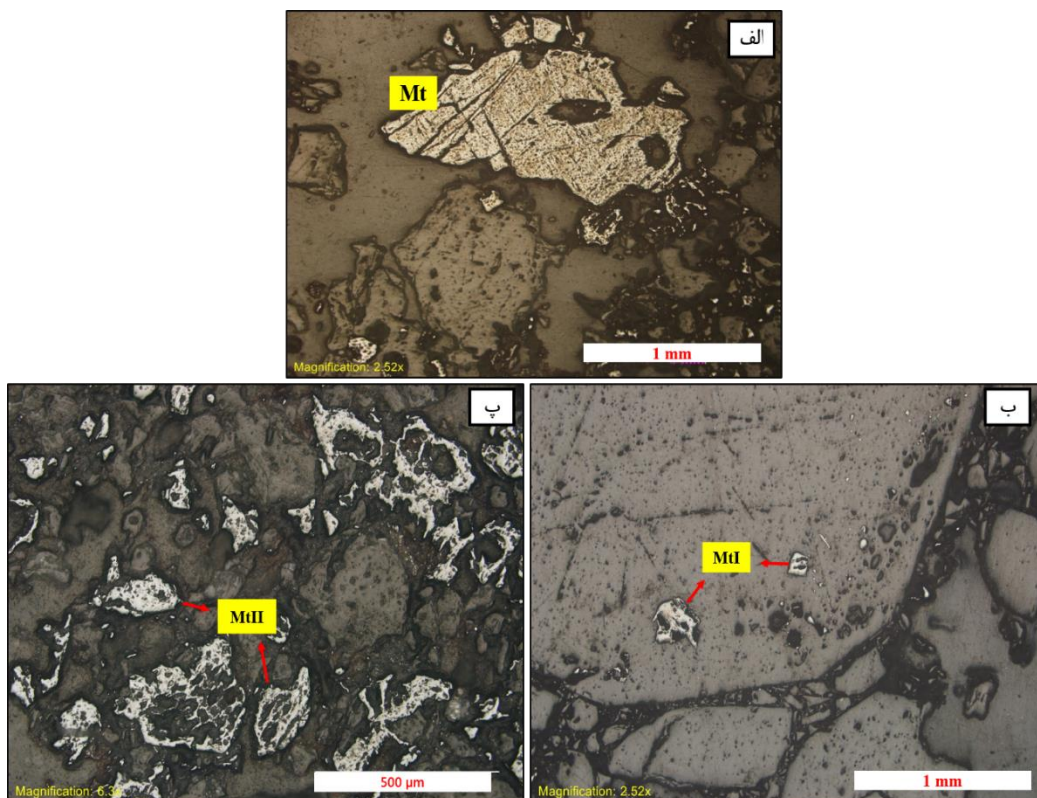


شکل ۵-۲: الف) تصویر صحرایی از نهشته‌های لیمونیت حاصل از فرایندهای سوپرژن (دید به سمت جنوب)، ب) تصویر نمونه دستی از کانسنگ آهنی و نمایش کانه‌زایی لیمونیت، پ) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های مگنتیت، لیمونیت و گوتیت. Mt: مگنتیت، Gth: گوتیت، Lm: لیمونیت.

۵-۲-۲-کانی‌سازی آهن-آپاتیت (ماگمایی-گرمایی)

۵-۲-۲-۱-مگنتیت

مگنتیت در کانسنگ‌های سری هرمز توسط اولیژیست، هماتیت، آپاتیت، کوارتز و کلسیت همراهی می‌شود. بر اساس مطالعات کانه‌نگاری دو نسل مگنتیت شناسایی گردید. نسل اول مگنتیتی که به صورت میانبار داخل آپاتیت‌های نسل اول وجود دارند که تقدم تشکیل این نسل از مگنتیت‌ها را نسبت به آپاتیت‌های نسل اول نشان می‌دهد (شکل ۵-۳، ب). نسل دوم کانه‌زایی مگنتیت فضای بین بلورهای آپاتیت نسل اول را پر می‌نماید. مگنتیت‌های نسل دوم غالب هستند، مگنتیت‌ها در حال جانشینی توسط هماتیت، و بعضاً توسط گوتیت و لیمونیت هستند (شکل ۵-۳، پ).

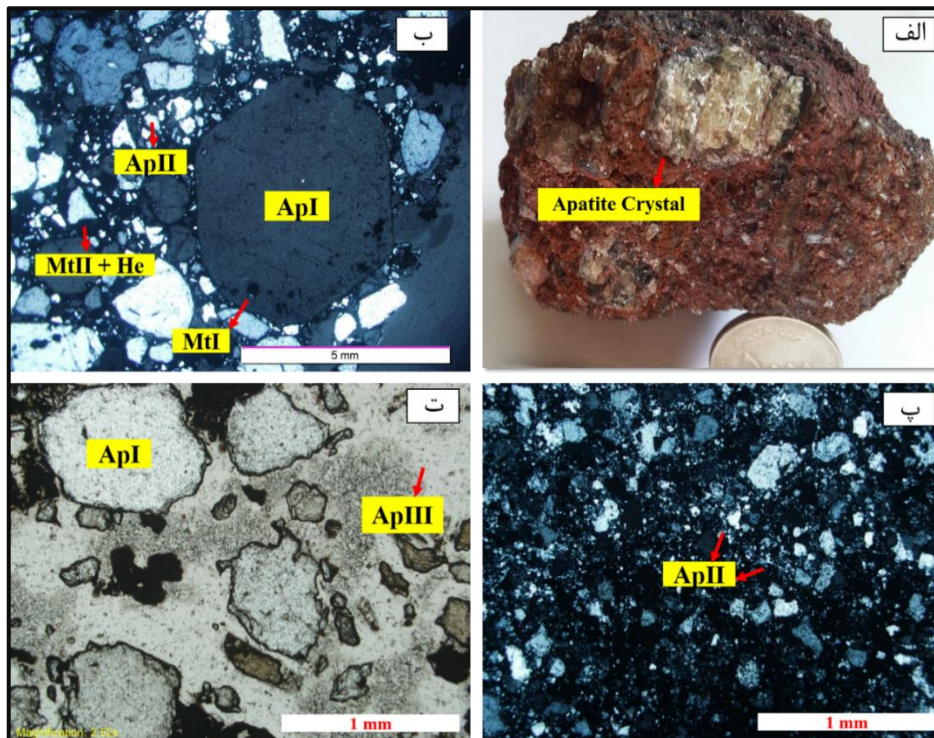


شکل ۵-۳: تصاویر میکروسکوپی؛ الف) کانه‌زایی مگنتیت، ب) کانه‌زایی مگنتیت نسل اول در کانی آپاتیت، کانه‌زایی نسل دوم مگنتیت، Mt: مگنتیت، MtI: مگنتیت نسل اول، MtII: مگنتیت نسل دوم.

۵-۲-۲-۲-آپاتیت

آپاتیت یکی از کانی‌های غالب از بخش کانی‌سازی ماگمایی-گرمایی در کانسار آهن-آپاتیت هرمز

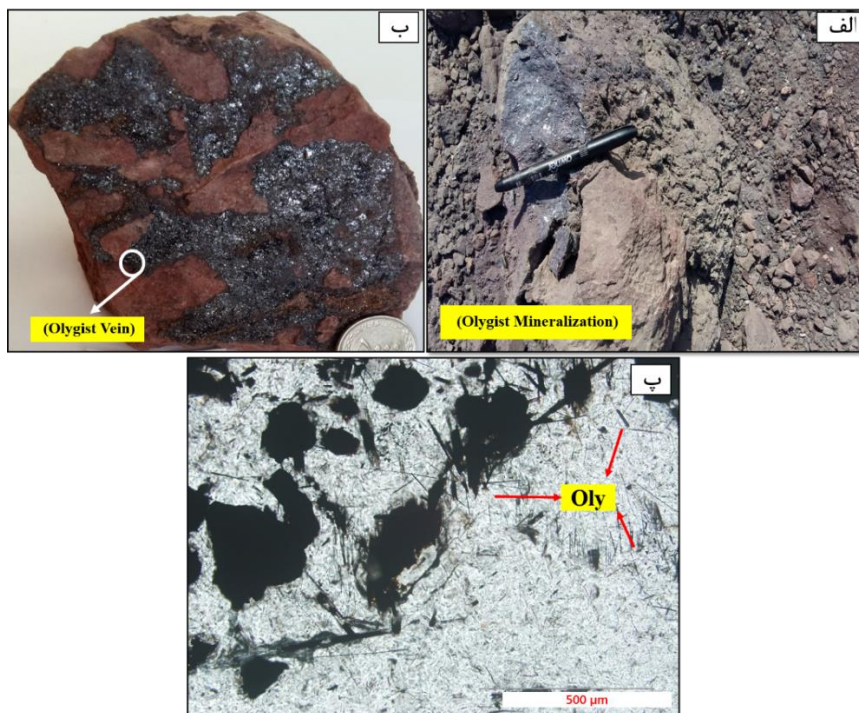
است که بیشتر همراه با فاز اکسید آهن عمدتاً مگنتیت و مگنتیت‌های هماتیتی شده بصورت کریستال‌هایی با فرم بی‌پیرامیدال و منوپیرامیدال (شش‌وجهی تک‌سر) شفاف تا نیمه‌شفاف و به رنگ‌های زرد تا سبز فسفری در منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۴-۵، الف). بر اساس مطالعات میکروسکوپی، مشخص شد سه نسل کانه‌زایی آپاتیت در منطقه وجود دارد بطوریکه در ابتدا آپاتیت-زایی توده‌ای (آپاتیت‌های نسل اول) سپس نسل دوم کانه‌زایی آپاتیت به همراه کانه‌زایی آهن (هماتیت + مگنتیت) فضای خالی بین دانه‌های و شکاف‌ها را پر می‌کند. به نظر می‌رسد دایک‌های مگنتیت-آپاتیت موجود در منطقه حاصل از کانه‌زایی آپاتیت نسل دوم هستند که عمدتاً بصورت دایک‌هایی با حجم متغیری از کانه‌زایی بصورت عمدتاً آپاتیت-مگنتیت تا عمدتاً مگنتیت-آپاتیت شکل گرفته‌اند (شکل ۴-۵، ب و پ). و در نهایت نسل سوم آپاتیت‌زایی که بصورت مایع آپاتیتی به این سیستم وارد شده و فضای بین این دو نسل آپاتیت را پر کرده است (شکل ۴-۵، ت).



شکل ۴-۵: الف) تصویر نمونه دستی کانسنگ آهن-آپاتیت، ب) تصویر میکروسکوپی از کانه‌زایی نسل اول، نسل دوم و اکسید آهن (هماتیت و مگنتیت)، پ) تصویر میکروسکوپی از کانه‌زایی نسل دوم آپاتیت، ت) تصویر میکروسکوپی از کانه‌زایی نسل سوم آپاتیت. آپاتیت نسل اول: ApI؛ آپاتیت نسل دوم: ApII؛ آپاتیت نسل سوم: ApIII؛ مگنتیت: MtI؛ هماتیت و مگنتیت: MtII+He؛ کریستال آپاتیت: Apatite Crystal؛ نسل یک، نسل دوم، نسل سوم.

۵-۲-۲-۳- اولیژیست

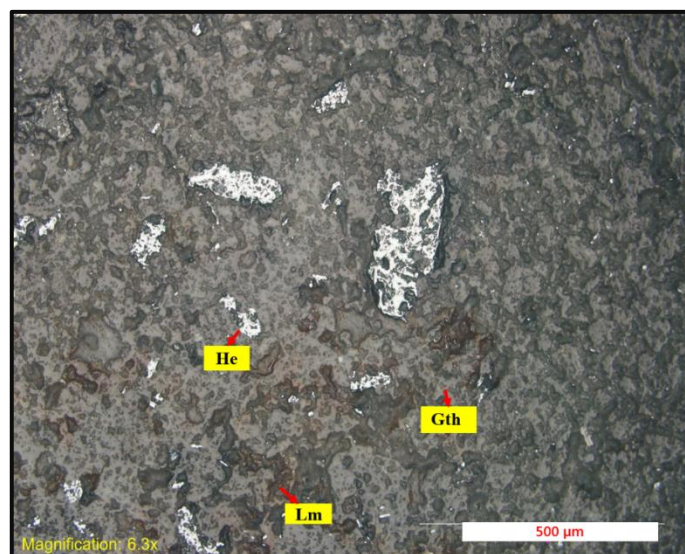
کانه‌زایی اولیژیست در بخش کان‌زایی آهن-آپاتیت بصورت: (۱) توده‌هایی با ضخامت ۲-۳ متر، (۲) به صورت رگه-رگچه درز و شکاف‌های موجود در واحدهای توفی منطقه و (۳) همراه با کریستال‌های آپاتیت به چشم می‌خورد (شکل ۵-۵، الف، ب و پ).



شکل ۵-۵: الف) تصویر صحرایی از کان‌زایی توده‌ای اولیژیست، ب) تصویر نمونه‌دستی از کان‌زایی رگه‌ای اولیژیست، پ) تصویر میکروسکوپی کان‌زایی الیژیست در کریستال آپاتیت، Oly: اولیژیست، Olygite vein: رگه اولیژیست.

۵-۲-۲-۴- هماتیت، گوتیت و لیمونیت

هماتیت، گوتیت و لیمونیت مشابه آنچه که در کان‌زایی بخش آهن نواری گفته شد کان‌زایی آهن-آپاتیت را نیز همراهی می‌کنند که حاصل هوازدگی کانی‌های اکسیدی از جمله مگنتیت در این بخش از کان‌زایی می‌باشند. همچنین هماتیت و لیمونیت بصورت فازهای سوپرژن در سطح به همراه این کان‌زایی‌ها به چشم می‌خورند (شکل ۵-۵، ب و پ).



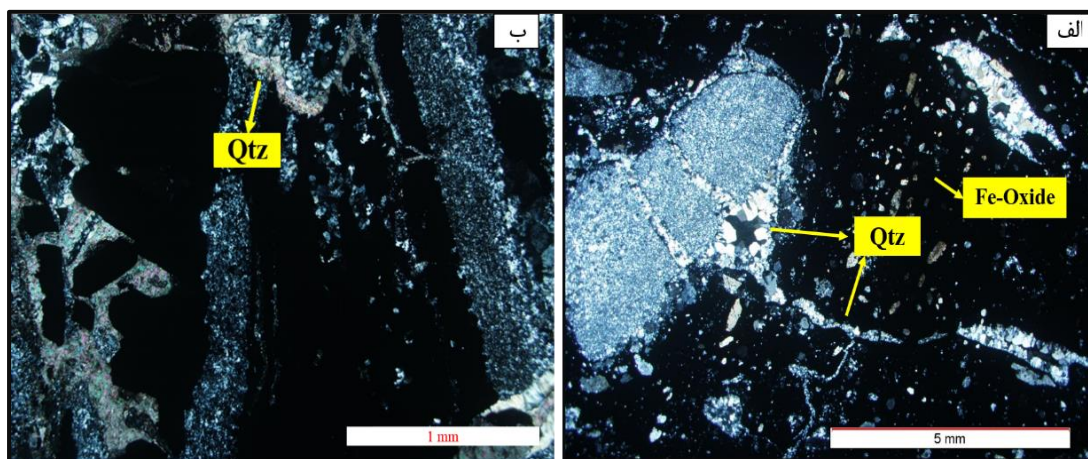
شکل ۵-۶: تصویر میکروسکوپی از کانه‌های هماتیت، گوتیت و لیمونیت در بخش کانه‌زایی آهن-آپاتیت. He: هماتیت، Gth: گوتیت، Lm: لیمونیت.

۵-۳- کانی‌های باطله

فراوان‌ترین کانی‌های باطله کانسار مورد مطالعه شامل؛ کوارتز، کلسیت، مسکوویت، ژاسپیلیت، انیدریت، ژیپس و هالیت می‌باشد که بر اساس نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی شناسایی شدند.

۵-۳-۱- کوارتز

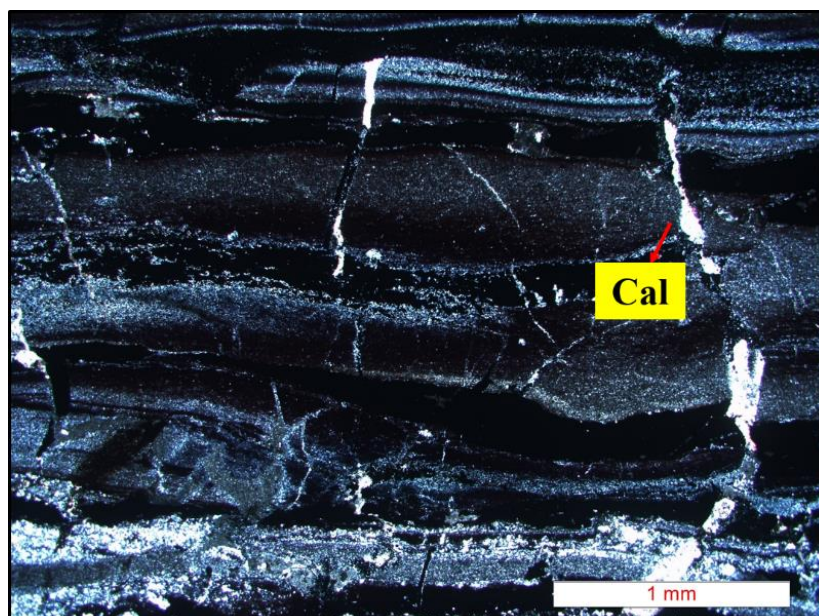
کوارتز به عنوان کانی اصلی سیلیس یکی از باطله‌هایی است که ماده معدنی را در کانسار همراهی می‌کند. در کانسار مورد مطالعه کوارتز با نفوذ به سیستم کانه‌زایی آهن نواری و کانه‌زایی آهن-آپاتیت ماگمایی طی فازهای تأخیری باعث قطع شدگی نوارهای آهن (اولیژیست و هماتیت) و ژاسپیلیت از بخش کانه‌زایی آهن نواری و همچنین با نفوذ به دایک‌های مگنتیت-آپاتیت از بخش کانه‌زایی آهن-آپاتیت به عنوان باطله این کانه‌زایی‌ها به شمار می‌رود (شکل ۵-۷، الف و ب).



شکل ۵-۷: تصاویر میکروسکوپی؛ الف) نفوذ رگه‌های کوارتزی به بخش کانه‌زایی آهن-آپاتیت، ب) نفوذ رگه-رگچه‌های کوارتز به نوارهای آهن و ژاسپیلیت از بخش کانه‌زایی آهن نواری. Qtz: کوارتز، Fe-Oxide: اکسید آهن.

۵-۳-۲-کلسیت

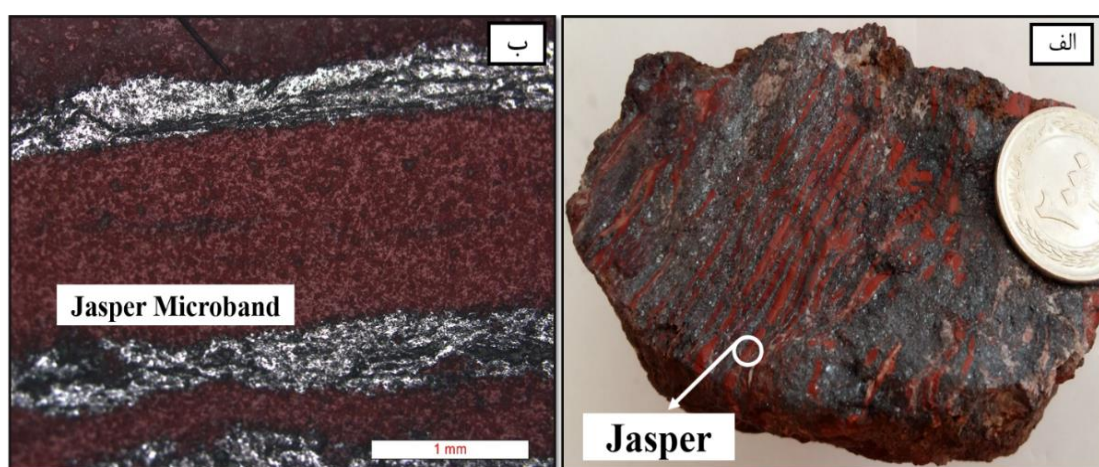
کانی‌های کربناتی به خصوص کلسیت گسترش زیادی در محدوده کانسار دارند. این کانی با نفوذ به سیستم کانه‌زایی آهن‌ناری طی فازهای تأخیری باعث قطع شدگی این نوارها شده است و به عنوان باطله این بخش از کانه‌زایی محسوب می‌شود (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸: تصویر میکروسکوپی از کانه‌زایی کلسیت بصورت رگه-رگچه‌های نفوذی در بخش کانه‌زایی نواری. Cal: کلسیت.

۵-۳-۳- ژاسپیلیت

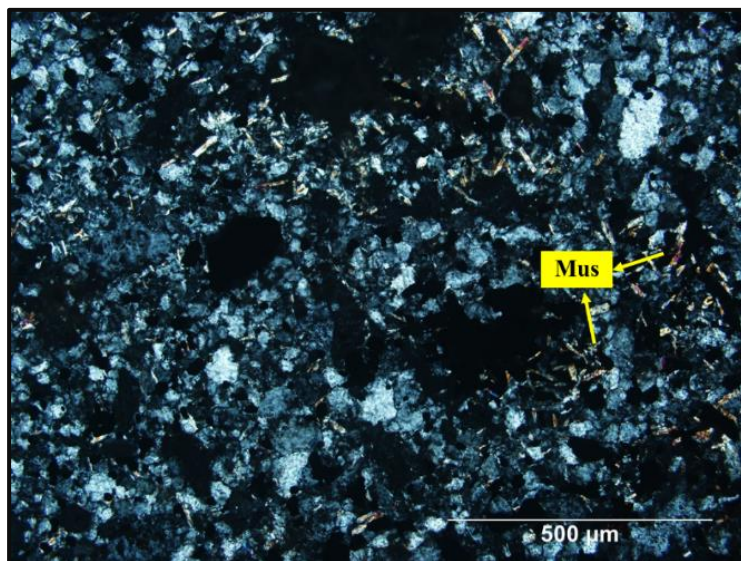
نوارهای ژاسپیلیتی بطور متناوب با نوارهای اولیژیستی که یکی از فراوانترین پدیده‌ها در کانسنگ نواری است، دیده می‌شود. این کانی حاصل رسوبگذاری مستقیم از سیالات کانه‌زا است و یکی از مهمترین ویژگی‌های کانسارهای آهن‌نواری است. در کانسنگ‌های آهن نواری منطقه ژاسپیلیت مهمترین باطله به شمار می‌رود که در پاره‌ای از قسمت‌ها توسط کلسیت قطع شده‌اند (شکل ۵-۸، الف و ب).



شکل ۵-۹: الف) تصویر نمونه دستی از نوارهای ژاسپیلیت، ب) تصویر میکروسکوپی ژاسپیلیت.

۵-۳-۴- مسکوویت

مسکوویت در کانه‌زایی آهن-آپاتیت به عنوان باطله با کانی کوارتز این کانه‌زایی را همراهی می‌کند.



شکل ۵-۱۰: تصویر میکروسکوپی از کانی موسکوویت به همراه کان‌زایی آهن-آپاتیت. Mus: مسکوویت.

۵-۳-۵- انیدریت، ژیپس و هالیت

این سنگ‌ها در اثر تبخیر آب و بالا رفتن درجه‌ی شوری آن تشکیل می‌شوند. از عمده‌ترین نوع سنگ‌های تبخیری در منطقه، می‌توان ژیپس یا گچ (سولفات کلسیم آبدار)، انیدریت (سولفات کلسیم) و نمک طعام یا هالیت را نام برد. انیدریت و ژیپس ممکن است به صورت نودول، توده‌ای و یا لامینه دیده شوند. بطور کلی بر اثر بالا رفتن درجه حرارت، میزان تبخیر افزایش پیدا می‌کند و آب از مواد محلول در خود اشباع شده و باعث رسوب گذاری کانی‌های تبخیری می‌گردد. این چنین محیط‌هایی هم در مناطق غیردریایی و هم در محیط‌های دریایی وجود دارد. این مجموعه به عنوان یکی از باطله‌های کانسار مورد مطالعه محسوب می‌شود. شکل لایه‌ایی آن‌ها به همراه واحدهای میزبان در منطقه، مربوط به مراحل اولیه کان‌زایی است. هم‌چنین در مراحل هوازدهی به صورت قشری بر روی توف‌ها و هم‌چنین به همراه کان‌زایی‌ها قابل مشاهده می‌باشند. از طرفی بلورهای پراکنده ژیپس به همراه هالیت و انیدریت در منطقه نشانه تشکیل آن‌ها در زمان حال می‌باشد (شکل ۵-۱۱).



شکل ۵-۱۱: تصویر صحرایی از کانی‌های تبخیری به صورت ژئوپس، انیدریت و هالیت.

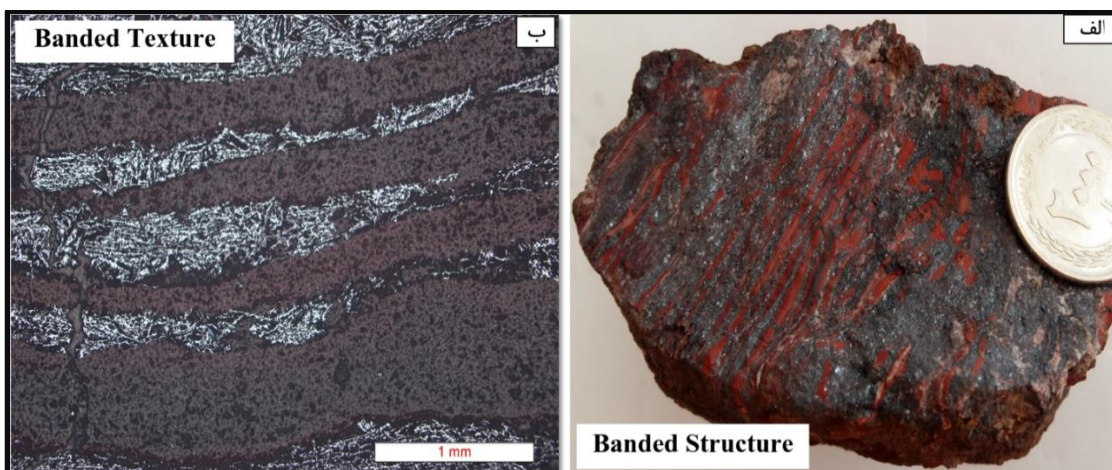
۵-۴- ساخت و بافت مواد معدنی

در بررسی میکروسکوپی نور انعکاسی، به ویژه مطالعه کانه‌ها، شناسایی و تفسیر روابط بین دانه‌ها (بافت)، به همان اندازه مهم است که شناسایی کانه‌ها اهمیت دارد. شناسایی بافت کانه‌ها در موارد زیر کاربرد دارند (Liaghat and Jami, 1999):

- (۱) تقدم و تأخر تشکیل کانه‌ها و باطله‌ها.
 - (۲) رابطه‌ی دانه‌ها با یکدیگر و با باطله‌ها.
 - (۳) درجه آزادی دانه‌ها.
 - (۴) مشخص کردن ماهیت فرآیندهای درگیر در نهشته‌شدن کانه‌ها.
 - (۵) مشخص کردن رخداد‌های ثانویه مانند برقراری تعادل دوباره، هوازدگی، اکسایش و سیمانی شدن.
- مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که بافت‌های ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه از نوع نواری، توده‌ای، دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، و ساختارهای کانی‌سازی به صورت نواری، توده‌ای و دایک‌مانند مشاهده می‌گردد.

۵-۴-۱- ساخت و بافت نواری

ساخت و بافت نواری از گسترش بالایی در بخش‌های کانه‌دار برخوردار بوده که بصورت نوارهایی از کانه‌های آهن عمدتاً بصورت (اولیژیست و هماتیت) همراه با نوارهای روشن ژاسپیلیت (سیلیس‌های آهن‌دار) با ضخامت چندین میلیمتر تا چندین سانتیمتر به طور متناوب تکرار و از لحاظ ظاهری، ساخت و بافتی نواری را نشان می‌دهند (شکل ۵-۱۲، الف و ب). نوارهای تیره و اکسیدی اولیژیست مبین افزایش یون آهن آزاد نسبت به اسید سیلیسیک و نوارهای روشن ژاسپیلیتی بیانگر افزایش دوره‌ای یون اسید سیلیسیک نسبت به آهن می‌باشند. این بافت بیانگر کانه‌زایی همزاد و کانی‌های اکسیدی، سیلیکاتی می‌باشد که بعدها در نتیجه دیانژنز و دگرگونی به شکل لایه‌ای درآمده‌اند.



شکل ۵-۱۲: الف) تصویر نمونه‌دستی از ساخت نواری، ب) تصویر میکروسکوپی از بافت نواری.

۵-۴-۲- ساخت برشی

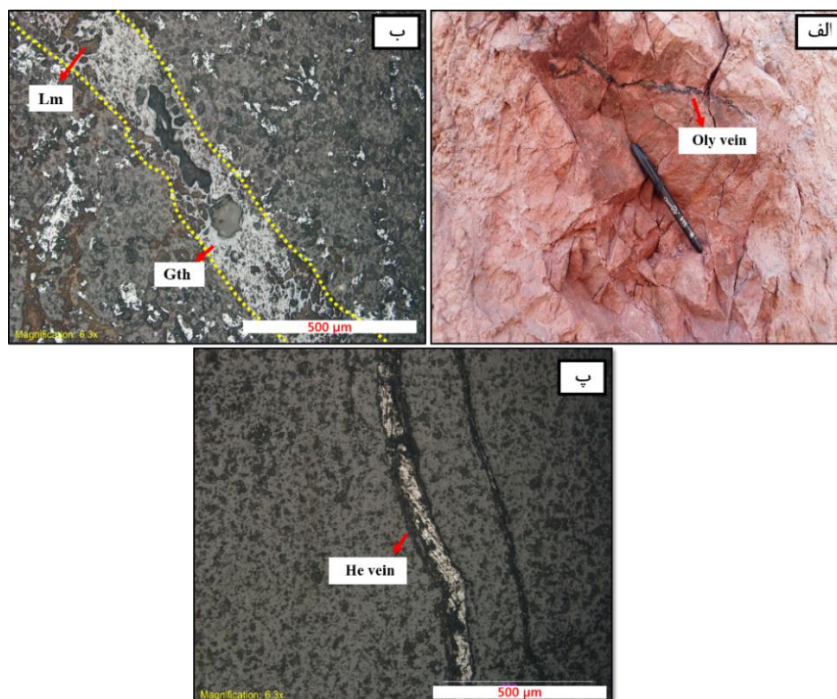
در کانه‌زایی آهن نواری در بخشی از قسمت‌ها سنگ میزبان برشی شده و فضای بین قطعات برش را کانه‌های آهن که عمدتاً از نوع اولیژیست و هماتیت است را پر کرده است (شکل ۵-۱۳، الف و ب).



شکل ۵-۱۳: الف و ب) تصاویر صحرایی و نمونه دستی از کانهای برشی در منطقه.

۵-۴-۳- ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای

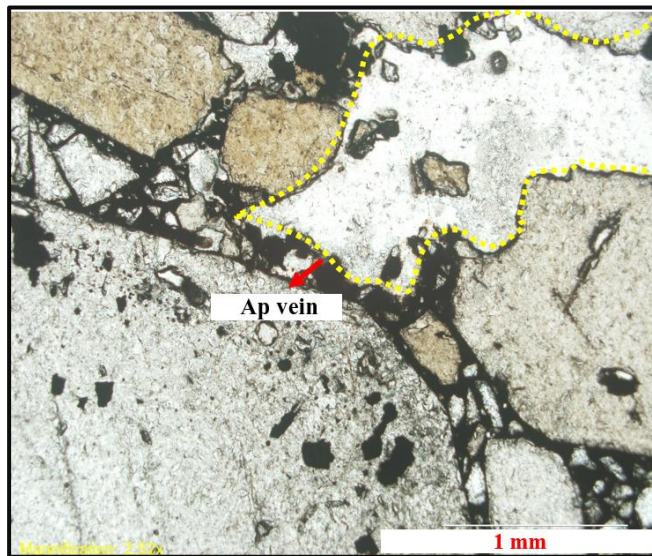
این کانهای برشی به طور گسترده رگه‌ها و یا فضاهای خالی نظیر درز و شکستگی‌های موجود در یک سنگ را پر می‌کند. کان‌هایی که این ساخت را نشان می‌دهند شامل اولیژیست، هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشند (شکل ۵-۱۴، الف، ب و پ).



شکل ۵-۱۴: الف) تصویر صحرایی از ساخت رگه‌ای اولیژیست، تصاویر میکروسکوپی؛ ب) شکل‌گیری گوتیت و لیمونیت بصورت رگه، پ) بافت رگه‌ای هماتیت. Oly vein: رگه اولیژیست، He vein: رگه هماتیت، Gth: گوتیت، Lm: لیمونیت.

۵-۴-۴- بافت پرکننده فضای بین قطعات

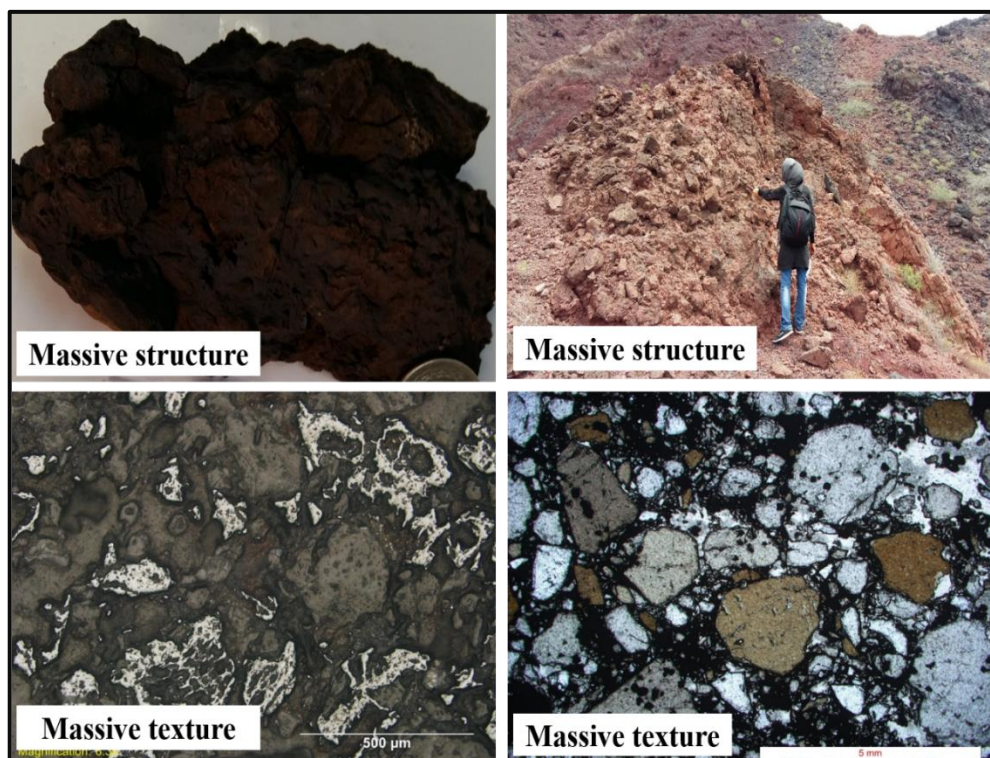
محلول‌های ماگمایی و یا گرمایی در صورتی که به هنگام عبور از گسل‌ها، درز و شکاف‌ها، غارهای آهکی و یا فضای بین قطعات سنگ‌های آذرآواری، متبلور شوند و مواد خود را بر جای گذارند، بافت حاصله از نوع پرکننده فضای خالی خواهد بود. این بافت‌ها اکثراً به صورت رگه‌ای و نزدیک به سطح زمین دیده می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه نیز این بافت‌ها بیشتر بصورت مایعات آپاتیتی پرکننده فضای بین قطعات مشاهده می‌شوند.



شکل ۵-۱۵: تصویر میکروسکوپی از بافت پرکننده فضای بین قطعات. Ap vein: رگه آپاتیت.

۵-۴-۵- ساخت و بافت توده‌ای

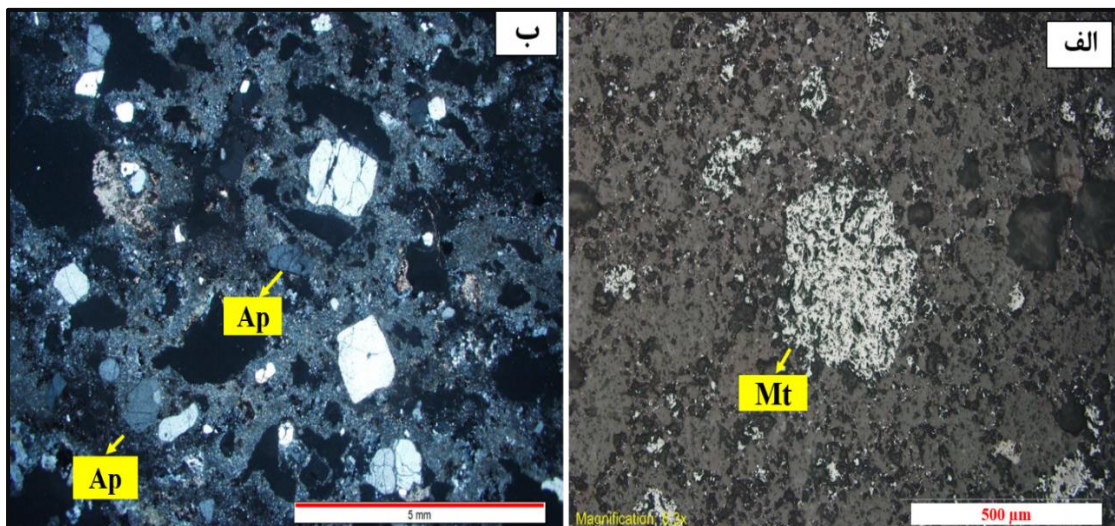
این ساخت و بافت بخش کانه‌زایی کانسنگ اکسید آهن-آپاتیت‌دار را شامل می‌شود. این نوع کانه‌زایی به دو شکل توده‌های آپاتیتی همراه با دایک‌های مگنتیت-آپاتیت تا آپاتیت-مگنتیت را در منطقه شامل می‌شود (شکل ۱۶-۵، الف و ب).



شکل ۵-۱۶: الف و ب) تصاویر صحرایی کانه‌زایی آپاتیت و مگنتیت دارای ساخت توده‌ای، ب و ت) تصاویر میکروسکوپی کانه‌زایی آپاتیت و مگنتیت دارای بافت توده‌ای در منطقه.

۵-۴-۶- بافت دانه پراکنده

یکی از بافت‌هایی که در مطالعه مقاطع میکروسکوپی به چشم می‌خورد، بافت دانه پراکنده بلورهای مگنتیت و آپاتیت به صورت شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار در توف‌ها و سنگ‌های ریوداسیتی به چشم می‌خورد (شکل ۵-۱۷، الف و ب).



شکل ۵-۱۷: تصاویر میکروسکوپی؛ الف) کانه‌زایی مگنتیت دارای بافت دانه‌پراکنده با میزبان توف، ب) کانه‌زایی آپاتیت دارای بافت دانه‌پراکنده با میزبان توف‌های ریوداسیتی در منطقه.

۵-۵- توالی پاراژنزی کانسارهای آهن و آهن-آپاتیت جزیره هرمز

به مجموعه‌ای از کانی‌ها و باطله‌های همراه، که با یکدیگر و در حال تعادل نسبت به همدیگر تشکیل می‌شوند، پاراژنز می‌گویند و ترتیب زمانی در تشکیل کانه‌ها را توالی پاراژنزی می‌نامند. با توجه به شواهد صحرایی، زمین‌شناسی و کانی‌شناسی و اینکه احتمال رخداد دو تیپ کانی‌سازی آهن متفاوت در منطقه هرمز وجود دارد بنابراین سیر تحول کانی‌شناسی کانسارهای آهن‌نواری و کانسارهای آهن-آپاتیت بطور جداگانه بررسی و به صورت جداگانه در جدول‌های ۵-۱ و ۵-۲ خلاصه کرد.

۵-۱- توالی پاراژنزی آهن‌نواری

در کانه‌زایی نواری نخست نوارهای ژاسپیلیت (سیلیس آهن‌دار) و آهن که عمدتاً اولیژیست و به طور ناچیز دارای هماتیت و گوتیت می‌باشند شکل گرفته‌اند. در مرحله دوم فاز تأخیری سیلیس به این سیستم وارد و کانه‌زایی نواری منطقه را تحت تأثیر قرار داده و موجب قطع‌شدگی این نوارها شده است. مرحله سوم تحت تأثیر فرایندهای هوازدگی و سوپرژن کانی‌هایی نظیر هماتیت، گوتیت و لیمونیت در منطقه شکل گرفته‌اند. کلسیت، انیدریت، ژیپس و هالیت نیز به عنوان فازهای تبخیری در منطقه دیده می‌شوند.

جدول ۵-۱: توالی پاراژنزی کانه‌زایی آهن نواری جزیره هرمز.

Minerals		Stage		
		Volcano-Sedimentary (Syngenetic & Diagenetic)	Epigenetic hydrothermal	Supergen & Oxidation
Ore	Olygist			
	Hematite Goethite Limonite			
Gangue	Jasper Quartz			
	Calcite Anhydrite Gypsum Halite			
Texture	Banded Breccia			
	Vein & Veinlet Massive			

۵-۵-۲- توالی پاراژنزی آهن - آپاتیت ماگمایی

مرحله فعالیت‌های ماگمایی-گرمايي

مرحله اول: تشکیل مگنتیت‌های نسل یک می‌باشد که بصورت ادخال در درشت بلورهایی از آپاتیت (نسل یک) قابل مشاهده است. این گروه از آپاتیت‌ها (نسل یک) دارای فراوانی نسبتاً بالایی در منطقه می‌باشند.

مرحله دوم: شکل‌گیری همزمان کریستال‌های مگنتیت-آپاتیت (نسل دوم) می‌باشد که بصورت مایعاتی از آهن - آپاتیت فضای بین مگنتیت - آپاتیت‌های نسل اول را پر می‌کنند. آپاتیت-مگنتیت-های نسل دوم نسبت به سایر مراحل کانی‌سازی گسترده‌تر هستند. به عبارتی فاز غالب کانه‌زایی آهن-آپاتیت در منطقه هستند.

مرحله سوم: نسل سوم بیشتر رگه‌های آپاتیتی هستند که نسل‌های قبل را قطع می‌کنند و نسبت به فازهای قبلی گسترش ندارند. به نظر می‌رسد این نسل از کانه‌زایی آپاتیت حاصل انحلال و کانی‌سازی مجدد نسل‌های یک و دو آپاتیت بوده که بصورت رگه به این سیستم وارد و فضاهای خالی و درز و شکستگی‌ها را تحت تأثیر قرار داده است.

مرحله فعالیت‌های سوپرژن و هوازدهی

در ادامه تحت تأثیر فرایندهای سوپرژن و هوازدهی کانی‌های هماتیت، گوتیت و لیمونیت به همراه این کانه‌زایی‌ها شکل گرفته‌اند. همچنین کانی‌های تبخیری نظیر آنچه در بخش کانه‌زایی آهن نواری گفته شد در این بخش نیز قابل مشاهده است.

جدول ۵-۲: توالی پاراژنزی کانسار اکسید آهن - آپاتیت جزیره هرمز.

Stage Mineralogy		Magmatic- Hydrothermal			Supergene
		Stage1	Stage2	Stage3	
Ore	Magnetitel	—————			
	Apatite1	—————			
	MagnetiteII		—————		
	Apatite2		—————		
	Apatite3			—————	
	Olygist		-----	—————	
	Hematite		-----	—————	—————
	Goethite Limonite				————— —————
Gangue	Quartz	-----	—————	—————	
	Calcite		-----	—————	-----
	Muscovite		—————	—————	
	Anhydrite				—————
	Gypsum				—————
	Halite				—————
					—————
Structure & Texture	Dyke		—————		—————
	Massive	—————	—————		—————
	Vein (Veinlet)			—————	—————
	Disseminated	-----			

فصل هشتم:




مطالعات زمین شیمیایی

پس از تحلیل روابط صحرایی، کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری، مطالعه ویژگی‌های زمین‌شیمیایی آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. بطور کلی تاریخچه تکوین سنگ‌ها را می‌توان به دو مرحله اصلی تقسیم نمود. مرحله اولیه، که شامل تشکیل مذاب از سنگ یا سنگ‌های منشأ بوده و مرحله دوم که به فرآیندهایی مربوط می‌گردد که در طی صعود ماگما از محل تشکیل مذاب تا سطح زمین، ماگما را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Hall, 1996). اصلی‌ترین متغیرهای مرحله اول ترکیب سنگ منشأ، حرارت و فشار حاکم، درجه ذوب‌بخشی سنگ منشأ و شرایط تکتونیکی حاکم، و متغیرهای مرحله دوم مشتمل بر فرآیندهای تفریق از طریق تبلوربخشی، اختلاط، هضم، آلیش، سرعت صعود ماگما و ویژگی‌های تکتونوماگمایی حاکم بر محیط نفوذ یا فوران این مواد در سطح زمین هستند. هرکدام از این عوامل و فرآیندها باعث تغییراتی در خواص فیزیکوشیمیایی ماگمای پدیدآورنده‌ی سنگ‌ها می‌گردند که اطلاعاتی را در مورد تاریخچه تشکیل سنگ در اختیار قرار می‌دهند. در این فصل جهت بررسی چگونگی تشکیل سنگ‌ها و کانسنگ‌ها و مطالعه روند توزیع و پراکندگی و همچنین تغییرات عناصر- اصلی و کمیاب در ماده معدنی و سنگ درونگیر، به مطالعات زمین‌شیمیایی و نتایج حاصل از آن‌ها پرداخته می‌شود. برای این منظور، بحث زمین‌شیمی در دو بخش سنگ‌میزبان و کانسنگ به طور جداگانه مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس ابتدا خصوصیات سنگ‌های میزبان و سپس خصوصیات زمین‌شیمیایی کانه‌زایی‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد. نمونه‌های سنگ پس از خردایش و نرمایش تا حد زیر ۲۰۰ مش به روش ذوب قلیایی با استفاده از دستگاه ICP/OES برای اکسید عناصر اصلی تجزیه شده‌اند. علاوه بر این نمونه‌های سنگ به روش انحلال در ۴ اسید و با استفاده از تکنیک ICP/MS برای عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب در آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرآما در تهران تجزیه شدند. نمونه‌های کانسنگ پس از خردایش و نرمایش به روش ذوب قلیایی با استفاده از تکنیک ICP-MS برای عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب در آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرآما تجزیه شدند.

۲-۶- زمین‌شیمی سنگهای آذرین

به منظور بررسی‌های زمین‌شیمیایی در منطقه مورد مطالعه، در مجموع ۶ نمونه سنگی به شیوه تصادفی از رخنمون‌های سطحی سنگ‌های آتشفشانی شامل توف و گدازه برداشت گردید. لازم به ذکر است که نمونه‌ها همه برجا و از سطح تازه رخنمون‌های سنگی برداشت شده است. امروزه از دستگاه‌های متنوعی به منظور دستیابی به داده‌های زمین‌شیمی استفاده می‌شود. در این تحقیق از نتایج تجزیه شیمیایی ۶ نمونه به روش ICP-OES/MS و XRD در آزمایشگاه زرآما استفاده گردید. نتایج حاصله در جدول ۲-۶ ارائه گردیده است.

جدول ۱-۶: اسامی هر نمونه بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری و علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌های سنگ در تمامی شکل‌ها.

شماره نمونه	HI-G-8	HI-G-9	HI-G-10	HI-G-18	HI-G-20	HI-G-21
علامت						
نام سنگ	توف ریوداسیتی	ریولیت	کریستال توف	ریولیت	توف	توف ریولیتی

جدول ۲-۶: مقادیر عناصر فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب (ppm) در نمونه‌های سنگ به روش ICP-OES/MS.

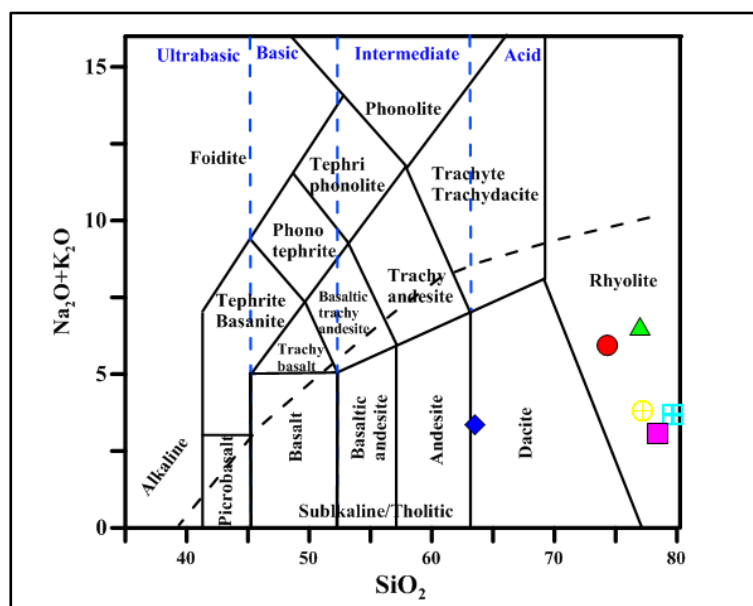
Element	Unit	HI-G-8	HI-G-9	HI-G-10	HI-G-18	HI-G-20	HI-G-21
Lithology		Rhyodacitic tuff	Rhyolite	Crystal tuff	Rhyolite	Tuff	Rhyolite tuff
X		445652	445745	445786	445698	445725	445774
Y		2990916	2990802	2990637	2990772	2990810	2990721
Ag	ppm	0.2	0.5	0.5	0.9	<0.1	0.5
Al	ppm	51807	59523	46384	61645	65123	69524
As	ppm	99.4	30.9	12.1	18.4	11.8	7
Ba	ppm	740	954	581	143	149	60
Be	ppm	2.3	2.4	2.4	2	2.1	2.6
Bi	ppm	0.8	0.3	0.3	0.6	0.4	3.5
Ca	ppm	7757	1665	3101	2472	2884	1321
Cd	ppm	1	0.1	0.3	0.2	<0.1	<0.1
Ce	ppm	9	23	41	53	150	55
Co	ppm	7	1.1	15.1	2.4	3.3	3.4
Cr	ppm	17	11	58	17	14	15

Cs	ppm	3.2	0.6	11	5.7	5	4.5
Cu	ppm	30	12	20	24	9	15
Dy	ppm	0.88	2.14	3.67	4.61	2.45	5.5
Er	ppm	0.45	1.5	2.36	3.15	1.51	3.41
Eu	ppm	0.34	1.03	0.9	0.49	1.43	1.48
Fe	ppm	34443	6113	95950	13144	33607	14541
Gd	ppm	<0.05	1.05	3.14	3.26	5.72	4.91
Hf	ppm	1.53	3.82	2.48	4.2	2.1	4.02
In	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K	ppm	35772	51170	26088	21905	22723	21968
La	ppm	10	13	20	22	71	21
Li	ppm	29	63	98	91	98	141
Lu	ppm	0.12	0.31	0.32	0.58	0.28	0.56
Mg	ppm	18818	18697	18877	14935	>2%	>2%
Mn	ppm	515	85	12589	107	251	108
Mo	ppm	6	0.7	4.7	0.8	0.2	1.4
Na	ppm	4926	2457	1532	958	3268	974
Nb	ppm	7	4.3	10.3	7.8	5.5	7.6
Nd	ppm	<0.5	3.4	17.3	20	56.9	25.6
Ni	ppm	4	1	15	3	<1	3
P	ppm	184	285	369	147	312	164
Pb	ppm	60	<1	176	3	5	1
Pr	ppm	<0.05	0.82	4.21	5	15.14	5.42
Rb	ppm	83	81	107	108	67	100
S	ppm	1153	745	174	868	117	668
Sb	ppm	1.5	1.8	1.1	0.6	<0.5	0.5
Sc	ppm	2	4	7.6	4.8	9.6	9.9
Se	ppm	<0.5	0.73	1.15	1.11	<0.5	0.82
Sm	ppm	0.23	1.36	4.03	3.92	11.79	7.75
Sn	ppm	2.7	2.5	3.1	2.8	0.7	2.5
Sr	ppm	171.2	69	182.1	50.5	126.3	60.9
Ta	ppm	0.73	0.61	0.96	0.81	0.66	0.78
Tb	ppm	0.14	0.33	0.67	0.87	0.53	0.84
Te	ppm	0.17	0.15	0.13	0.11	<0.1	<0.1
Th	ppm	13.42	7.73	9.35	13.31	12.99	9.17
Ti	ppm	850	891	1497	1073	1752	2205
Tl	ppm	0.57	0.17	0.25	0.1	<0.1	0.11
Tm	ppm	0.11	0.27	0.36	0.53	0.27	0.57
U	ppm	1.3	2	3.2	2.4	1.9	3.3
V	ppm	15	16	52	15	29	25
W	ppm	1.6	1.7	<1	<1	<1	<1
Y	ppm	5.3	14.8	18.6	23.4	9.3	23
Yb	ppm	0.8	1.6	2.6	3	1.5	3
Zn	ppm	73	6	83	19	38	14

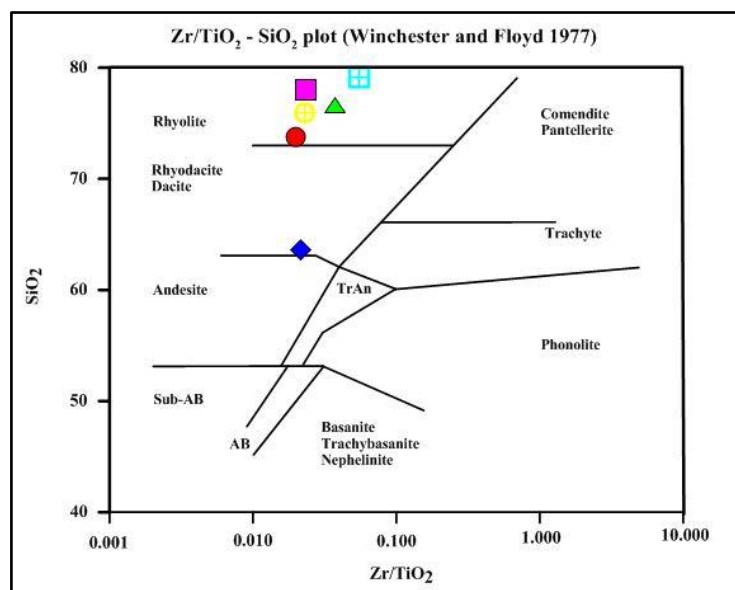
Zr	ppm	34	97	75	114	76	119
----	-----	----	----	----	-----	----	-----

۱-۲-۶- نامگذاری سنگهای آذرین منطقه بر اساس عناصر اصلی

بررسی‌های زمین‌شیمیایی بر روی سنگ‌های آذرین برای تعیین ترکیب شیمیایی ماگمای والد، طبقه-بندی سنگ‌ها و پتروژنز باید بر روی نمونه‌های سالم و غیردگرسان شده، صورت بگیرد. برای اینکه فرایندهای دگرگونی و دگرسانی سبب تغییرات شیمیایی و بافتی اولیه‌ی سنگ شده و نتایج مطالعات ژئوشیمیایی را با مشکل مواجه می‌سازد. در این پژوهش جهت اجتناب از اثر دگرسانی روی ترکیب شیمیایی سنگ‌ها، بر پایه نتایج مقاطع سنگ‌نگاری سالم‌ترین سنگ‌های منطقه برای تجزیه شیمیایی انتخاب شده است. برای نامگذاری شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی از نمودار (TAS Le Bas et al. 1986) استفاده شد که بر پایه مجموع آلکالی ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) در برابر SiO_2 ، سنگ‌های محدوده کانسار مورد مطالعه بیشتر از نوع فلسیک تا حدواسط بوده، و شامل گستره‌ای از سنگ‌های ریولیتی تا داسیتی را شامل می‌شود (شکل ۱-۶ و ۲-۶).



شکل ۱-۶: موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار (TAS Le Bas et al 1986) که نمونه‌ها عمدتاً در محدوده ریولیت و یک نمونه در محدوده داسیت قرار گرفته است.

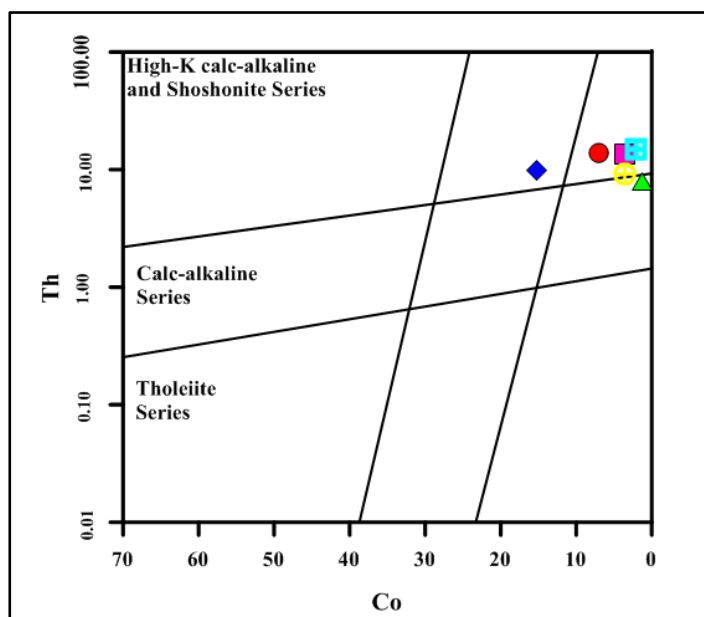


شکل ۶-۲: موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار (Winchester and Floyd 1977)، در این نمودار نمونه‌ها عمدتاً در محدوده ریولیت و ریوداسیت قرار گرفته‌اند.

۶-۲-۲- تعیین سری ماگمایی براساس عناصر اصلی

به طور کلی سنگهای آذرین با توجه به منشأ و شرایط تشکیل به سریهای ماگمایی مختلفی تعلق دارند و مؤلفین مختلف بر اساس ویژگیهای زمین‌شیمیایی، نامهای متفاوتی را به آنها اختصاص داده‌اند. در این مبحث با استفاده از نمودارهای رایج سعی می‌شود سریهای ماگمایی نمونه‌های مورد مطالعه مشخص شود.

برای تعیین سری ماگمایی سنگهای آذرین منطقه از نمودار Th-Co (Hastie et al., 2007) استفاده شده است. از نظر ماهیت زمین‌شیمیایی سنگهای منطقه از سری کالک‌آلکان تا کالک‌آلکان درجه بالا و شوشونیتی تغییر میکنند (شکل ۶-۳). چنین مجموعه سنگی در جزایر کمانی، حاشیه قاره‌ها و کمرندهای کوهزایی با سنین مختلف تشکیل می‌شوند. در جایگاه کمانی که پوسته قاره‌ای در زیر وجود ندارد بازالت فراوان و ریولیت و داسیت کمیاب می‌باشند اما در جایی که پوسته قاره‌ای در زیر وجود دارد فراوانی بازالت کمتر بوده و داسیت و ریولیت فراوانتر و حجیم‌تر هستند (Hall, 1998).



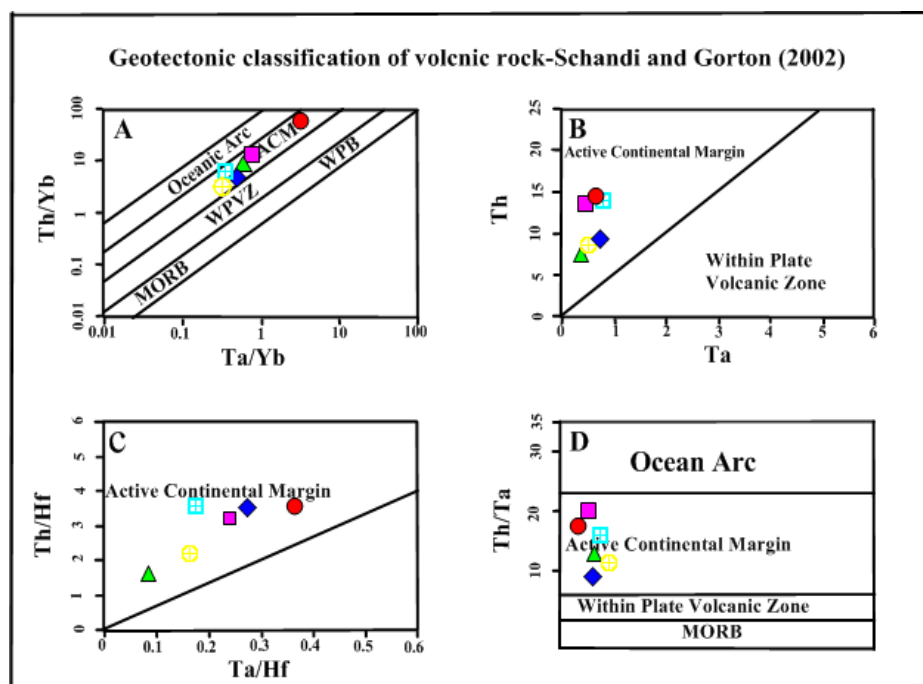
شکل ۶-۳: موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار (Hastie et al., 2007)، که نمونه‌ها در محدوده کالک‌آلکالن و شوشونیتی قرار می‌گیرند.

۶-۲-۳- موقعیت تکتونیکی محل تشکیل سنگها

یکی از عواملی که در تعیین انواع مختلف تیپ‌های کانساری از اهمیت خاصی برخوردار است، سری‌های ماگمایی-می‌باشد و با توجه به اینکه موقعیت تکتونیکی در تعیین نوع و سری‌ماگمایی دخالت ویژه‌ای دارد، لذا شناخت و شناسایی نوع محیط تکتونیکی، یکی از اهداف اصلی در هر منطقه به شمار می‌رود.

پژوهشگران بر اساس عناصر اصلی، فرعی و کمیاب مدل‌های مختلفی را برای درک موقعیت تشکیل سنگ‌های آذرین ارائه کرده‌اند. انواع مختلف پشته‌های میان‌اقیانوسی، با استفاده از شیمی بازال، بهتر تشخیص داده می‌شوند، در حالی که تمایز میان انواع مختلف زون‌های برخوردی، با استفاده از زمین-شیمی گرانیت بهتر انجام می‌گیرد. حاشیه‌های غیرفعال قاره‌ای توسط نبود فعالیت آذرین شناخته می‌شود و فقط با استفاده از شیمی سنگهای رسوبی می‌توان آن‌ها را تشخیص داد. جایگاه درون‌صفحه‌ای را می‌توان از روی شیمی بازالها و گرانیت‌ها هر دو تشخیص داد و جزایر کمانی را با استفاده از هر سه نوع تحلیل متمایز کننده‌ها می‌توان شناسایی کرد.

به منظور تمایز بین محیط‌های تکتونیکی به طریق زمین‌شیمیایی از نمودار متمایزکننده (Schandi and Gorton., 2002) استفاده شده است. در این نمودار معمولاً از عناصر اصلی و کمیاب استفاده می‌شود ولی امروزه نمودارهای متمایز کننده‌ای که بر پایه عناصر کمیاب و غیرمتحرک بنا شده است کاربرد بیشتری دارند. به منظور تعیین خاستگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه از نمودارهای مرتبط با عناصر غیرمتحرک با قدرت میدان بالا استفاده شده و سنگ‌های آتشفشانی منطقه مزبور در حوضه‌های ریفتی واقع در حاشیه فعال قاره گندوانا قرار می‌گیرند (شکل ۶-۴).

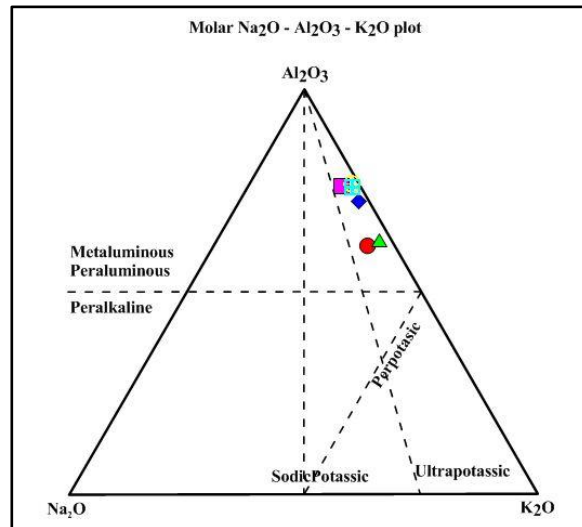


شکل ۶-۴: نمودار خاستگاه زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس نمودار شاندی و گورتون (Schandi and Gorton., 2002) که نمونه‌ها در محدوده حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند.

۶-۲-۴- بررسی میزان آلومینیم در تعیین نوع سنگ‌های آذرین

درجه‌ی اشباع‌شدگی از آلومینیم در تعیین نوع تیپ سنگ‌های آذرین، با استفاده از نسبت‌های مولکولی K_2O ، Na_2O و Al_2O_3 امکان‌پذیر می‌باشد (شکل ۶-۵). بر این اساس، سنگ‌های آذرین به گروه‌های پرآلومینیم ($Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$) (Peraluminous)، آلومینیم متوسط ($Al_2O_3 < Na_2O + K_2O + CaO$) (Metaluminous) کم آلومینیم (Subaluminous) و پرآلکالن (Peralkaline) ($Al_2O_3 < Na_2O + K_2O$) تقسیم می‌شوند. با توجه به نمودار $Na_2O - Al_2O_3 - K_2O$

سنگ‌های آذرین محدوده کانسار آهن- آپاتیت هرمز در محدوده پراآلکان تا متا آلومینیم قرار می‌گیرد.



شکل ۵-۶: نمودار (Molar) $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$ برای تعیین درجه اشباع‌شدگی ماگما از آلومینیم و قرارگیری بیشتر نمونه‌ها در محدوده متاآلومینیمی.

۵-۲-۶- الگوی بهنجار شده عناصر خاکی کمیاب به کندریت و گوشته‌اولیه

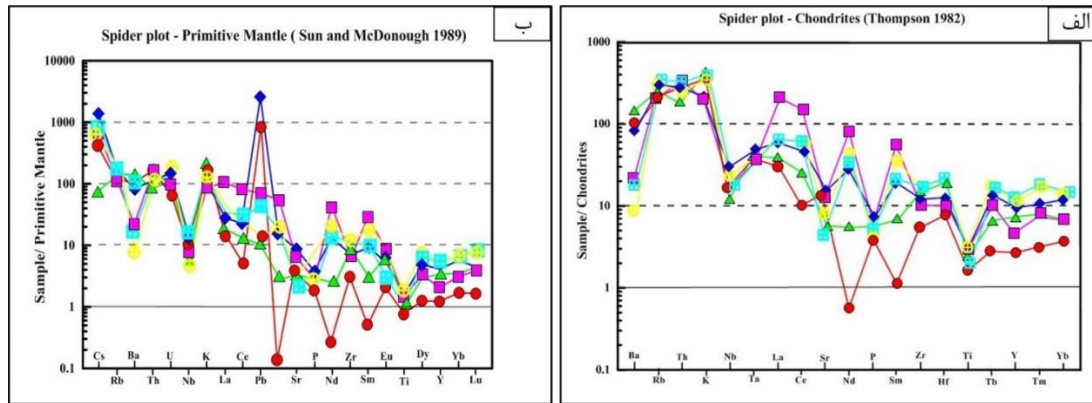
در بررسی تحولات ماگمایی و به منظور بررسی فرآیندهای پترولوژیکی از نمودارهای عنکبوتی بهنجار- شده استفاده می‌شود. در این نمودارها از بهنجارسازی فراوانی عناصر خاکی کمیاب نسبت به فراوانی این عناصر در یک سری نمونه‌های استاندارد خاص استفاده می‌شود (Rollinson, 1993). به منظور بررسی الگوی تغییرات عناصر خاکی کمیاب، نمونه‌های سنگی منطقه مورد مطالعه نسبت به کندریت (Thompson, 1982) و گوشته‌اولیه (Sun and McDonough, 1989) بهنجار شده‌اند (شکل ۶-۶ الف و ب).

در هر دو نمودار الگوی عناصر خاکی کمیاب آن‌ها با یکدیگر موازی و هماهنگ می‌باشند. در نتیجه باید مقادیر عناصر خاکی کمیاب و نسبت‌های آن‌ها در یک سری سنگی، به طور ثابت و پیوسته تغییر - کند. موازی بودن الگوی عناصر در سنگ‌های منطقه و نتایج بدست آمده از بخش‌های قبلی نیز تایید-

کننده این امر بوده و بر منشأ واحد این سنگ‌ها دلالت دارند. همانطور که در شکل (۷-۶ الف و ب) دیده می‌شود، آنومالی منفی عناصر Nb و Ti به شکل بارزی در همه نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود به طور کلی، عوامل گوناگونی در ایجاد آنومالی منفی عناصر Nb و Ti مؤثر است:

عنصر تیتانیوم دارای شعاع یونی مشابه آلومینیم می‌باشد به همین دلیل در ترکیب کانی‌های پیروکسن، هورنبلند و بیوتیت به صورت اسیرشده حضور دارد. بنابراین در طول تبلور ماگما از سمت مافیک به فلسیک مقدار Ti کاهش پیدا می‌کند. این عنصر در ماگماهای شدیداً سیلیسی بصورت کانی اسفن از ماگما خارج می‌گردد. بنابراین تهی‌شدگی Ti از ویژگی‌های بارز سنگ‌های آذرین فلسیک می‌باشد. عنصر Sr در طول تبلور ماگما جانشین با Ca و K می‌گردد. بنابراین این عنصر در سنگ‌های آذرین بیشتر در ترکیب پلاژیوکلاز و فلدسپات‌پتاسیم حضور می‌یابد. فرآیند غالب خارج کردن Sr از ماگما، پذیرفته شدن آن به جای Ca در پلاژیوکلازها است. از آنجا که در طول تبلور ماگما از قطب مافیک به فلسیک مقدار Ca کاهش پیدا می‌کند. بنابراین انتظار می‌رود که سنگ‌های فلسیک (غنی از سیلیس) تهی‌شدگی از Sr نشان بدهد. Ba جایگزین K در کانی‌های بیوتیت و فلدسپار پتاسیم می‌گردد. این عنصر در کانی‌های پتاسیمی که ابتدا تشکیل می‌شوند جمع می‌گردد. بنابراین پتاسیم-فلدسپارهای مراحل پسین و تأخیری با کمبود Ba همراه هستند. بنابراین انتظار می‌رود که از سنگ‌های حدواسط و فلسیک به سمت سنگ‌های به شدت غنی از سیلیس (ریولیت‌ها) مقدار Ba کاهش پیدا کند. Ba می‌تواند در ساختار کانی‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند هم پذیرفته شود. این عوامل هم می‌تواند کاهش و تهی‌شدگی Ba در سنگ‌های غنی از سیلیس را توجیه بنماید. آنومالی‌های منفی یا تهی‌شدگی Nb و Ta در سنگ‌ها نقش دخالت پوسته‌قاره‌ای در ماگمای والد آن‌ها را نشان می‌دهد و همچنین مرتبط با ماگماهای مربوط به محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای است و می‌تواند در اثر آلودگی پوسته و سیالات آزادشده از لیتوسفر فرورونده به وجود آمده باشد (Aldanmaz et al., 2000). علاوه بر این مطالعه زمین‌شیمی عناصر کمیاب سنگ‌کل، زیرکن و بیوتیت ریولیت‌های جزیره هرمز نشان

می‌دهد که این سنگ‌ها از ماگماهای نوع I مرتبط با مناطق فرورانش منشأ گرفته و در محیط فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند (فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۶-۶: نمودار عناصر خاکی کمیاب نرمالیز شده نسبت به الف) کندریت (Thompson, 1982) و ب) گوشته اولیه (Sun and Mc Donogh, 1989) در نمونه‌های سنگ.

۳-۶- زمین‌شیمی کانسنگ‌های منطقه

برای مطالعه کانسنگ‌های منطقه مورد مطالعه تعداد ۸ نمونه معرف برداشت گردید که پس از خریداری و نرمایش به روش ذوب قلیایی با استفاده از تکنیک ICP-MS برای عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب در آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زراژما تجزیه شدند. بر اساس شواهد زمین‌شناسی صحرایی، سنگ‌نگاری، و کانی‌شناسی احتمال رخداد دو تیپ کانه‌زایی مختلف در این منطقه وجود دارد که تحت عنوان کانه‌زایی آهن نواری (رسوبی و رسوبی-آتشفشانی) و کانه‌زایی آهن-آپاتیت (ماگمایی-گرماپی) تقسیم‌بندی می‌گردد. نمونه‌های HI-G-1, HI-G-2, HI-G-3, HI-G-5 و HI- صحرائی از کانسنگ‌های آهن نواری و نمونه‌های شماره HI-G-4, HI-G-7, HI-G-6 از کانه‌زایی آهن-آپاتیت منطقه برداشت شده‌اند.

جدول ۶-۳: مقادیر عناصر فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش ICP-OES/MS.

Element	Unit	HI-G-1	HI-G-2	HI-G-3	HI-G-4	HI-G-5	HI-G-6	HI-G-7	HI-G-11
Lithology		BIF	BIF	BIF	Apatite ore	BIF	Iron-apatite ore	Iron-apatite ore	Olygist ore

X		445786	445758	445631	445776	445677	445776	445546	445650
Y		299063 7	299059 4	299065 7	299052 0	299061 3	299052 0	299071 9	2990684
Ag	ppm	<0.1	0.9	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Al	%	0.3057	3.1352	0.1877	0.0159	0.396	3.2065	4.9481	0.3746
As	ppm	102	16.5	106	439	20.8	309	152	205
Ba	ppm	0.08%	694	90	43	0.85%	0.73%	0.15%	0.1%
Be	ppm	2.5	1	0.4	0.9	1	1.1	1.6	1.1
Bi	ppm	2.5	0.3	1.7	0.3	0.3	1.2	0.8	0.3
Ca	%	1.61	0.11	1.44	35.81	3.25	6.32	3.56	0.16
Cd	ppm	0.6	0.8	0.5	0.9	1.4	1.7	0.6	0.6
Ce	ppm	18	<1	16	10449	49	1844	1070	25
Co	ppm	354.9	10.4	15.6	1.4	7.5	55	23.9	9.2
Cr	ppm	22	43	27	19	21	26	18	32
Cs	ppm	0.7	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	1.9	3.6	0.5
Cu	ppm	1097	33	34	9	2	193	32	5
Dy	ppm	3.75	0.49	0.61	761.09	1.64	107.65	59.01	0.81
Er	ppm	1.45	<0.05	<0.05	459.87	0.72	63.1	34.35	0.11
Eu	ppm	3.76	0.35	<0.1	84.56	4.01	16.45	7.61	1.34
Fe	%	35.29	20.99	37.38	0.47	41.07	20.48	3.35	50.17
Gd	ppm	5.3	<0.05	0.3	844.7	1.45	112.47	60.17	0.53
Hf	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	9.78	<0.5	1.5	1.84	<0.5
In	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K	ppm	1837	36798	626	<100	5792	44712	43776	3037
La	ppm	15	3	22	5907	45	943	559	26
Li	ppm	27	26	15	2	68	52	91	39
Lu	ppm	0.19	<0.1	<0.1	40.26	<0.1	5.63	3.23	<0.1
Mg	ppm	3369	8798	818	343	10819	3226	15078	3296
Mn	ppm	6.44%	4721	351	125	335	14592	2367	155
Mo	ppm	29.1	6.2	15.5	4.2	8.2	27.8	8.7	22.8
Na	ppm	3576	1904	1533	4575	486	1749	1671	602
Nb	ppm	1.2	3.1	1	2.9	2.2	4.5	5.2	1.8
Nd	ppm	15.1	<0.5	3.4	5147.1	10	668.2	378	4.8
Ni	ppm	37	1	1	<1	<1	11	1	2
P	ppm	1552	197	908	16.06%	1094	2.66%	16153	364
Pb	ppm	37	75	60	<1	10	104	18	6
Pr	ppm	2.59	<0.05	0.99	1280.76	2.92	163.33	92.12	1.48
Rb	ppm	4	58	1	1	59	72	78	28
S	ppm	9670	318	15664	412	1179	1182	664	547
Sb	ppm	2	3.3	3.5	<0.5	12.8	3.6	1.5	13.3
Sc	ppm	16.8	4.1	1.3	5.2	1.2	4.6	3.7	1.2
Se	ppm	1.16	0.54	1.26	146.86	<0.5	20.85	12.04	<0.5
Si	%	32.2	25.97	18.45	18.33	14.57	14.13	12.88	0.24
Sm	ppm	6.45	0.26	0.21	876.48	6.81	122.29	65.96	2.04
Sn	ppm	9.2	2.1	1	1.3	12.3	5.6	3.8	8.7

Sr	ppm	617.2	167.3	115	250.8	174.6	248.5	153	66.5
Ta	ppm	0.28	0.44	0.26	1.51	0.27	0.56	0.77	0.27
Tb	ppm	0.78	<0.1	0.12	125.64	0.29	17.42	9.26	0.14
Te	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	0.15	0.15	<0.1	<0.1	0.11
Th	ppm	<0.1	3.47	<0.1	189.44	3.51	28.52	20.6	0.7
Ti	ppm	<10	908	<10	109	<10	981	1179	<10
Tl	ppm	2.19	1.02	0.25	<0.1	1.53	0.5	1.97	0.13
Tm	ppm	0.22	<0.1	<0.1	60.49	0.12	8.31	4.66	<0.1
U	ppm	53.2	1.3	5.9	3.2	1.3	5.2	1.9	2
V	ppm	51	17	18	30	24	38	25	54
W	ppm	3	2.6	<1	8.1	14.8	15.5	4.5	41.6
Y	ppm	13.2	2.2	1.3	3626.1	12.3	626.9	344.9	3.2
Yb	ppm	2.8	0.9	1.4	254.7	1.8	44.4	24.6	1.8
Zn	ppm	69	66	40	1	3	125	28	2
Zr	ppm	12	13	11	<5	7	8	20	11

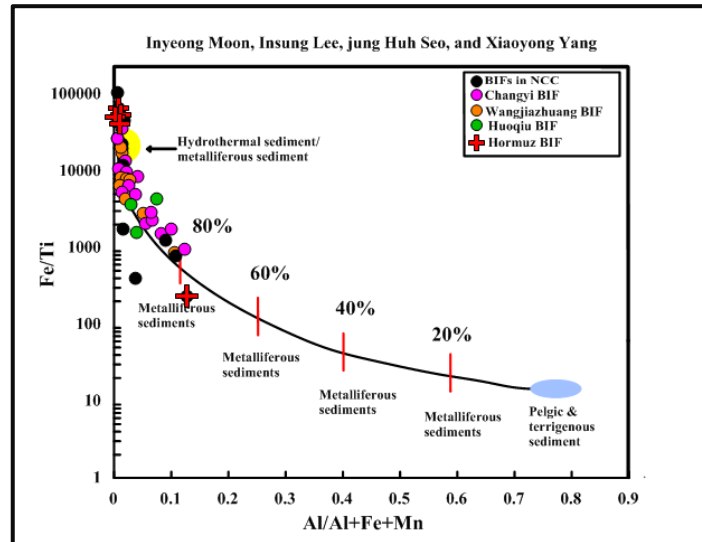
۶-۳-۱- زمین‌شیمی کانسنگ‌های آهن نواری

در این بخش از ویژگی‌های زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب برای تعیین خاستگاه و تیپ کانه-زایی استفاده شده است.

الف) زمین‌شیمی عناصر اصلی و فرعی

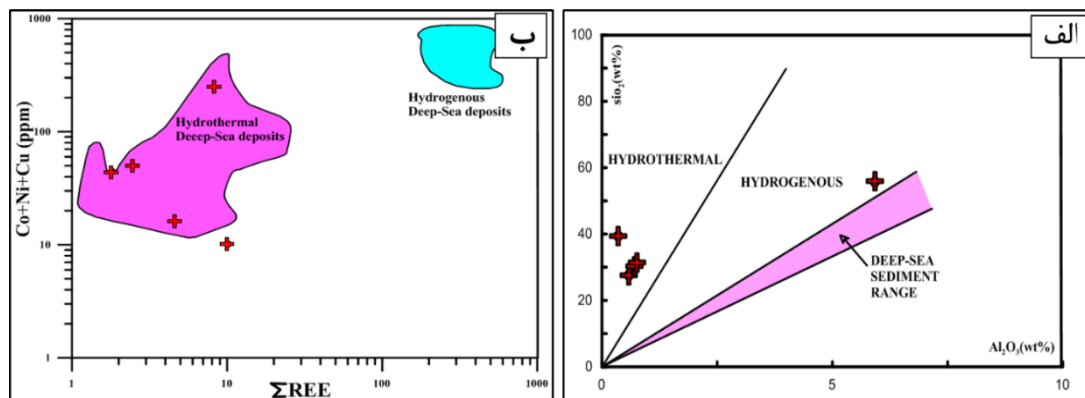
آلایش همزمان با رسوبگذاری و محیط‌های ته‌نشست مؤثر در شکل‌گیری BIF ها به واسطه نسبت $Al / (Al + Fe + Mn)$ در مقابل Fe / Ti تعیین می‌گردد. عناصر $Ni, Cr, Y, Rb, Hf, Zr, TiO_2, Al_2O_3$ برای ارزیابی میزان آلاینده‌گی کانسنگ‌های آهن توسط قطعات آواری و آتشفشانی بکار برده می‌شوند (Kato et al., 1996; Basta et al., 2011; Wang et al., 2014). در نمودار نسبت $(Al + Fe + Mn)$ $Al / (Al + Fe + Mn)$ در مقابل Fe / Ti قرارگیری نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در منطقه‌ای بسیار نزدیک به رسوبات گرمایی و به دور از محیط‌های مربوط به رسوبات پلاژیک و آواری نقش مواد پوسته‌ای را در تشکیل کانسنگ‌های آهن نواری جزیره هرمز را کمرنگ می‌نماید. علاوه بر این مقایسه BIF‌های منطقه با

دیگر BIF های مربوط به چند منطقه دیگر، نشان از همروند بودن این تشکیلات آهن نواری با یکدیگر می باشد (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷: نمودار متمایزکننده نسبت جرمی $Al/(Al + Fe + Mn)$ در مقابل Fe/Ti (Bostrom, 1973).

براساس نمودار متمایزکننده Al_2O_3 در مقابل SiO_2 و $\sum REE$ در مقابل $Co + Ni + Cu$ که توسط پژوهشگران برای مشخص کردن تأثیرات منابع آب دریا، گرمایی، بیولوژیکی و زیستی در پیدایش BIF به کار گرفته شده است (Wonder et al., 1988; Stern et al., 2013; Xu et al., 2014)، نشان می دهد که بیشتر نمونه های BIF در زمینه گرمایی قرار می گیرد. این ممکن است نشان دهد که احتمالاً Si و Fe از منابع گرمایی نشأت گرفته باشند. با این حال، قرارگیری یک نمونه در حوزه هیدروژنی، نشان می دهد که ته نشست شیمیایی از آب دریا با ورودی های ناچیزی از مایعات گرمایی صورت گرفته است (شکل ۶-۸ الف و ب).

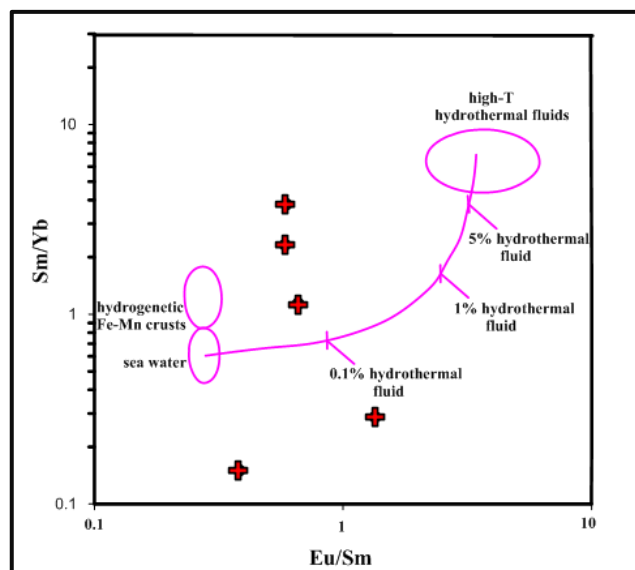


شکل ۶-۸: موقعیت قرارگیری نمونه‌های کانسنگ نواری هرمز با استفاده از نمودار تبعیض $\text{Co} + \text{Ni} + \text{Cu}$ vs. ΣREE (Dymek and Klein, 1988), $(\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ Wonder et al., 1988) به منظور نمایش منشأ نه‌نشینی اولیه نمونه‌های BIF جزیره هرمز.

ب) زمین‌شیمی عناصر خاکی کمیاب

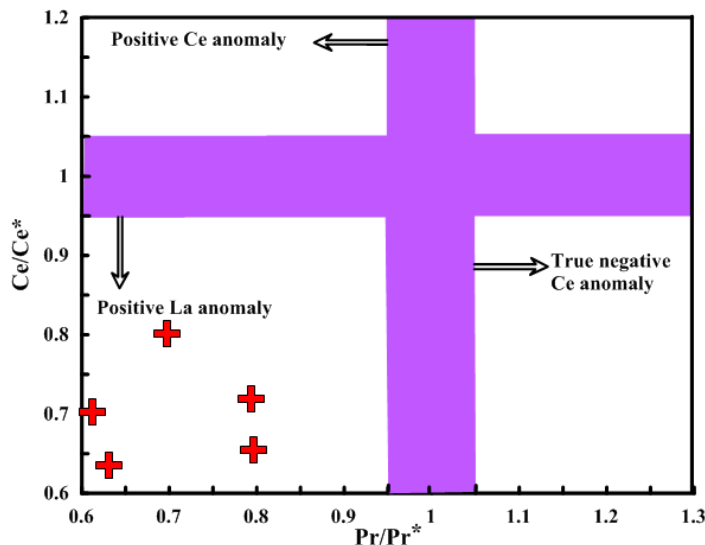
عناصر خاکی کمیاب می‌توانند اطلاعات اساسی و مؤثری از فرآیندهای ژنتیکی کانسار به ما بدهند (هین و همکاران، ۱۹۹۷). این عناصر به عنوان اثر انگشت در فرآیندهای ماگمایی تشکیل سازندها به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عناصر خاکی کمیاب به دلیل تشابه و یکنواختی در اندازه و فعالیت، به صورت سری به هم پیوسته در نظر گرفته می‌شوند. وجود این پیوستگی در شناخت شرایط مختلف زمین‌شناسی کانسارها بسیار مهم است، زیرا شرایط خاص زمین‌شناسی باعث به هم خوردن این پیوستگی می‌شود و برخی عناصر آنومالی خاص نشان داده و از زنجیره خارج می‌شوند.

از نمودار نسبت Sm/Yb به Eu/Sm برای شرح سهم نسبی آب دریا و سیالات گرمابی در تشکیل کانسنگ‌های آهن نواری استفاده می‌شود. بر اساس ترسیم نمونه‌های منطقه هرمز بر روی این نمودار و قرارگیری نمونه‌ها در محدوده‌ای بین این دو محیط، حکایت از نقش داشتن این سیالات در شکل‌گیری کانسنگ آهن نواری می‌باشد.



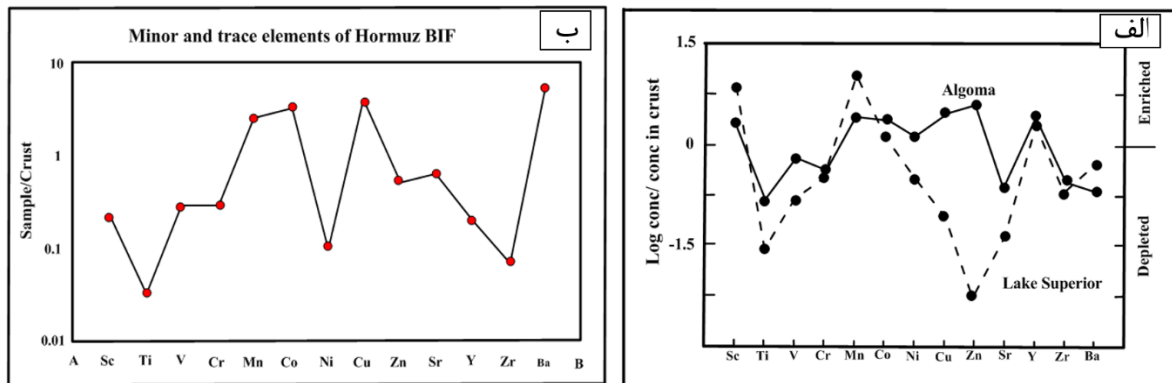
شکل ۶-۹: سهم سیالات گرمابی و آب دریا در تشکیل کانسنگ‌های آهن نواری بر پایه نمودار Eu / Sm در مقابل Sm / Yb (Alexander et al 2008) / Yb در طراحی این نمودار از داده‌های آب دریا (Alibo and Nozaki, 1999) و مایعات گرمابی (Bau and Dulski, 1999) استفاده شده است.

نمودار $(Pr/Pr^*)_{SN}$ در مقابل $(Ce/Ce^*)_{SN}$ محدوده آنومالی مثبت و منفی Ce و آنومالی مثبت La را از یکدیگر تفکیک می‌نماید. در این بررسی بر اساس داده‌های زمین‌شیمیایی عناصر خاکی کمیاب ابتدا مقادیر آنومالی $(Pr/Pr^*)_{SN}$ و آنومالی $(Ce/Ce^*)_{SN}$ محاسبه شده و با وارد کردن این مقادیر بر روی نمودار آنومالی $(Pr/Pr^*)_{SN}$ و آنومالی $(Ce/Ce^*)_{SN}$ همه‌ی نمونه‌های محدوده مورد مطالعه در محدوده آنومالی مثبت La قرار می‌گیرند که نشان از شکل‌گیری کانسنگ‌های آهن منطقه مورد مطالعه در شرایط زیردریایی کم‌اکسیژن یا بدون‌اکسیژن می‌باشد (شکل ۶-۱۰). لازم به ذکر است که نسبت $(Pr/Pr^*)_{SN}$ با استفاده از فرمول $(Pr_{SN}/0.5) / (Ce_{SN} + Nd_{SN})$ و نسبت $(Ce/Ce^*)_{SN}$ از فرمول $(Pr_{SN}/0.5) / (La_{SN} + Pr_{SN})$ محاسبه شده است (Moon et al., 2017). مبنای نرمالیزها از مقادیر غلظت PAAS می‌باشد.



شکل ۶-۱۰: نمودار قرارگیری مقادیر $(Pr/Pr^*)_{SN}$ مقابل $(Ce/Ce^*)_{SN}$ برای تمایز بین آنومالی‌های La و Ce.

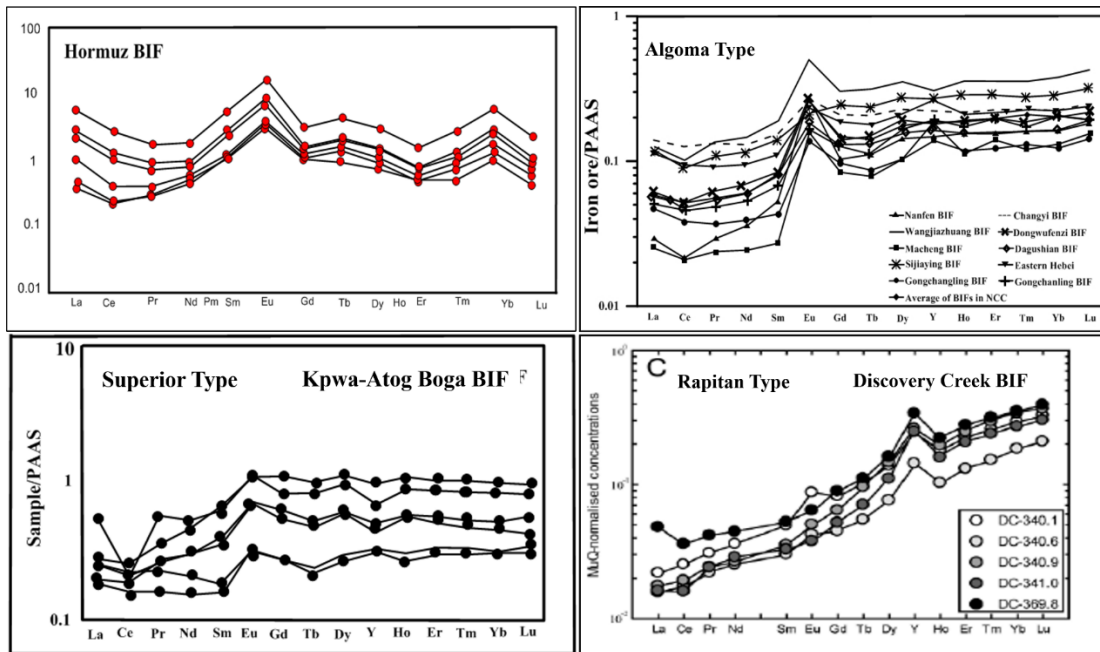
به منظور مطالعه تغییرات عناصر خاکی کمیاب در منطقه، تعداد ۵ نمونه از کانسنگ آهن نواری برداشت شده است که در ادامه، به بررسی روند تغییرات آن‌ها پرداخته شده است. در این بخش چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر خاکی کمیاب و همچنین تفکیک LREE/HREE در کانسار بررسی شده است. عناصر فرعی و کمیاب که نسبت به پوسته نرمالیز شده غنی شدگی در عناصر Mn, Co, Cu, Sr, و تهی‌شدگی در عناصر Ni, Ti, Zn, Zr را نشان می‌دهد که در مقایسه با انواع کانسارهای BIF بیشترین شباهت را با تیپ آگوما دارد. همچنین نمودار عناصر خاکی کمیاب که نشان دهنده آنومالی مثبت Eu و کمی آنومالی منفی Ce می‌باشد. بطور کلی میزان $LREE > HREE$ است و نمودار از LREE به سمت HREE با شیب کمی به سمت مقادیر کمتر می‌رود. مقایسه الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب در کانه‌زایی BIF جزیره هرمز با دیگر کانسارهای BIF تیپ آگوما در نقاط دیگر جهان بیانگر همانندی کامل آن‌ها با یکدیگر است (شکل ۶-۱۱).



شکل ۶-۱۱: نمودار عناصر کمیاب در کانی‌سازی آهن‌نواری جزیره هرمز با سایر کانسارها.

از آنجایی که تفکیک و جدایش REE در طول ته‌نشست BIFها برای اکسیدهای آهن ناچیز است، بنابراین زمین‌شیمی REE در تشکیلات آهن‌نواری، برای درک منشأ مواد اولیه می‌تواند بسیار مفید باشد (Bau and Dulski, 1996; Bekker et al., 2010). پس از نرمالیز کردن نمونه‌ها نسبت به Post Archean Australian Shale (PAAS)، غنی‌شدگی در مقادیر MREE و Eu با تهی‌شدگی در مقدار LREE در کانسنگ آهن مورد مطالعه مشاهده می‌شود که نقش سیالات گرمابی را در تشکیل آن‌ها برجسته می‌کند. ناهنجاری مثبت Ce در ذخایر آهن می‌تواند نماینده‌ای برای اظهار فرایند اکسایش-کاهش در طول تشکیل آهن‌های نواری در اقیانوس‌های قدیمی باشد (Klein, 2005; Bekker et al., 2010). آنومالی نسبتاً ضعیف منفی Ce در ذخایر آهن نواری منطقه نشان‌دهنده شرایط نبود اکسیژن در اقیانوس‌های قدیمی در طول تشکیل آهن‌نواری در مقایسه با سیستم‌های دریایی امروزی است (Danielson et al., 1992; Bau and Dulski, 1996). در نمونه‌های آهن‌نواری نرمالیز شده به PAAS در جزیره هرمز نیز با شرایط ذکر شده مطابقت نشان می‌دهد. درحالی‌که اکثر اثرهای REE منشأ کانه‌های آهن در BIF را آب دریا نشان می‌دهد، اما آنومالی مثبت Eu نمی‌تواند بعنوان یک منشأ دریایی در نظر گرفته شود. اثر REE مایعات گرمابی با غنی‌شدگی MREE و آنومالی Eu مثبت مشخص می‌شوند (Danielson et al., 1992; Bau and Dulski., 1999). آنومالی قوی Eu مثبت (به طور متوسط ۲) در BIF جزیره هرمز، نقش مایعات گرمابی و آب‌های دریایی را در شکل‌گیری آن‌ها نشان می‌دهد. در ادامه الگوی REE نمونه‌های BIF هرمز با چند BIF تیپ آلوگوما از

دیگر نقاط جهان مقایسه شده که هر دو BIF به طور تقریب از یک روند پیروی می کنند (شکل ۶-۱۲).



شکل ۶-۱۲: الگوی REE نرمالیز شده به مقادیر PAAS در جزیره هرمز با الگوی REE سایر کنسارهای آهن تیپ آگوما، سوپریور و راپیتان.

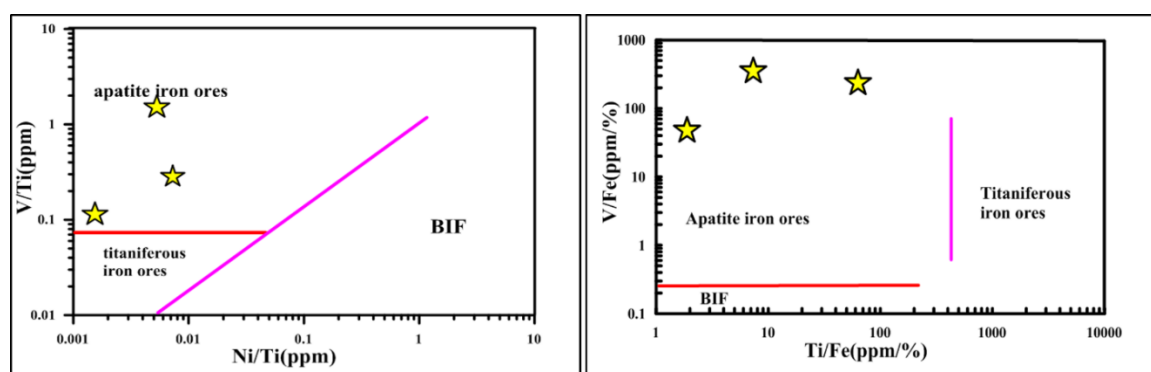
۶-۳-۲- زمین‌شیمی کانسنگ‌های آهن - آپاتیت

جزیره هرمز همانند بلوک بافق - پشت بادام از نظر کانه‌زایی آهن، آپاتیت و عناصر خاکی کمیاب حائز اهمیت هستند. کانسنگ‌های آهن - آپاتیت ناحیه‌ی بافق - پشت بادام توسط پژوهشگران مختلف مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته است (درویش‌زاده، ۱۳۶۲؛ عابدیان، ۱۳۶۲؛ سامانی، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸؛ مختاری و همکاران، ۱۳۸۲؛ Bonyadi et al., 1990; Daliran, 1990; Forster & Jafarzadeh, 1994; Mokhtari & Emami, 2008; Jami, 2005; Mokhtari & Ebrahimi, 2015; Mokhtari et al., 2013). اما بر روی کنسارهای آهن - آپاتیت جزیره هرمز مطالعات اندکی صورت پذیرفته است. این پژوهش مطالعات زمین‌شیمیایی بر روی کانسنگ‌های ناحیه هرمز نیز مد نظر بوده است.

الف) زمین‌شیمی عناصر اصلی و فرعی

از مطالعه رفتار زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب در کنار مطالعات زمین‌شیمیایی و کانی‌شناسی می‌توان در طبقه‌بندی کانسنگ‌ها و تعیین تیپ آن‌ها استفاده نمود (Dill, 2010). بر پایه درصد کانی‌های سازنده، کانه‌زایی اکسید آهن - آپاتیت هرگز را می‌توان در قالب ۳ نوع کانسنگ شامل کانسنگ آپاتیت- مگنتیت، کانسنگ مگنتیت- آپاتیت و کانسنگ آپاتیتی تقسیم کرد. بر پایه داده‌های زمین‌شیمیایی مقدار Fe در نمونه‌های HI-G-4، HI-G-6 و HI-G-7 بترتیب ۰/۴۷، ۲۰/۴۸ و ۳/۳۵ درصد و مقدار P در این نمونه‌ها به ترتیب ۱۶/۰۶، ۲/۶۶ و ۱/۶۱۵۳ درصد می‌باشند که تأییدی بر طبقه‌بندی این کانسنگ‌ها بر اساس مطالعات کانی‌شناسی می‌باشد.

فريتز و پردال، (Frietsch &Perdahl,1995) بر پایه مقادیر Fe, Ni, V, Ti به رده‌بندی انواع کانسارهای آهن پرداخته‌اند. با استفاده از تغییرات V در برابر Ni می‌توان کانسارهای اکسید آهن- آپاتیتی و تیتانیوم‌دار و کانسارهای آهن‌رسوبی را جدا کرد. همچنین، از تغییرات نسبت Ni/Ti و Ti/Fe در برابر نسبت V/Ti و V/Fe می‌توان کانسارهای اکسید آهن- آپاتیت، کانسارهای آهن- تیتانیوم‌دار و کانسارهای آهن‌رسوبی (BIF) را از یکدیگر تشخیص داد. بر این اساس، کانه‌زایی آهن- آپاتیت منطقه هرگز در محدوده کانسارهای اکسید آهن- آپاتیت‌دار قرار می‌گیرد (شکل ۶-۱۴).

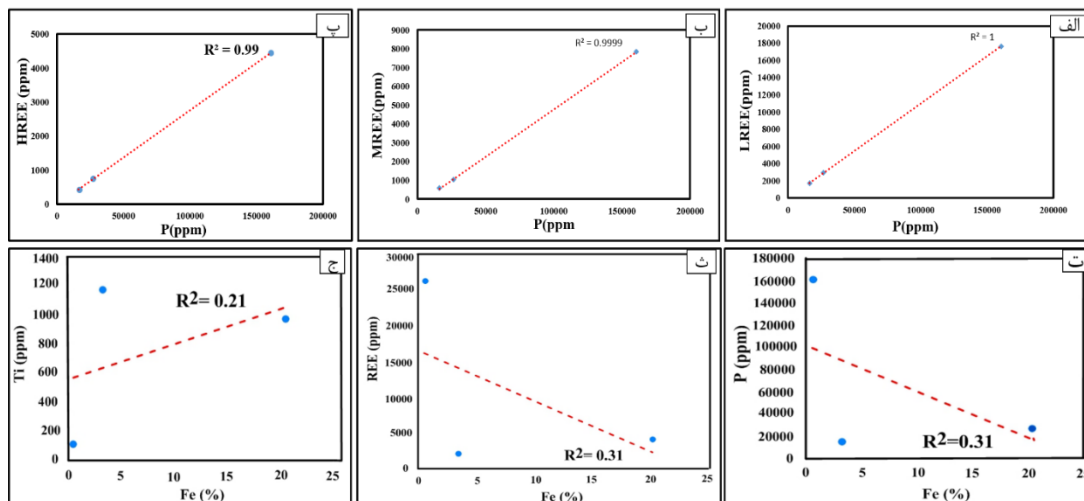


شکل ۶-۱۳: موقعیت کانی‌های آهن-آپاتیت جزیره هرگز در نمودار تغییرات نسبت Ni/Ti و Ti/Fe در برابر نسبت V/Ti و V/Fe (Frietsch &Perdahl,1995).

ب) زمین‌شیمی عناصر خاکی کمیاب

ویژگی بارز کانه‌زایی آهن- آپاتیت منطقه مورد مطالعه، تمرکز بالای عناصر خاکی کمیاب می‌باشد. مجموع عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های برداشته‌شده از کانسنگ مگنتیت - آپاتیت ۲۷۱۸/۸۴ ppm (۰/۲۸ درصد)، در کانسنگ آپاتیت - مگنتیت ۴۷۴۸/۲۱ ppm (۰/۴۸ درصد) می‌باشد. عیار مجموع عناصر خاکی کمیاب در نمونه برداشته‌شده از پهنه آپاتیته (بلورهای آپاتیت) بسیار قابل توجه بوده و به ۲۹۹۲۲/۱۶ ppm (۳ درصد) می‌رسد. نتیجه آنالیزها حاکی از این است که تمرکز عناصر خاکی کمیاب در ارتباط با کانی‌سازی فسفر (آپاتیت) می‌باشد.

ارزیابی همبستگی میان تمرکزهای MREE (Eu - Gd - Tb - ، LREE (La - Ce - Pr - Nd - Sm) و HREE (Ho - Er - Tm - Yb - Lu ، Dy) ، P بیانگر این است که مقدار P همبستگی مثبت قوی با MREE ، LREE و HREE به ترتیب برابر با (۰/۹۹)، (۰/۹۹) و (۱) درصد دارد (شکل ۶-۱۵، الف، ب و پ). همچنین ارزیابی همبستگی میان تمرکزهای P ، Ti ، Σ REE و Fe به ترتیب برابر با ۰/۳۱ و ۰/۲۱ و ۰/۳۱ نشان‌دهنده همبستگی منفی ضعیف با مقدار P ، همبستگی مثبت ضعیف با Ti و همبستگی منفی ضعیف با Σ REE می‌باشد (شکل ۶-۱۵، ت، ث و ج).

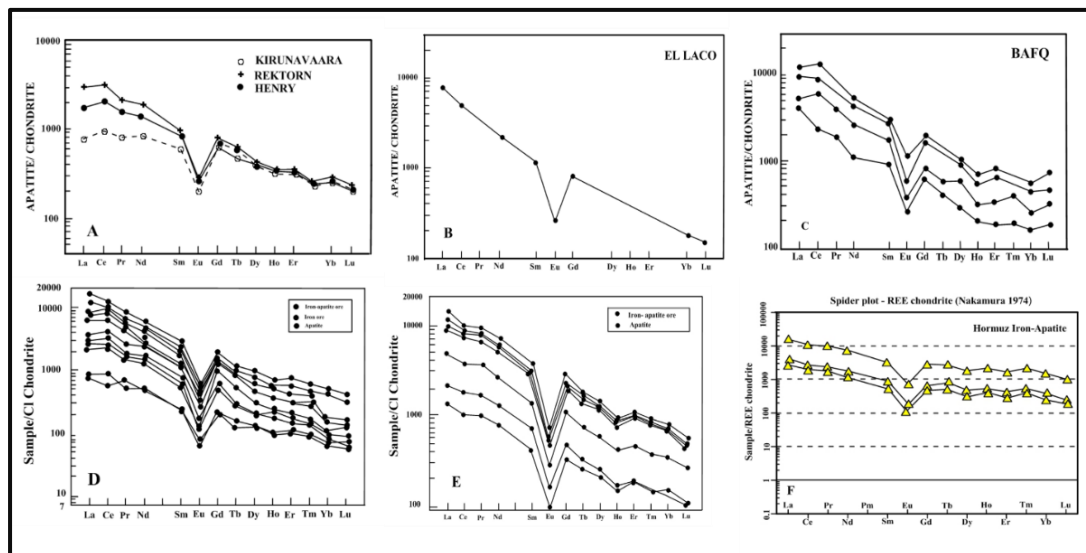


شکل ۶-۱۴: الف، ب و پ) نمودار همبستگی P در برابر HREE, MREE, LREE، و ت، ث و ج) نمودار همبستگی Fe در برابر P، Ti و Σ REE.

الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب در کانسنگ آپاتیت

یکی از ویژگی‌های اصلی کانسارهای مگنتیت -آپاتیت تیپ کایرونا، وجود درصد بالایی از عناصر خاکی - کمیاب در آن‌ها است. عناصر خاکی کمیاب در این تیپ از کانسارها بصورت جانشینی عنصر کلسیم در ساختار آپاتیت و بصورت میانبارهای موناژیت در آپاتیت وجود دارد (Frietsch et al., 1995). توزیع آپاتیت کانسارهای مختلف به عواملی همچون ترکیب و منشأ سنگ‌های دربرگیرنده آن‌ها بستگی دارد. بلورهای آپاتیت محدوده وسیعی از تغییرات شیمیایی مربوط به محیطی را که در آن شکل گرفتند نشان می‌دهند. در کانی آپاتیت، عناصر فلئوئور، کلر، هیدروکسیل و کربنات می‌توانند جانشین یکدیگر شوند. REE در آپاتیت جانشین Ca^{2+} شده و نقشی مهم برای توزیع REE در کانسنگ و سنگ، بازی می‌کند (Frietsch et al., 1995). الگوی توزیع REE آپاتیتها را در انواع محیطها و کانسارهای مختلف بررسی و با یکدیگر مقایسه کرده، که در زیر به طور خلاصه به آن پرداخته می‌شود. ماگماهای گوناگون با ترکیبات مختلف، دارای الگوهای مختلف REE می‌باشند. آپاتیت مرتبط با نفوذی‌های آلکالین و کربناتیت‌ها غنی از REE می‌باشد. میزان REE در آن‌ها به چند درصد می‌رسد به طوری که جدایش قوی از LREE/HREE را نشان می‌دهند. الگوی تغییرات عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده با کندریت (Nakamura, 1974) برای نمونه‌های برداشت شده از انواع کانسنگ‌های مربوط به کانه‌زایی مگنتیت - آپاتیت منطقه مورد مطالعه، همگی نمونه‌ها الگوی غنی از LREE/HREE و بی - هنجاری منفی مشخص در Eu را نشان می‌دهند (شکل ۶-۱۶، F). بنابر نظر (Frietsch et al., 1995) تهی‌شدگی Eu در کانسارهای آهن نوع کایرونا به دلیل اکسایش محیط (به دلیل وجود مگنتیت و هماتیت) و یا جانشینی Eu به جای Ca و Sr به دلیل تشابه شعاع یونی باشد. مقایسه الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب در کانه‌زایی اکسید آهن - آپاتیت جزیره هرمز با دیگر کانسارهای مگنتیت - آپاتیت بلوک پشت بادام (مانند اسفوردی، لکه‌سیاه، زیرگان، گزستان، چادرملو، چغارت، سه‌چاهون و ...) بیانگر همانندی کامل آن‌ها با یکدیگر است. از سوی دیگر، مقایسه الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب کانسارهای مگنتیت - آپاتیت بلوک پشت‌بادام و جزیره هرمز با دیگر کانسارهای نوع کایرونا در دیگر نقاط جهان (شامل کایرونا، رکتون، هنری و ال‌لاکو) شباهت میان آن‌ها را نشان می‌دهد. همه نمونه -

های مورد مطالعه یک الگوی غنی از LREE با نسبت بالای LREE/HREE را همراه با بی‌هنجاری منفی مشخص در Eu نشان می‌دهند که از ویژگی‌های آهن-آپاتیت‌های موجود در کانسارهای آهن نوع کایرونا است (شکل ۶-۱۶).



شکل ۶-۱۵: الگوی عناصر خاکی کمیاب در: (A) کانسارهای کایروناوارا، رکتون و هنری، شمال سوئد و Frietsch & Perdahl (1995)؛ (B) کانسار ال لاکو در شیلی (Frietsch & Perdahl, 1995)؛ (C) کانسارهای ناحیه بافق (Frietsch & Perdahl, 1995)؛ (D) کانسار اسفوردی ایران (Mokhtari et al., 2013)؛ (E) کانسار گزستان ایران (Mokhtari et al., 2013)؛ (F) کانه‌زایی اکسید آهن-آپاتیت جنوب غرب جزیره هرمز.

فصل، مقدم

مطالعات میان‌رشته‌ای سیال

۷-۱- مقدمه

استفاده از میانبارهای سیال در بررسی ژنز ذخایر معدنی در ۶۰ سال اخیر بسیار متداول گشته و در بسیاری از موارد بطور کلی اساس نظریه‌های موجود در این ارتباط را دگرگون ساخته است. از آنجا که محلولهای واقع در این میانبارها، حاوی عناصری است که توده‌های معدنی را تشکیل داده‌اند، مطالعه این سیالات منعکس‌کننده شرایط تشکیل این توده‌ها بوده و ما را در درک حقیقی از مراحل مختلف تشکیل ذخایر معدنی از قبیل دما، فشار، شوری، چگالی و ترکیب سیالات کاسنگ‌ساز یاری می‌کند (Rodder, 1984).

۷-۲- منشا میانبارهای سیال

میانبارهای سیال ممکن است از سیال‌های ماگمایی، سیال‌های آبی و سایر سیال‌های حاصل از گازهای متراکم بوجود آمده باشند که در زیر به مهمترین آن‌ها اشاره می‌شود. میانبارهای سیال می‌توانند از محبوس شدن یک سیال همگن یا ناهمگن تشکیل شوند. بیش از ۹۹ درصد میانبارهای سیال از محبوس شدن سیال همگن تشکیل می‌شوند و حدود یک درصد از آن‌ها از تله افتادن سیال‌های ناهمگن بوجود می‌آیند. در بیشتر موارد وقتی صحبت از سیال بوجود آورنده میانبارهای سیال منظور یک سیال همگن است. سیال‌های ماگمایی: بدون شک مهمترین منشأ سیال‌هایی که در سطوح بلورشناسی کانی‌ها به تله افتاده و منجر به تشکیل میانبارهای سیال می‌شود، همان فازهای سیالی هستند که در ماگماهای با ترکیبات مختلف وجود دارند (Magmatic Water). ماگماهای اسیدی دارای بیشترین مقدار آب در ۱ تا ۸٪ حجمی و ماگماهای بازیک دارای کمترین مقدار آب کمتر از ۱٪ حجمی می‌باشند. مقدار نسبی آب با افزایش تفریق در ماگما بالا رفته و نقش مهمی در انتقال مواد معدنی ایفا می‌کند در بعضی از ماگماهای اولترامافیکی که از اعماق زیاد منشأ می‌گیرند، مقدار گازهای مثل HCl، B، F، CO و CO₂ خیلی زیاد است (مثل ماگماهای کیمبرلیتی). در ماگماهای اسیدی و حدواسط، با تبلور فاز سیلیکاته، حجم عظیمی از بخار آب به همراه سایر ترکیبات

فلزی و غیر فلزی (به صورت بخار) باقی خواهد ماند. این سیال که از سیلیس اشباع شده است، منشأ اصلی سیالات به تله افتاده در حجره‌های میکروسکوپی داخل کانی‌ها است.

سیال‌های سطحی: آبهای سطحی نیز نقش مهمی در تشکیل سیال‌های کانی‌ساز دارند. این سیال‌ها که منشأ میانبارهای سیال می‌باشند ضمن نفوذ در اعماق طبقات زمین، گرم‌تر شده و حلالیت بالایی پیدا می‌کنند. ممکن است با آبهای گرمایی نیز ترکیب شده و ضمن افزایش درجه حرارت، مواد بیشتری را در خود حل نمایند. این آب‌های داغ و غنی از مواد گوناگون نیز در صورت افت حرارت، می‌توانند ضمن تشکیل کانی‌های مختلف، بخشی از سیال خود را در درون بلورهای تازه تشکیل شده برجای گذارند.

سیال‌های دگرگونی: سیال‌هایی که در درون بلورها به تله می‌افتند می‌توانند ناشی از آب‌های باشند که در زمان دگرگون شدن کانی‌های آبدار مثل کانی‌های رسی و آمفیبول‌ها آزاد می‌شوند. همچنین آب‌هایی که در حوضه‌های رسوبی و بین طبقات به تله می‌افتند در صورت افزایش حرارت و قابلیت انحلال، می‌توانند به عنوان سیال کانی‌ساز عمل نموده و در صورت محبوس شدن در درون بلورهای تازه رشد یافته، به شکل میانبارهای سیال ظاهر شوند.

۷-۳- به تله افتادن میانبارهای سیال (Trap)

به تله افتادن میانبارها در بلورهای مختلف نیازمند فرآیندهایی است که در اثر فضا‌های خالی ایجاد شده و سپس در داخل آن، میانبارهای سیال محبوس شوند. شکل‌گیری این فضاها و محبوس شدن سیال به صورت‌های مختلف به وقوع می‌پیوندد که به شرح ذیل می‌باشد.

الف: هسته اولیه هر بلور می‌تواند در محیط‌های مختلف سیال و در دماهای متفاوت تشکیل شود. پس از تشکیل هسته اولیه، سطوح بلوری بعدی، ضمن جذب مواد لازم برای رشد خویش از محیط فوق اشباع اطراف، به تدریج رشد می‌کنند این سطوح بلوری علی‌رغم تصور ما و در مقیاس میکروسکوپی، سطوحی کاملاً ناصاف و نامنظم هستند. در اثر پوشیده شدن (Sealed off) سطوح بلوری ناصاف اولیه

به وسیله سطوح نامنظم در حال تشکیل، فضاهایی با ابعاد بسیار کوچک در حد فاصل این سطوح بلوری بوجود می‌آید در هنگام پوشیده شدن سطوح بلوری زیرین توسط سطوح جدید، فضای اطراف این سطوح را سیال فوق اشباعی (Supper Saturated) احاطه کرده است که در واقع کانی جدید در درون این سیال رشد می‌کند. در این حالت بخشی از سیال تشکیل دهنده بلورها در فضاهای ریز مورد اشاره به تله افتاده و توسط سطوح بلوری بعدی پوشیده می‌شوند. این سیالات به تله افتاده به همراه فضایی که در آن قرار گرفته‌اند همان میانبارهای سیال هستند.

ب: مکانیسم‌های دیگری نیز باعث تشکیل فضاهای لازم برای به تله افتادن میانبارهای سیال می‌شوند از جمله ممکن است بخشی از سطوح بلوری تشکیل شده در هنگام رشد بلور به دلیل واکنش با سیال اطراف خود دوباره انحلال حاصل نموده و حفرات ریزی در سطوح بلور ایجاد شود. در صورت پوشیده شدن این حفرات انحلالی توسط سطوح بلوری بعدی، فضاهای مناسبی برای به تله افتادن سیال فراهم می‌شود.

ج: ایجاد شکستگی در سطوح بلوری در هنگام رشد اولیه بلور، فضای مناسبی برای به تله افتادن سیال کانی ساز ایجاد خواهد نمود.

د: در اثر رشد مارپیچی (Spiral) بلورهای اولیه، ممکن است در سطوح بلوری فضاهای میکروسکوپی ایجاد گردد که با قرارگیری سیال کانی‌ساز در این فضاها و پوشیده شدن آن‌ها توسط سطوح بلوری بعدی، میانبارهای سیال شکل بگیرند.

ه: رشد نیمه موازی (Subparallel) سطوح بلوری، امکان ایجاد فضاهای مناسب را برای به تله افتادن سیال کانی‌ساز فراهم می‌کند.

و: در صورتی که هنگام رشد سطوح بلوری، جسم و یا هر کانی دیگری بر روی سطوح بلوری قرار گیرد کانی در حال رشد، جسم مذکور را در درون خود گرفته و در نهایت به جای تشکیل میانبارسیال، ادخال جامد (Solid Inclusion) تشکیل می‌شود این پدیده به ویژه در گوهرهایی مثل یاقوت، الماس، لعل و زمرد دیده می‌شود.

همانگونه که در بالا اشاره گردید در اکثر موارد مشاهده می‌شود که میانبرهای سیال در حدفاصل سطوح بلوری و در درون بلورها (Intracrystalline) به تله می‌افتند ولی گاهی دیده می‌شود که میانبرهای سیال در حد فاصل بلورها، محبوس شده و میانبرهای سیال بین بلوری (Intercrystalline) را ایجاد می‌کنند.








تفاوت در سرعت رشد سطوح بلوری در بخش‌های میانی و حاشیه‌ای، ممکن است باعث تمرکز میانبرهای سیال در بخش‌های مرکزی صفحات بلوری و گاهش آن‌ها به طرف حواشی شود. در اثر این پدیده اشکالی شبیه ستاره (Starvation) در سطح بلوری برخی از کانی‌ها مشاهده می‌شود. تجربه نشان داده است که به تله افتادن میانبرهای سیال در درون بلورها، در مراحل اولیه رشد بلور که سیال فوق اشباع می‌باشد، بیشتر از زمان پایانی رشد بلور است که سیال فوق اشباع نیست. لذا مشاهده می‌شود که در یک بلور خودشکل (اتومورف) و درشت کوارتز، بخش‌های داخلی آن به صورت غیرشفاف و شیری‌رنگ (در اثر انباشت میانبرهای سیال) و قسمت‌های حاشیه بلور شفاف‌تر و روشن‌تر می‌باشد. گاهی ممکن است به تله افتادن میانبرهای سیال در امتداد سطوح ماکل صورت گیرد. این پدیده در کانی‌هایی مثل پلاژیوکلاز و کاسیتريت مشاهده می‌شود.

۴-۷- طبقه بندی میانبرهای سیال

تاکنون تقسیم بندی‌های زیادی در مورد میانبرهای سیال ارائه شده است. عواملی چون زمان تشکیل میانبرها، نوع و تعداد فازهای موجود در میانبرهای سیال اساس این تقسیم بندی‌ها قرار گرفته‌اند (Roedder, 1984).

بر اساس زمان تشکیل، سیالات درگیر را به سه گروه اولیه (P)، ثانویه (S) و ثانویه کاذب (PS) تقسیم بندی کرد. زمان تشکیل میانبرهای سیال نسبت به زمان تشکیل بلور سنجیده می‌شود. میانبرهای سیال اولیه در طی رشد بلور کانی تشکیل شده‌اند و معمولاً دارای شکل هندسی منظم می‌باشند و در امتداد سطوح رشد بلور با فاصله از یکدیگر قرار می‌گیرند و اندازه آن‌ها در مقایسه با نوع ثانویه بزرگتر

می‌باشد در حالی که نوع ثانویه پس از اتمام شکل‌گیری بلور در فضای شکستگی و درزه‌هایی که در اثر فرایندهای حرارتی یا مکانیکی ایجاد شده است، به دام می‌افتند این سیالات در امتداد درزه‌ها قرار می‌گیرند و معمولاً بی‌شکل و یا کشیده هستند و یا حالت صفحه‌ای دارند. چنانچه در حین رشد بلور، درزه‌هایی در بلور ایجاد شود و سیال در فضای این شکستگی‌ها قرار گیرد، به گونه‌ای که این درزه‌ها در مراحل بعدی رشد بلور پوشیده شود، سیالات درگیری که در این فضاها قرار می‌گیرند به عنوان ثانویه کاذب شناخته می‌شوند. این گونه انکلوزیون‌ها ترکیب شیمیایی و دماسنجی مشابه انکلوزیونهای اولیه را از خود نشان می‌دهند. با توجه به اینکه هدف از مطالعه میانبارهای سیال بازسازی شرایط زمان تشکیل کانی از جمله فشار، دما و شوری سیال می‌باشد، سعی بر آن شده که میانبارهای سیال جهت مطالعه همگی از میانبارهای سیال اولیه انتخاب شوند و از مطالعه میانبارهایی که دچار دم-بریدگی و نشت شده‌اند، اجتناب شود. تقسیم‌بندی میانبارهای سیال بر اساس ترکیب و نسبت فازهای درونی شامل فازهای جامد، مایع و بخار نیز صورت می‌گیرد که بر این اساس (Shepherd et al., 1985) میانبارهای سیال را به ۵ گروه میانبارهای سیال تک فاز مایع (L)، میانبارسیال دو فاز غنی از مایع (L+V)، میانبارسیال دو فاز غنی از بخار (V+L)، میانبارسیال تک فاز بخار (V)، میانبارسیال چند فاز جامد و چند جامدی (V±S+L) و میانبارهای سیال حاوی مایع نامیژاک (L1+L2±V) تقسیم کردند. میانبارهای مطالعه‌شده بر پایه فازهای درونی جزء میانبارهای دو فاز غنی از مایع (L+V)، دو فاز غنی از بخار (V+L) و سه فاز هیالیت‌دار (L+V+H) محسوب می‌شوند. در تقسیم‌بندی دیگر میانبارها بر اساس نوع سیال، به دو دسته سیال همگن و غیر همگن تقسیم می‌شوند که سیالات به دام افتاده در میانبارهای مطالعه شده، همگی از نوع همگن به حساب می‌آیند.

Inclusion type	Essential phase	Typical example	Abbreviation
Monophase liquid	L=100%		L
Liquid-rich Two phases	L>50%		L + V
Vapour-rich Two phases	V=50 to 80%		V + L
Monophase vapour	V=100%		V
Multiphase solid	L=variable S<50%		S + L ± V
Multisolid	S>50% L,V variable		S + L ± V
Immiscible liquid	L ₁ , L ₂		L ₁ + L ₂ ± V
Galss	GL>50%	-----	GL ± V ± S

شکل ۷-۱: طبقه بندی میانبارهای سیال بر اساس فازهای داخلی (Nash and Teodor, 1971).

۷-۵- موارد کاربرد مطالعات میانبارهای سیال

میانبارهای سیال در درون اکثر کانی‌های که در یک محیط سیال (بخار، مایع و گاز) تشکیل شده‌اند وجود دارد. و همین نکته این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان از آن‌ها در شاخه‌های مهمی از علوم از جمله در زمین‌شناسی به صورت گسترده‌ای استفاده نمود. با استفاده از مطالعه میانبارهای سیال می‌توان اطلاعات زیادی در مورد درجه حرارت تشکیل کانی‌ها، فشار حاکم بر محیط تشکیل آن‌ها، چگالی سیال تشکیل‌دهنده کانی‌ها و نیز ترکیب شیمیایی سیال‌های کانی‌ساز بدست آورد.

۱- اکتشافات نفتی: از میانبارهای سیال دارای مواد هیدروکربوری هستند که می‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد تکتونیک، شرایط فشار، حرارت و تکامل حوضه‌های نفتی، در زمان قبل و پس از مهاجرت مواد هیدروکربوری به آن حوضه‌ها، در اختیار ما بگذارند.

- ۲- ماه شناسی: با مطالعه میانبارهای سیال موجود در شهاب سنگها و نمونه‌های بدست آمده از کره ماه می‌توان اطلاعات قابل توجهی برای الگوسازی فرآیندهای فرازمینی کسب نمود.
- ۳- چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی: برای شناخت ماهیت ذرات آواری در ماسه سنگ‌ها و کنگلومرا می‌توان از میانبارهای سیال موجود در آن‌ها استفاده نمود.
- ۴- گوهرشناسی (Gemology): برای تشخیص گوهرهای طبیعی از مصنوعی، شرایط تشکیل و منشأ گوهرها، کیفیت گوهرها از نظر شفافیت و پاکی و نیز شناخت نوع خاصی از یک گوهر (مثلاً تشخیص یاقوت تایلند از یاقوت برمه‌ای) می‌توان از مطالعات میانبارهای سیال بهره جست.
- ۵- سنگ‌شناسی دگرگونی: به منظور بررسی و شناخت شرایط فشار و حرارت حاکم بر محیط‌های دگرگونی می‌توان میانبارهای سیال استفاده نمود.
- ۶- پترولوژی سنگهای آذرین: شناخت ترکیب اولیه ماگمای تشکیل دهنده کانی‌ها به همراه درجه حرارت و فشار حاکم بر محفظه ماگمایی در هنگام تبلور کانی‌های آذرین، از جمله مواردی است که می‌توان با مطالعات میانبارهای سیال به آن‌ها دست یافت.
- ۷- دیرینه اقلیم شناسی: مطالعه میانبارهای سیال در درون یخ‌های قطبی، امکان شناخت میزان دما و ترکیب اتمسفر یه ویژه از نظر مقدار CO_2 در ایام گذشته زمین را فراهم می‌آورد. همچنین با مطالعه میانبارهای سیال موجود در لایه‌های نمکی نهشته شده در حوضه‌های رسوبی، می‌توان اطلاعاتی در خصوص مقدار گازهای هلیوم، نئون، آرگون و گزنون در ترکیب اتمسفر گذشته زمین به دست آورد.
- ۸- شیمی محلول‌ها: میانبارهای سیال مثل اتوکلاوهای کوچک و شفاف هستند که اجازه می‌دهند رفتار فازها را در فشار و حرارت بالا مشاهده نمود در حالی که طراحی چنین سیستمهایی برای انجام مطالعات تجربی در آزمایشگاه بسیار مشکل می‌باشد.

۹- سیستم‌های زمین گرمایی: برای تشخیص مراکز پرحرارت سیستم‌های زمین گرمایی به منظور حفاری جهت به دست آوردن بخار داغ و کافی برای استفاده از انرژی زمین گرمایی، مطالعه میانبارهای سیال بسیار مفید و کارآمد می‌باشد.

۱۰- شناخت گوشته: مطالعه ادخال‌های جامد موجود در داخل نودل‌های اولترامافیک درون بازالتها و کیمبرلیتها از جمله الماس این امکان را فراهم می‌آورد که بتوانیم اطلاعات خوبی در مورد ترکیب شیمیایی و مواد فرار موجود در گوشته بدست آوریم.

۱۱- فعالیت‌های هسته‌ای: به منظور پیدا نمودن مکان‌های مناسب غیرفعال از نظرتکتونیک برای ساخت رآکتورهای هسته‌ای و نیز دفن پسمانده‌ای اتمی، می‌توان از مطالعات میانبارهای سیال استفاده نمود.

۱۲- بررسی چگونگی تشکیل و اکتشاف کانسارها: بدون شک مهمترین کاربرد میانبارهای سیال در حوزه علوم زمین، در شاخه زمین‌شناسی اقتصادی و به ویژه بررسی نحوه تشکیل و اکتشاف کانسارهای گرمایی می‌باشد.

۶-۷- نمونه برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها، روش کار و ویژگی‌های دستگاه

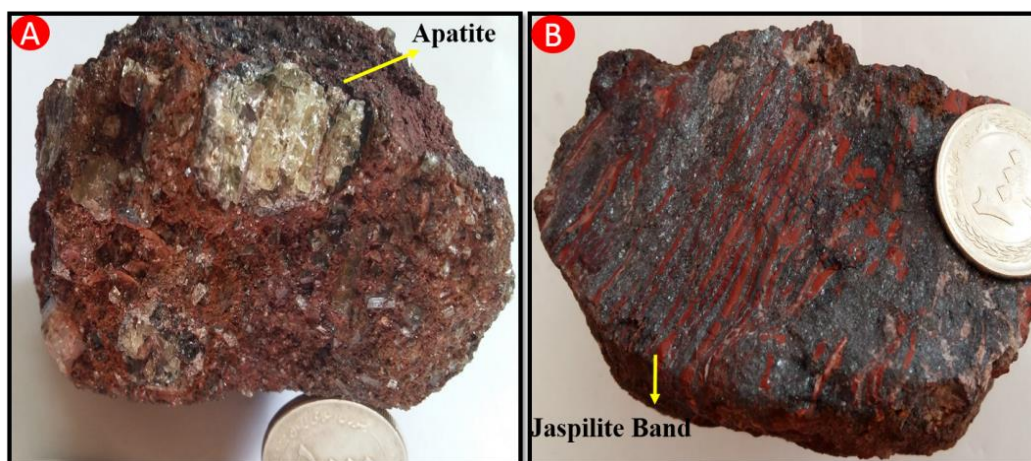
به منظور شناخت ماهیت فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌ساز و بررسی روند تغییرات شیمی و دمایی سیال یا سیالات کانه‌ساز در طی تشکیل کانسار آهن-آپاتیت هرمز با توجه به مطالعات صحرائی و مطالعات کانی‌شناسی مقاطع نازک در محدوده، تعداد ۴ نمونه مناسب برای مطالعات سیالات درگیر انتخاب شد بطوری که یک نمونه از بخش ژاسپیلیتی (سیلیس+هماتیت) کانه‌زایی آهن‌نواری، دو نمونه از بخش آپاتیتی موجود در عدسی شماره یک (کانه‌زایی آپاتیت همراه با بخش شیل‌توفی) و عدسی شماره دو (کانه‌زایی آپاتیت همراه با توده ریوداسیتی) و همچنین یک نمونه از دایک‌های مگنتیتی دارای رگه‌های کوارتزی انتخاب شد (جدول ۷-۱). در این مطالعه

نمونه‌ها تا ضخامت ۲۰۰ میکرون نازک شده و سپس دوبرصیقل شدند. پس از جدا کردن نمونه‌ها از روی لام و شستشوی آن‌ها، مورد مطالعه قرار گرفتند، که از این میان تنها در دو نمونه HI-F2 (کانه‌زایی آپاتیت همراه با بخش شیل توفی) و HI-F4 بخش ژاسپیلیتی کان‌زایی آهن‌نواری جهت مطالعات میان‌بارهای سیال در نظر گرفته شد و در دو نمونه دیگر فلوئیدی یافت نشد.

مطالعات حرارت سنجی میان‌بارهای سیال بر روی این نمونه‌های دو بر صیقل HI-F2 و HI-F4 در آزمایشگاه شرکت مطالعات و پژوهش آذین‌زمین پویا با استفاده از یک دستگاه میکروسکوپ ستی-ماگتکس (Ceti Magtex) و بوسیله دستگاه Linkam مدل THMSG600 با کنترل کننده‌های گرمایش TP94 و سرمایش LNP که بر روی میکروسکوپ ستی ماگتکس نصب شده است انجام پذیرفت. مطالعات حرارت‌سنجی بر اساس مشاهده دقیق و تشخیص تغییرات فازی میان‌بارهای سیال، طی مراحل سرمایش (Freezing) و گرمایش (Heating) بنا شده است.

جدول ۷-۱. مختصات مکانی و ویژگی‌های کانی‌شناسی نمونه‌های انتخاب شده برای مطالعه‌ی میان‌بارهای سیال.

شماره نمونه	انواع کانی‌ها	انواع کان‌های معدنی	مختصات UTM		محل نمونه برداری
			عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
HI-F1	کوارتز- کلسیت-آپاتیت	مگنتیت- هماتیت	445758	2990594	دایک‌مگنتیتی دارای رگه سیلیسی
HI-F4	کوارتز- کلسیت	هماتیت-اولیژیست- گوتیت- لیمونیت	445677	2990613	بخش ژاسپیلیتی کان‌سنگ آهن نواری
HI-F2	آپاتیت	مگنتیت- هماتیت- گوتیت- لیمونیت	445776	2990520	کان‌سنگ آهن- آپاتیت همراه با بخش شیلی- توفی
HI-F3	آپاتیت	مگنتیت	445546	2990719	کان‌سنگ آهن- آپاتیت مربوط به بخش ریوداسیتی



شکل ۷-۲: تصاویر نمونه دستی (الف) کانسنگ آهن- آپاتیت و (ب) کانسنگ آهن نواری که بر اساس سنگ شناسی دارای سیالات درگیر بوده‌اند.

۷-۷- سنگ شناسی میانبارهای سیال

شناسایی روابط سنگ شناسی اولین و مهمترین بخش مطالعه میانبارهای سیال می‌باشد. سنگ شناسی میانبارسیال اولین گام در مطالعه میانبارهای سیال بوده و اطلاعات مفید و ارزشمندی از شرایط به دام افتادن میانبارهای سیال و تشکیل بلور از این مطالعات حاصل می‌شود. شکل میانبارهای- سیال تا حدودی به وسیله ساختمان بلوری کانسنگ میزبان کنترل می‌شود. در مطالعه سنگ شناسی، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه میانبارسیال، رده‌بندی ژنتیکی (اولیه، ثانویه، ثانویه کاذب)، محتویات میانبارهای سیال (L+V+S)، نسبت V/L، نوع کانی دختر (با توجه به شکل کریستالی و مورفولوژی ظاهری)، تعیین نوع میانبارها و پدیده‌های تغییر میانبارهای سیال بعد از به دام افتادن مانند تراوش و دم‌بریدگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. میانبارهای سیال ممکن است، شکل کامل بلور منفی را به خود بگیرند و یا کاملاً شکل نامنظم داشته باشند (Shelton and McMenamy, 2004). با توجه به وجود دو نوع کانه‌زایی متفاوت در منطقه فازهای سیال از هر دو نوع کانه‌زایی که شامل بخش کوارتزی یا ژاسپیلیتی از کانه‌زایی نواری و بخش آپاتیت از کانه‌زایی آهن- آپاتیت به طور جداگانه به ویژگی‌های هر کدام پرداخته می‌شود.

۷-۷-۱- سنگ شناسی میانبارهای سیال در کانی آپاتیت

فراوانی میانبارهای سیال در این مقطع زیاد است. اندازه میانبارهای موجود در کانی آپاتیت از ۵ تا ۳۵ میکرون تغییر کرده است که بیش از ۹۰ درصد آن‌ها بزرگتر از ۵ میکرون می‌باشند. میانبارهای سیال مشاهده شده در کریستال آپاتیت از لحاظ شکل ظاهری، بیشتر دارای اشکال کشیده و در مواردی یوهدرال و یا به صورت نیمه‌شکلدار هستند. براساس نوع و تعداد فازهای موجود در دمای اتاق، میانبارهای سیال در ۳ گروه متفاوت جای گرفته‌اند: I) میانبارهای تک‌فازی مایع (L) که کل حجم این میانبارها از مایع تشکیل شده است؛ II) میانبارهای دو فاز غنی از مایع (LV) که از یک فاز مایع (L) به همراه یک فاز بخار (V) تشکیل شده‌اند. حباب بخار در این میانبارها ۵ تا ۳۵ درصد حجم کل انکلوژیون را اشغال می‌کند؛ III) میانبارهای سیال دو فاز غنی از بخار (VL)، که از یک فاز بخار (V) به همراه یک فاز مایع (L) تشکیل شده‌اند و حباب بخار در آن‌ها از ۵۵ تا ۸۰ درصد حجم کل میانبارها را اشغال می‌کند. میانبارهای سیال دو فاز غنی از مایع (LV) با فراوانی ۸۰ تا ۸۵ درصد بخش عمده میانبارهای سیال موجود در کانی آپاتیت و همچنین میانبارهای دو فاز غنی از بخار (VL) و میانبارهای تک‌فازی مایع (L) هر کدام بین ۵ تا ۷ درصد فراوانی کل میانبارهای موجود در این مقطع را تشکیل داده‌اند. این میانبارها هم به صورت اولیه (در امتداد سطوح رشد) و هم به صورت ثانویه (در ریز درز و شکستگی‌ها) و یا بصورت شبه ثانویه به دام افتاده‌اند.

میانبارهای سیال تک‌فازی مایع (L):

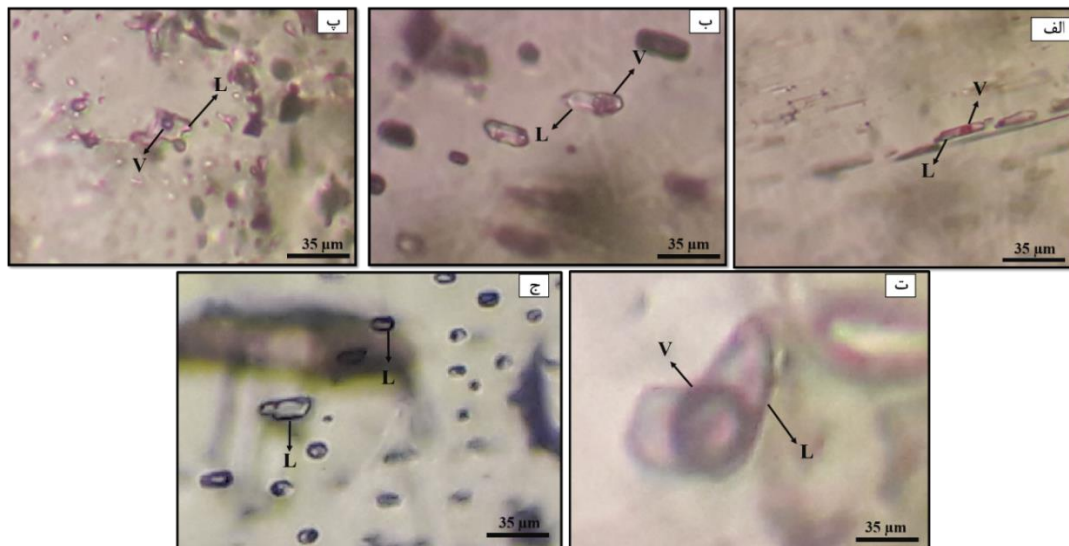
میانبارهای سیال نوع I شامل میانبارهای سیال تک‌فازی مایع (L) که کل حجم این میانبارها از مایع تشکیل شده است دارای فراوانی زیادی در نمونه مطالعه شده می‌باشند. بطور کلی، این نوع میانبارهای سیال در نمونه HI-F2 که کانی میزبان آن آپاتیت می‌باشد مشاهده شده است. همچنین میانبارهای L به صورت میانبارهای منفرد L با حجم بخار ۵ تا ۲۵ درصد در امتداد سطوح رشد به دام افتاده‌اند (شکل ۷-۳، ج).

میانبرهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V):

میانبرهای سیال نوع II شامل میانبرهای سیال دو فازی L+V به اشکال بیضوی، میله‌ای و یا نامنظم از خود نشان داده است. این میانبرها نسبت به انواع دیگر فراوان‌تر مشاهده شده است. این سیالات به صورت دو فازی بوده یا به عبارت دیگر متشکل از مایع آبگین و حباب بخار هستند. سیالات درگیر نوع II دارای منشأ اولیه هستند (شکل ۷-۳، الف، ب و پ).

میانبرهای سیال دو فازی غنی از بخار (V+L):

میانبرهای سیال نوع III شامل میانبرهای سیال دو فازی V+L می‌باشد. این میانبرها به صورت دو فاز بخار و مایع بوده که به ۳ صورت در کریستال آپاتیت وجود دارند: (۱) میانبرهای سیال با حجم بخار ۶۰ تا ۷۰ درصد که در امتداد سطوح رشد به دام افتاده‌اند، (۲) میانبرهای سیال با حجم بخار ۵۵ تا ۶۵ درصد که در ریز درز و شکستگی‌ها به دام افتاده‌اند (ثانویه، و ۳) میانبرهای سیال با حجم بخار ۷۰ تا ۸۰ درصد که به صورت پراکنده و تصادفی نیز مشاهده شده‌اند (شکل ۷-۳، ت).



شکل ۷-۳: انواع میانبرهای سیال به همراه اشکال مختلف در نمونه آپاتیت، میانبرهای سیال دو فازه غنی از مایع با اشکال مختلف الف) کشیده ب) بیضوی و پ) نامنظم، ت) سیالات درگیر دو فازه غنی از بخار، ج) میانبرهای سیال تک فازی (مایع).

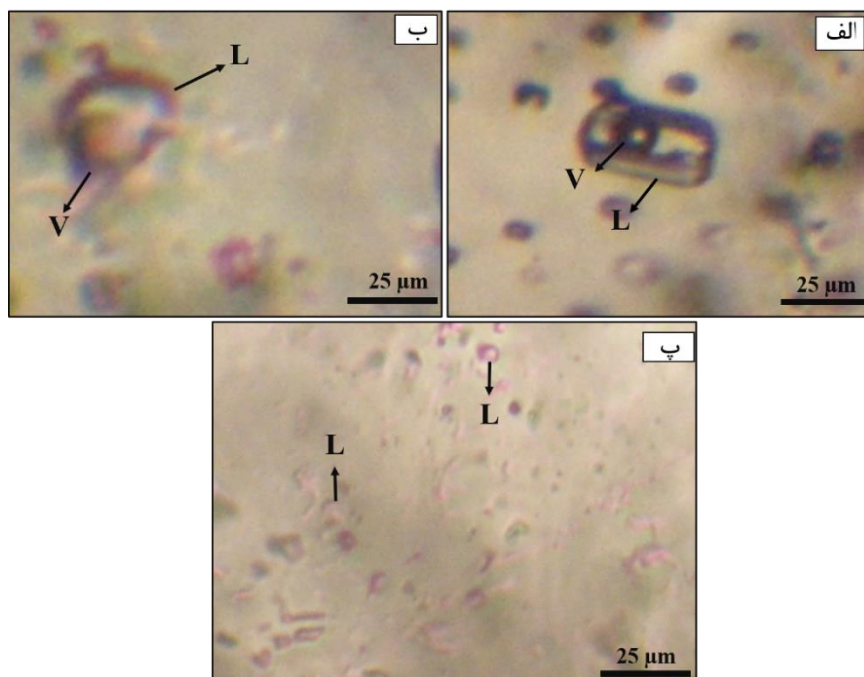
۷-۷-۲- سنگ شناسی میانبارهای سیال در کانی کوارتز

کوارتز، کانی میزبان میانبارهای سیال در این مقطع است. تعداد ۱۲ سیالات درگیر اولیه دوفازی غنی از مایع در اندازه‌های متفاوت از کوارتز مطالعه شده است (جدول ۷-۲). که برخی از نمونه‌ها به دلیل عدم فقدان یکی از پارامترهای شوری و یا دمای همگن‌شدگی، در نهایت تنها از ۶ نمونه از کانی کوارتز استفاده شده است. میانبارهای سیال مشاهده شده دارای اشکال نگاتیوکریستال، بیشکل، نیمه‌شکلدار، تمام‌شکلدار و یا کشیده در اندازه‌های بین ۵ تا ۲۵ میکرون تغییر میکند که بیش از ۸۰ درصد آن‌ها بزرگتر از ۵ میکرون می‌باشد. براساس نوع و تعداد فازهای موجود در دمای اتاق، میانبارهای سیال در ۳ گروه متفاوت جای گرفته‌اند:

(۱) انکلوزیون‌های دو فازی غنی از مایع (LV) که از یک فاز مایع (L) به همراه یک فاز بخار (V) تشکیل شده‌اند حباب بخار در این انکلوزیون‌ها ۵ تا ۴۰ درصد حجم کل انکلوزیون را تشکیل می‌دهد؛ و با فراوانی ۶۰ تا ۷۰ درصد بخش عمده انکلوزیون‌های موجود در کانی کوارتز را دربر می‌گیرد (شکل ۷-۴، الف).

(۲) انکلوزیون‌های دو فازی غنی از بخار (VL)، که از یک فاز بخار (V) به همراه یک فاز مایع (L) تشکیل شده‌اند و حباب بخار در آن‌ها ۵۵ تا ۸۵ درصد حجم کل انکلوزیون را تشکیل می‌دهند؛ و ۱۵ تا ۵۳ درصد بخش عمده انکلوزیون‌های موجود در کانی کوارتز را اشغال می‌کنند (شکل ۷-۴، ب).

(۳) انکلوزیون تک‌فازی مایع (L) که کل حجم این انکلوزیون‌ها از مایع تشکیل شده است و ۵ تا ۱۰ درصد حجم میانباری موجود را دربر می‌گیرند. همچنین این میانبارها (LV, VL, L) عمدتاً به صورت اولیه (در امتداد سطوح رشد) و در مواردی به صورت ثانویه و شبه‌ثانویه (در ریز درز و شکستگی‌ها) به دام افتاده‌اند که در این میان میانبارهای ثانویه به صورت بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار هستند. به طور کلی فراوانی میانبارهای سیال در کانی کوارتز کم است.



شکل ۷-۴: انواع میانبارهای سیال به همراه اشکال مختلف در نمونه کوارتز، الف) سیالات درگیر دو فازه غنی از مایع، ب) سیالات درگیر دو فازه غنی از بخار، پ) میانبارهای سیال تکفازی (مایع).

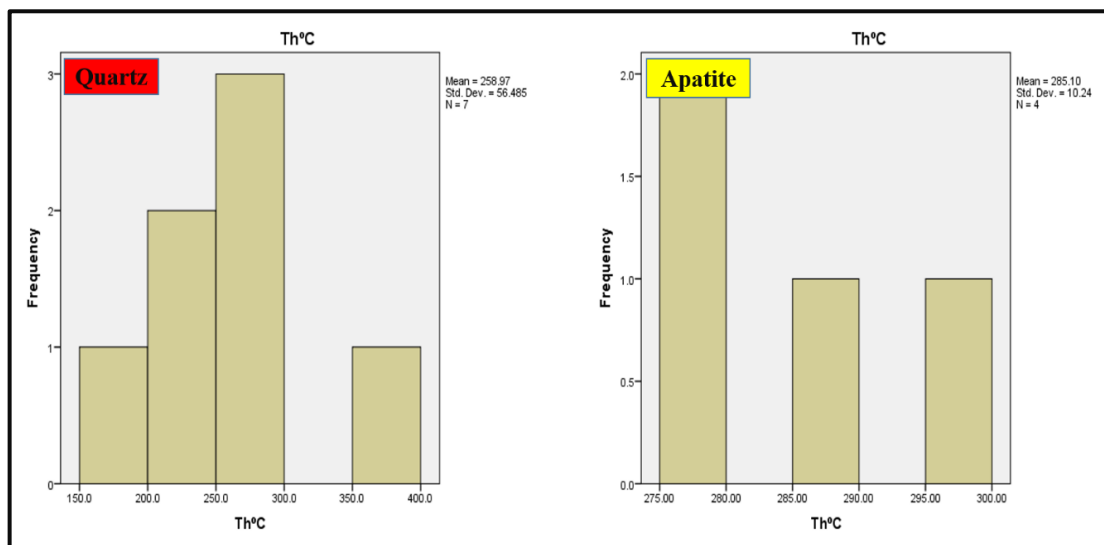
۷-۸- حرارت‌سنجی میانبارهای سیال

مطالعات حرارت‌سنجی میانبارهای سیال بر روی دو نمونه دو بر صیقل HI-F2 و HI-F4 در آزمایشگاه شرکت مطالعات و پژوهش آذین زمین پویا با استفاده از یک دستگاه میکروسکوپ (Ceti Magtex) و بوسیله دستگاه Linkam مدل THMSG600 با کنترل کننده‌های گرمایش TP94 و سرمایش LNP که بر روی میکروسکوپ Ceti Magtex نصب شده است انجام پذیرفت. مطالعات حرارت‌سنجی بر اساس مشاهده دقیق و تشخیص تغییرات فازی میانبارهای سیال، طی مراحل سرمایش (Freezing) و گرمایش (Heating) بنا شده است.

۷-۸-۱- گرمایش

در این مرحله طی گرم کردن سیال، فازهای مختلف تشکیل دهنده سیال آنقدر حرارت داده می‌شوند تا همه فازهای آن به یک فاز اصلی همگن شوند. در تمامی میانبارهای سیال مطالعه شده، حالت همگن-

شدن بصورت فاز مایع می‌باشد. در این مطالعات دمای همگن‌شدن یا Th میانبرهای سیال بدست می‌آید که به عنوان حداقل دمای به دام افتادن میانبرسیال یا تشکیل بلور میزبان در نظر گرفته می‌شود (شفرد و همکاران، ۱۹۸۵). نتایج مطالعات گرمایش سیالات نشان می‌دهد که تغییرات دمای همگن‌شدن در میانبرهای دو فازی مایع و بخار (L+V) در میزبان کوارتز در نمونه HI-F4 بین ۱۸۰/۷ تا ۳۶۹/۸ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۲۵۹°C) و در میزبان آپاتیت در نمونه HI-F2 بین ۳۱۲/۷ تا ۵۶۵ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۴۰۸/۸۲°C) می‌باشد. نتایج مطالعات سرمایه‌ش نشان می‌دهد که درجه شوری میانبرهای سیال در میزبان کوارتز در نمونه HI-F4 بین ۲/۲۴ تا ۱۲/۸۵ (میانگین ۶/۵۵) درصد وزنی معادل نمک طعام، و در میزبان آپاتیت در نمونه HI-F2 بین ۱۴/۸۷ تا ۳۳/۸۷ میانگین ۲۲/۹۸ درصد وزنی معادل نمک طعام در تغییر است (شکل ۷-۵).

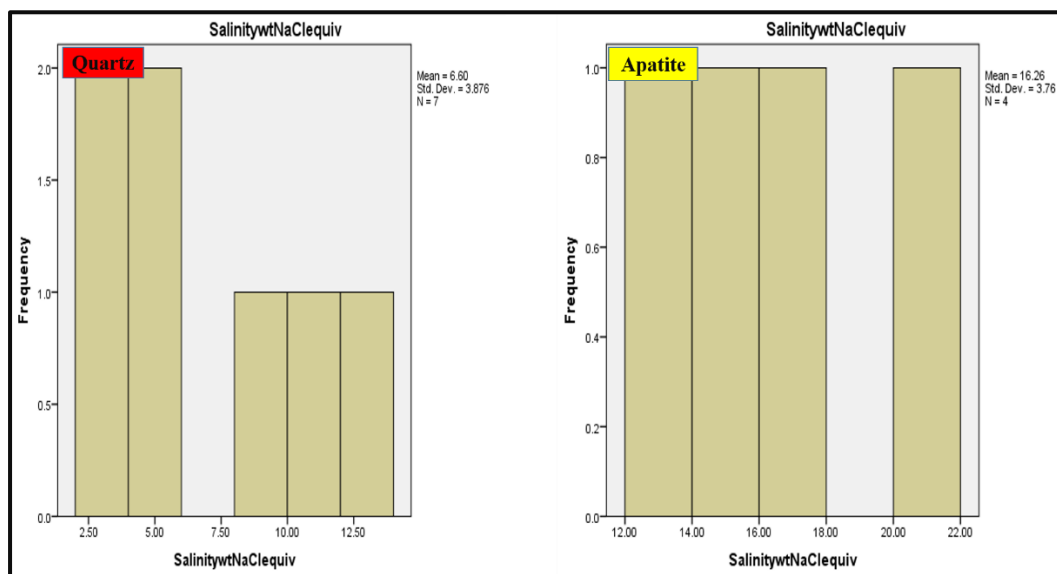


شکل ۷-۵: هیستوگرام فراوانی دمای همگن‌شدن میانبرهای سیال دوفازی در کانی کوارتز و آپاتیت.

۷-۸-۲- سرمایه‌ش

در آزمایش انجماد، سیالات درگیر به زیر دمای اتاق سرد می‌شود تا جایی که تغییر فاز از مایع به جامد مشاهده شود. بسته به نوع فازهای تشکیل‌دهنده، ترکیب، چگالی و یا شوری، میانبرهای مختلف در دماهای مختلفی منجمد می‌شوند. بعد از اینکه انجماد کامل صورت گرفت دوباره نمونه بصورت

تدریجی گرم می‌شود تا یخ شروع به ذوب شدن کند. ذوب یخ معمولاً از حاشیه‌ها شروع و به سمت داخل ادامه می‌یابد تا اینکه یخ کاملاً ذوب شود. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارتی اولین دمایی که یخ در آن ذوب می‌شود، دمای یوتکتیک یا T_E نامیده می‌شود. این دما ارتباط مستقیم با نوع نمک‌ها و کاتیون‌های موجود در مایع دارد (بودنار و همکاران، ۱۹۹۴). گرم کردن تا جایی که آخرین بلور یخ ذوب شود ادامه می‌یابد. دمایی که در آن یخ تماماً ذوب می‌شود دمایی نهایی ذوب یخ یا T_m نامیده می‌شود و نشان‌دهنده میزان شوری سیال است. نتایج مطالعات سرمایش نشان می‌دهد که درجه شوری میانبرهای سیال در میزان کوارتز در نمونه HI-F4 بین ۲/۲۴ تا ۱۲/۸۵ (میانگین ۶/۵۵) درصد وزنی معادل نمک طعام، و در میزان آپاتیت در نمونه HI-F2 بین ۱۴/۸۷ تا ۳۳/۸۷ میانگین ۲۲/۹۸ درصد وزنی معادل نمک طعام در تغییر است.



شکل ۷۰-۶: هیستوگرام فراوانی میزان شوری برحسب درصد وزنی معادل نمک طعام در نمونه کوارتز و آپاتیت.

جدول ۷-۲: سنگ شناسی و میکروترموتری میانبرهای سیال آپاتیت از کانسنگ‌های آهن-آپاتیت ماگمایی و کوارتز از کانسنگ‌های آهن نواری.

Sample	Genetic	Size(μm)	Shape	Phases	$T_m(\text{ice})(^\circ\text{C})$	$T_h(^\circ\text{C})$	Salinity (wt% NaCl equiv)	Host mineral
HI-F2								
HI-F2-1	P	10	Elongated	L+V	-	-	-	Apatite
HI-F2-2	P	12	Elongated	L+V	-	-	-	Apatite
HI-F2-3	P	8	Elongated	L+V	-	-	-	Apatite
HI-F2-4	P	25	Euhedral	L+V	-12.73	312.7	14.87	Apatite
HI-F2-5	P	10	Elongated	L+V	-10.9	335.4	16.26	Apatite

HI-F2-6	P	12	Elongated	L+V	-18.6	357	21.4	Apatite
HI-F2-7	P	10	Elongated	L+V	-8.7	474	28.54	Apatite
HI-F2-8	P	8	Subhedral	L+V	-	-	-	Apatite
HI-F2-9	P	6	Elongated	L+V	-	-	-	Apatite
HI-F2-10	P	6	Elongated	L+V	-	565	33.87	Apatite
HI-F4								
HI-F4-1	P	18	Unshaped	L+V	-1.3	369.8	2.24	Quartz
HI-F4-2	P	10	Subhedral	L+V	-2.5	244.5	4.18	Quartz
HI-F4-3	P	10	Unshaped	L+V	-9	239.5	12.85	Quartz
HI-F4-4	P	5	Euhedral	L+V	-	225.8	-	Quartz
HI-F4-5	P	7	Elongated	L+V	-2.1	180.7	3.55	Quartz
HI-F4-6	P	14	Subhedral	V+L	-1.7	-	2.9	Quartz
HI-F4-7	P	14	Subhedral	L+V	6.7	258.9	10.11	Quartz
HI-F4-8	P	8	Negativecrystal	L+V	-5.2	268.2	8.14	Quartz
HI-F4-9	P	9	Elongated	L+V	-3.1	251.2	5.11	Quartz
HI-F4-10	P	11	Negativecrystal	L	-6	-	9.21	Quartz
HI-F4-11	P	8	Unshaped	L+V	-	227.8	-	Quartz
HI-F4-12	P	20	Elongated	V+L	-	474.3	-	Quartz

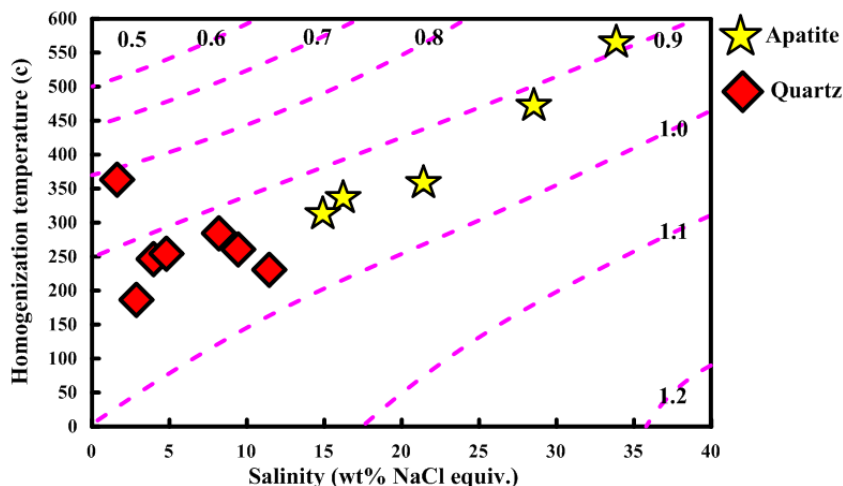
۷-۸-۳- تغییرات چگالی و تکامل سیال کانه‌دار با استفاده از نمودار خطوط هم چگال

تغییرات چگالی جهت تکامل و تحول سیالات کانه‌دار با استفاده از نمودار (Rodder, 1984) نشان داده شده است (شکل ۷-۷۰). ترسیم داده‌ها در این نمودار و جهت‌گیری ترجیحی آن‌ها می‌تواند فرایند‌هایی را که با تحول سیال سبب نهشت کانسنگ‌ها شده است را بیان کند بر طبق این نمودار تحول سیال کانه‌دار به شرح ذیل است:

- همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود کاهش درجه حرارت یکنواختی سبب افزایش چگالی و کاهش سرعت سیال کانه‌دار و در نهایت سبب ته‌نشینی و تمرکز مواد معدنی می‌گردد.
- حباب‌زایی و تشکیل سیالات با شوری پایین: در فرایند جوشش، فاز بخار در نتیجه افزایش درجه حرارت یا کاهش فشار ایجاد می‌گردد. این شرایط در سیستم‌هایی که تا حدودی دارای CO₂ می‌باشد رخ می‌دهد و ویژگی خاص میانبارهای میان دمایی (مزوترمال) می‌باشد در چنین میانبارهایی سیال‌های اولیه با چگالی کم و دارای CO₂ بیشتر به دلیل کاهش درجه حرارت یا کاهش فشار به سمت تشکیل یک سیال چگال‌تر پیش می‌رود. در واقع خروج فاز گازی- تولید حباب سبب افزایش چگالی میانبارهای سیال شده است، این فرایند بنام چگالش معروف است.

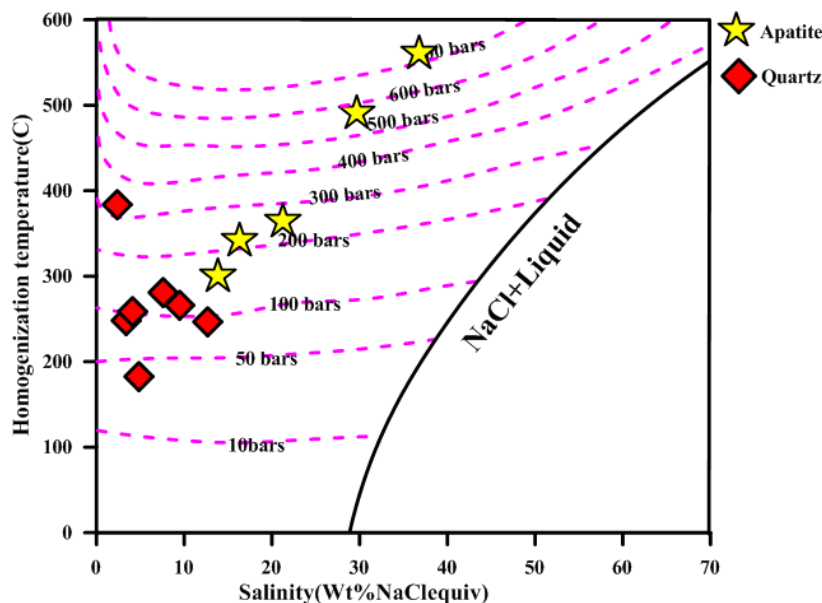
۳- آمیزش سیال: ته‌نشینی ماده معدنی در اثر اختلاط سیالات و کاهش درجه حرارت صورت می‌گیرد. در کانسار آهن- آپاتیت هرگز اختلاط یک سیال ماگمایی با سیالات گرمایی باعث کاهش درجه حرارت و شوری و در نتیجه ته‌نشینی فسفات شده است (Wilkinson, 2001).

۴- بر اساس مطالعات انجام شده با استفاده از میزان شوری سیال در مقابل دمای همگن‌شدگی و استفاده از خطوط کانتور نمودار (Wilkinson, 2001)، مقدار چگالی محاسبه گردید مقدار چگالی در اکثر نمونه‌ها ۰/۵ تا ۰/۹ گرم بر سانتی متر مکعب تغییر می‌کند. همچنین بر اساس مطالعات (Shepherd, 1985) برای میانبرهای با شوری کمتر از ۱۰ درصد وزنی نمک طعام مقدار چگالی محاسبه شده تقریباً با درجه پرشدگی میانبار برابر است و این موضوع در مورد میانبرهای سیال کانسار هرگز نیز صدق می‌کند.



شکل ۷-۷: نمودار (Zhang and Frantz, 1987) محدوده چگالی سیالات کانه‌ساز و روند تغییرات چگالی آن تحت تأثیر فرایند سردشدگی حباب‌زایی و آمیزش (اقتباس از Wilkinson, 2001).

با استفاده از نمودارهایی که بر اساس دمای همگن شدن و شوری سیالات برای محاسبه چگالی و فشاربخار طراحی شده است، چگالی سیالات در هر دو نمونه آپاتیت و کوارتز در بازه ۰/۸ تا ۱ و فشار - بخار در نمونه آپاتیته از کمتر از ۲۰۰ تا حداکثر ۷۰۰ بار و نمونه کوارتز در محدوده فشار بخار کمتر از ۵۰ تا کمتر از ۴۰۰ قرار می‌گیرد (شکل ۷-۸).

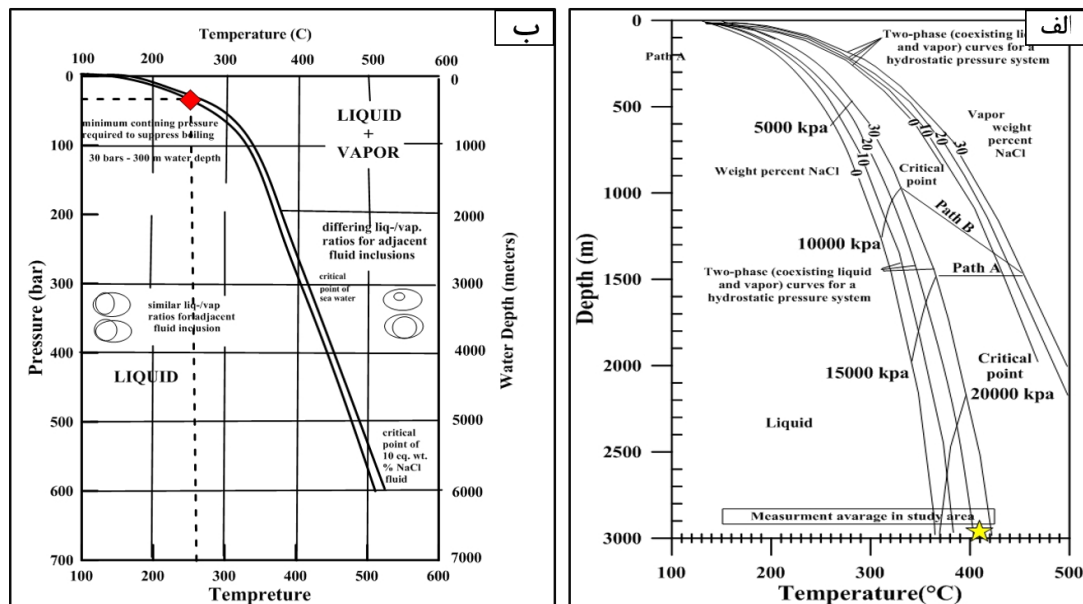


شکل ۷-۸: نمودار تعیین فشار- بخار محلول بر حسب دمای همگن شدن و شوری (Driesner and Heinrich, 2007).

۷-۸-۴- عمق

براساس نمودار دما- فشار- عمق (Haas, 1971, 1976; Sourirajan and Kennedy, 1962) می‌توان عمق تقریبی کانی‌سازی را به دست آورد. در این تحقیق برای کانه‌زایی آهن-آپاتیت ماگمایی دو نقطه میانگین دما و شوری در نظر گرفته شد که عمق تقریبی ۳۰۰۰ متر برای این بخش از کانه‌زایی بدست آمده است. از آنجا که محیط به تله افتادن میانبارهای سیال در این بخش از کانه‌زایی مرتبط با این اعماق می‌باشد، فشار حاکم بر محیط، فشار لیتواستاتیک است. اگر محیط به تله افتادن میانبارهای سیال در عمق کم و نزدیک به سطح باشد، فشار حاکم بر محیط، فشارهیدرواستاتیک نامیده می‌شود. برای تخمین حداقل فشار و عمق به دام افتادگی سیال از نمودار روابط درجه حرارت-فشار-شوری (Bischoffand & Rosenbauer, 1985) و (Rodder & Bodnar, 1980) استفاده شده است. در مطالعه میانبارهای سیال بر روی کریستال‌های کوارتز همزاد با کانه‌زایی آهن‌نواری منطقه هرمز دامنه-ای درجه حرارت همگن شدن 181°C تا 370°C (متوسط 259°C) و دامنه‌ی شوری ۲/۲۴ تا ۱۲/۸۵ معادل درصد وزنی نمک طعام (متوسط ۶/۶ معادل درصد وزنی نمک طعام) برای میانبارهای سیال نشان می‌دهد با ترسیم متوسط درجه حرارت همگن شدن (259°C) بر روی این نمودار حداقل

عمق به دام افتادگی سیالات درگیر که از رخداد جوشش جلوگیری می‌کند ۳۰ بار است که معادل با عمق ۳۰۰ متری می‌باشد. با توجه به اینکه متوسط شوری سیالات درگیر (۶/۶) در کوارتزهای منطقه هرمز از ۱۰ درصد است و میانبارها غالباً از نوع LV (فاز مایع غالب) هستند. از این رو پدیده‌ی جوشش در این منطقه صورت نگرفته است.

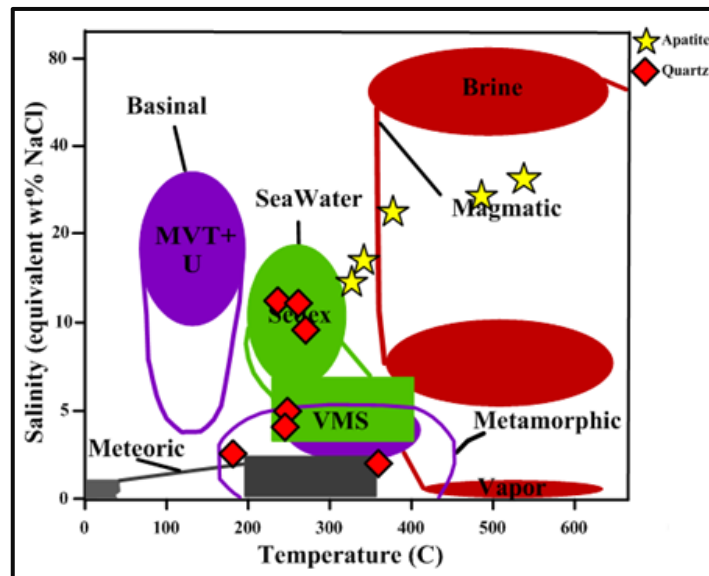


شکل ۷-۹: الف) نمودار دما-فشار-عمق جهت تعیین عمق که در آن با استفاده از دما همگن‌شدگی و شوری عمق ۳۰۰۰ متر برای کانه‌زایی بخش آهن-آپاتیت به دست آمده است (ب) نمودار تخمین حداقل فشار و عمق به دام افتادگی سیال از نمودار روابط درجه حرارت-فشار-شوری (Bischoffand & Rosenbauer, 1985) و (Rodder & Bodnar, 1980) استفاده شده است.

۷-۸-۵- تعیین منشأ سیالات مولد کانه ساز در کانه‌زایی آهن-آپاتیت

با استفاده از نمودار دوتایی میزان شوری به درجه حرارت یکنواختی می‌توان بدون استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار تا حدودی منشأ سیالات کانسار ساز را پیش بینی نمود (Kesler, 2005). همانطور که در (شکل ۷-۱۰) دیده می‌شود اکثریت میانبارهای سیال کانسار آهن-آپاتیت هرمز در محدوده سیالات کانسار ساز کانسارهای تیپ Sedex و Magmatic قرار می‌گیرند (سیالات ماگمایی- گرمایی)، این نشان می‌دهد که هر دوی این آب‌ها مسئول کانه‌زایی فسفات در کانسار آهن-آپاتیت هرمز بوده است. با توجه به میزان شوری میانبارهای سیال از ۱۴ تا ۱۶ Wt.% NaCl (تنها در دو میانبار میزان

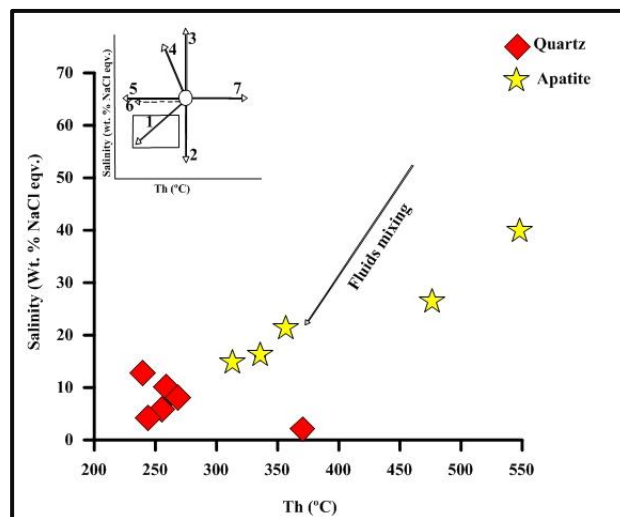
شوری ۲۸,۵۴ و ۳۳,۸۷ (Wt.% NaCl) احتمال آمیزش این سیالات با یکدیگر و اهمیت هر دو فرایند در کانه‌زایی مطرح می‌گردد. در مواردی که آمیزش سیالات ماگمایی با سیالات گرمایی صورت گیرد درجه شوری میانبرهای سیال تا کمتر از ۲۰ NaCl Wt.% خواهد رسید بنابراین این امکان وجود دارد که در آمیزش آب‌های ماگمایی با سیالات گرمایی درجه حرارت و شوری سیال ماگمایی کاهش یابد. با توجه به حضور میانبرها در محدوده سیالات کانسارساز کانسارهای تیپ Sedex و Magmatic نظریه تشکیل کانه‌زایی فسفات توسط سیالات ماگمایی- گرمایی مورد تأیید است. با توجه به شکل (۷-۱۰) می‌توان گفت که منشأ سیالات ایجاد کننده‌ی آپاتیت‌های منطقه مورد مطالعه ماگمایی است، در صورتی که سیالات ایجاد کننده‌ی آهن نواری گرمایی هستند.



شکل ۷-۱۰: تشخیص نوع سیالات کانی‌ساز با استفاده از میزان شوری در مقابل درجه حرارت یکنواختی (اقتباس از Kesler, 2005).

در نمودار شوری در برابر درجه حرارت نمونه‌های کوارتز از کانسنگ‌های آهن نواری و آپاتیت از کانسنگ‌های آهن- آپاتیت جزیره هرمز در دو موقعیت کاملاً متفاوت قرار گرفته‌اند (شکل ۷-۱۰). بطوریکه نمونه‌های کوارتز در بخش کم دما و شوری پایین و آپاتیت در بخش دما بالا و شوری بالا قرار می‌گیرند که خود حکایت از رخداد دو تیپ کانی‌سازی متفاوت در منطقه می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام گرفته سیالات با دما و شوری بالا در چندین سیستم IOCG و نوع کایرونا گزارش شده است.

همچنین سیالات کم‌دما و شوری پایین بیشتر با کانی‌سازی‌های آهن تیپ رسوبی همراه می‌باشند. این مطالعه نیز نشان می‌دهد که مشابه با دیگر ذخایر تیپ کایرونا، دو نوع سیال مختلف در تشکیل کانسار آهن- آپاتیت هرگز نقش داشته‌اند: (۱) سیال با دمای بالا بین ۳۱۲/۷ تا ۵۶۵ درجه سانتیگراد و شوری بالا بین ۱۴/۸۷ تا ۳۳/۸۷ درصد NaCl که ماهیت ماگمایی دارد و (۲) سیال عمدتاً با دمای متوسط (بین ۳۱۲/۷ تا ۳۳۵/۴ درجه سانتیگراد و شوری نسبتاً پایین ۱۴/۸۷ تا ۱۶/۲۶ درصد NaCl، این مسئله حکایت از مخلوط شدگی سیالات ماگمایی با سیالات با دما و شوری کمتر دارد. فرآیند اختلاط بین محلول ماگمایی کانه‌دار گرم و شور و محلول جوی سردتر و کم‌شور می‌تواند باعث کاهش دما و ته‌نشینی فلزات شود (ملکزاده شفارودی و کریم‌پور، ۱۳۹۳؛ لطیفی ساعی و همکاران ۱۳۹۳).

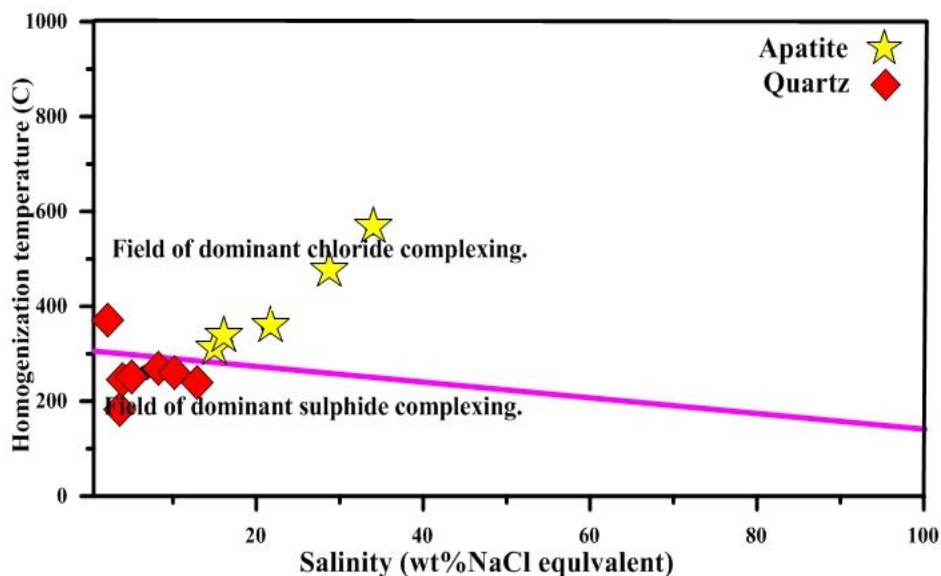


شکل ۷-۱۱: نمودار شوری در برابر دمای همگن شدن میانبرهای سیال کانی‌سازی از دو کانی آپاتیت و کوارتز مربوط به دو بخش کانی‌سازی آهن- آپاتیت و آهن نواری در کانسار هرمز. A) روندهای ممکن تکامل سیال در نمودار دما شوری از (Sheppard et al 1985) روند ۱ = مخلوط شدگی سیال A با سیال سردتر و شوری کمتر B، روند ۲ و ۳ = مخلوط شدگی سیال A با سیالات دیگر با شوری مختلف ولی دمای یکسان، روند ۴ = شوری فاز باقیمانده در اثر جوشش افزایش پیدا کرده است، روند ۵ = سردشدگی سیال، روند ۶ = باریک شدگی سیالات درگیر، روند ۷ = تراوش سیالات درگیر در طول گرمایش B: (نمودار اقتباس از Kesler 2005).

۷-۸-۶- تعیین نوع کمپلکس‌های احتمالی

مواد معدنی به صورت محلول یا غیرمحلول در آب و یا به صورت ترکیبات ساده، یونی و کمپلکس توسط ماگما و یا محلول‌های ماگمایی، گرمابی و آب‌های سطحی حمل و تحت تأثیر عوامل مختلفی

نظیر تغییرات دما و فشار، pH، و Eh، تغییر در فوگاسیته اکسیژن، غلظت گوگرد، واکنش با سنگ‌های دیگر و یا جذب سطحی ته‌نشین می‌شوند. با توجه به نمودار شکل (۶-۹) کمپلکس‌های کلریدی و بی-سولفیدی هر دو در حمل فلزات نقش داشته‌اند، به این صورت که میانبارهای سیال موجود در کوارتز توسط کمپلکس‌های بی‌سولفیدی و میانبارهای سیال موجود در آپاتیت توسط کمپلکس‌های کلریدی حمل شده‌اند.



شکل ۷-۱۲: نمودار محدوده شوری و دما در کانسارهای مختلف (لارج و همکاران، ۱۹۸۸). در محدوده A (بالای خط) کمپلکس‌های کلریدی و در محدوده B (پایین خط) کمپلکس‌های بی‌سولفیدی غلبه دارند.

۷-۸-۷- مقایسه ویژگی‌های میانبارهای سیال منطقه هرمز با دیگر کانسارهای مگنتیت-آپاتیت

همانطور که پیش‌تر گفته شد شناخت شرایط تشکیل کانسارها از مباحث اصلی و اساسی علم زمین‌شناسی است. مطالعه میانبارهای سیال می‌تواند اطلاعاتی جامع و کامل در مورد منشأ سیالات کانه‌ساز، ترکیب شیمیایی آن‌ها، درجه حرارت و فشار حاکم بر محیط کانی‌سازی، وقوع جوشش هنگام کانی‌سازی و در نهایت نوع کانی‌سازی در اختیار ما بگذارد. مقایسه ویژگی‌های سیالات درگیر بخش کانه‌سازی آهن-آپاتیت جنوب غربی جزیره هرمز با برخی کانسارهای مگنتیت-آپاتیت ایران (ایران

مرکزی و منطقه طارم زنجان) بیانگر شباهت کانی‌سازی مگنتیت یا آهن - آپاتیت منطقه هرمز با کانسارهای مزبور می‌باشد (جدول ۷۰-۳).

جدول ۷۰-۳: مقایسه سیال کانه‌ساز کانسار آهن-آپاتیت هرمز با چند کانسار آهن-آپاتیت دیگر در ایران.

نام کانسار	موقعیت	نوع کانسار	دمای همگن شدن °C	شوری (درصد وزنی نمک طعام)	نوع سیالات درگیر	منبع
اسفوردی	ایران مرکزی	مگنتیت -	۵۰۵-۲۳۵	۵-۲۳	LV+LVS	Jami(2005)
		آپاتیت	۱۴۵-۴۹۵	۱۲-۱۸,۶	LV	
			۱۰۵-۲۲۵	-----	LV	
علی آباد	زنجان	مگنتیت- آپاتیت	۲۱۰-۴۹۹	۸,۱۴-۱۵,۱۷	LV	Nabatian et al.(2014)
مروارید	زنجان	مگنتیت-آپاتیت	۲۱۲-۵۶۰	۸,۸۱-۱۶,۵۳	LV	Nabatian et al.(2014)
ذاکر	زنجان	مگنتیت- آپاتیت	۲۰۰-۴۱۶	۱۳,۷-۲۲,۱	LV	Nabatian et al.(2014)
هرمز	هرمز	آهن-آپاتیت	۲۵۰-۴۲۰	۳۳/۷-۴۱/۴	LV	Faramarzi et al.(2015)
هرمز	زاگرس چین خورده	آهن- آپاتیت	-۳۱۲,۷ ۵۶۵	۴,۹۵-۱۳,۹	LV	مطالعه حاضر

فصل هشتم:

نیجہ گیری، تیپ و الگوی تشکیل کانسار و پیشہنادرہا

۸-۱- مقدمه

هدف از مطالعات انجام شده بر روی ویژگی‌های مختلف یک کانه‌زایی شامل زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی، زمین‌شیمی و مطالعه میانبارهای سیال، شناسایی پدیده‌هایی است که منجر به تشکیل و تمرکز عناصر معدنی در کانسار گردیده است. برای رسیدن به چنین هدفی، لازم است تمام پدیده‌های مرتبط با تشکیل و تمرکز ماده معدنی، مورد بررسی قرار گیرند. در این بخش از پژوهش سعی شده تا با استفاده از شواهد زمین‌شناسی صحرائی، سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری، نتایج مطالعات میانبارهای سیال و آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های برداشته شده از رخدادهای کانه‌زایی آهن و آهن-آپاتیت هرمز، به جمع‌بندی مهم‌ترین خصوصیات کانه‌زایی‌ها در این منطقه پرداخته شده و در نهایت، تیپ‌های کانه‌زایی معرفی می‌گردد. قبل از معرفی تیپ کانه‌زایی، ابتدا ویژگی‌های کانه‌زایی‌های منطقه مورد مطالعه و تقسیم‌بندی کلی انواع کانسارهای آهن توصیف شده است. پس از آن ویژگی‌های کانه‌زایی‌های آهن و آهن - آپاتیت منطقه مورد مطالعه با کانسارهای مشابه در ایران و جهان مقایسه شده است. و در نهایت به نحوه تشکیل و الگوی ژنتیکی رخدادهای کانه‌زایی منطقه پرداخته شده است. در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادهای لازم ارائه گردیده است.

۸-۲- ویژگی‌های مهم کانه‌زایی‌های منطقه مورد مطالعه

برپایه نتایج تحقیق حاضر دو تیپ کانه‌زایی مختلف در این منطقه رخ داده است که شامل کانه‌زایی‌های آهن نواری و آهن-آپاتیت ماگمایی-گرمابی می‌باشد که در ادامه ویژگی‌های هر یک از این تیپ‌های کانه‌زایی بطور جداگانه آورده شده است.

۸-۲-۱- کانه‌زایی‌های آهن نواری منطقه

برپایه نتایج تحقیق حاضر اهم ویژگی‌های زمین‌شناسی و معدنی کانه‌زایی تیپ آهن‌نواری منطقه مورد مطالعه بصورت زیر می‌باشد:

- از تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین‌ساختی ایران محدوده کانه‌زایی آهن‌نواری در زاگرس چین‌خورده و در بخشی از سری هرمز جای گرفته است.
- رخنمون‌های سنگی منطقه مورد مطالعه متعلق به پرکامبرین پسین-پالئوزوئیک زیرین و سنوزوئیک شامل تناوبی از گدازه ریولیتی و ریوداسیتی، توف‌ریولیتی تا ریوداسیتی، کریستال‌توف، شیل‌توفی، ماسه‌سنگ، مارن، مارن‌ماسه‌ای، آهک‌ماسه‌ای، کنگلومرا و لایه‌های تبخیری است.
- بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری، سنگ‌های محدوده کانسار مورد مطالعه نیز بیشتر از نوع فلسیک تا حدواسط هستند و گستره‌ای از سنگ‌های ریولیتی تا داسیتی را شامل می‌شوند. از نظر ماهیت زمین‌شیمیایی سنگ‌های منطقه از سری کالک‌آلکان تا کالک‌آلکان درجه بالا و شوشونیتی تغییر می‌کنند.
- کانه‌زایی نواری یکی از شاخص‌ترین تیپ‌های کانه‌زایی در منطقه است که بصورت نوارها یا نوارهای متناوبی از آهن با ضخامت چندمیلیمتر تا چند سانتیمتر شامل (اولیژیست و هماتیت) با سیلیس‌های آهن‌دار (ژاسپیلیت) تکرار می‌شوند. هماتیت، اولیژیست، گوتیت و لیمونیت کانه‌های اصلی ماده‌معدنی در کانه‌زایی آهن‌نواری منطقه می‌باشند. (کلسیت، کوارتز و کانی‌های رسی) کانی‌های اصلی مواد باطله در این کانی‌سازی هستند.
- سری ماگمایی سنگ‌های آذرین غیر دگرسان منطقه، بیشتر از نوع قلیایی با پتاسیم بالا بوده و نشان می‌دهد که این سنگها در موقعیت ریفتی بوجود آمده‌اند.
- شکل هندسی و ساخت و بافت ماده معدنی، به صورت لایه‌های هم‌شیب و هم‌روند با سایر واحدهای منطقه است. ساخت و بافت‌های موجود در کانسنگ، نواری و برشی می‌باشد. رگه-رگچه‌های کلسیتی و سیلیسی در تمام محدوده کانسار مشاهده می‌شوند.
- مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که کانی‌سازی در این بخش شامل هماتیت، اولیژیست، مگنتیت، گوتیت و لیمونیت است. هماتیت در فاز ثانویه کانه‌زایی تشکیل می‌شود که از تبدیل مگنتیت به وجود آمده است. هیدروکسیدهای آهن گوتیت و لیمونیت می‌باشند که به همراه هماتیت در فاز

ثانویه کانی‌سازی تشکیل شده‌اند. باطله‌ها شامل کلسیت، کوارتز، مسکوویت، ژاسپیلیت، ژیپس، انیدریت و نمک می‌باشند.

- به طور کلی، دگرسانی در این کانه‌زایی شامل آرژیلیتی، کلریتی، سیلیسی، کربناتی، سرسیتی و آغشتگی‌های اکسید آهن (که به صورت لیمونیتی و هماتیتی‌شدن مشاهده می‌شوند) می‌باشد. از این میان دگرسانی آرژیلیک و اکسید آهن، گسترده‌ترین دگرسانی‌های در منطقه می‌باشند که واحد آتشفشانی و آذرآواری میزبان را به شدت تحت تاثیر قرار داده‌اند. سیلیس در تمام واحدهای رخنمون یافته در منطقه دیده می‌شود که نشانگر ورود سیال از طریق محلول‌های گرمایی به داخل شکستگی‌ها و ته‌نشین شدن در آن‌ها است. دگرسانی کربناتی نیز به صورت رگه‌های کربناته تمام واحدهای منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. دگرسانی سرسیتی به صورت تبدیل پلاژیوکلازها به سرسیت در مقاطع کاملاً مشخص است.

- مطالعات زمین‌شیمیایی در منطقه بر روی عناصر اصلی و کمیاب موجود در کانسنگ انجام گرفته که بر اساس نسبت عناصر اصلی $Al / (Al + Fe + Mn)$ در مقابل Fe / Ti و Al_2O_3 در مقابل SiO_2 منشأ ذخایر آهن در منطقه بسیار نزدیک به رسوبات گرمایی است. بر اساس عناصر کمیاب در نمودار REY (REE+Y) نرمال شده به PAAS (Post Archean Australian Shale)، ناهنجاری‌های مثبت La، Y و Eu با تهی‌شدگی در مقدار LREE در کانسنگ آهن مورد مطالعه برجسته هستند، که آنومالی قوی Eu مثبت در کانسار نواری منطقه، نقش مایعات گرمایی را در شکل‌گیری آن‌ها نشان می‌دهد درحالی‌که اکثر اثرهای REY منشأ کانه‌های آهن در BIFها را آب دریا نشان می‌دهد، اما آنومالی مثبت Eu نمی‌تواند توسط یک مشارکت دریایی در نظر گرفته شود. اثر REY مایعات گرمایی با غنی‌شدگی LREE و آنومالی Eu مثبت مشخص می‌شوند. همچنین بر اساس نسبت‌های Pr / Pr^* در مقابل Ce / Ce^* نمودار نشان دهنده آنومالی La مثبت است که نشان‌دهنده شکل‌گیری کانسنگ‌های نواری منطقه در شرایط زیردریایی با کمبود یا نبود اکسیژن می‌باشد.

- براساس مطالعات سیالات درگیر انجام شده بر روی نمونه کوارتز مربوط به این بخش از کانه‌زایی دمای همگن‌شدگی بین ۱۸۰/۷ تا ۳۶۹/۸ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۲۵۹°C) و میزان شوری بین ۲/۲۴ تا ۱۲/۸۵ (میانگین ۶/۵۵) درصد وزنی معادل نمک طعام در تغییر است. چگالی سیال در نمونه کوارتز در بازه ۰/۸ تا ۱ و فشار بخار از کمتر از ۵۰ تا کمتر از ۴۰۰ بار قرار می‌گیرد.

۸-۲-۲- کانه‌زایی آهن-آپاتیت منطقه

- از تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین‌ساختی ایران محدوده کانه‌زایی آهن‌نواری در زاگرس چین‌خورده و در بخشی از سری هرمز جای گرفته است.
- رخنمون‌های سنگی منطقه مورد مطالعه متعلق به پرکامبرین پسین-پالئوزوئیک زیرین و سنوزوئیک شامل تناوبی از گدازه ریولیتی و ریوداسیتی، توف‌ریولیتی تا ریوداسیتی، کریستال توف، شیل توفی، ماسه‌سنگ، مارن، مارن‌ماسه‌ای، آهک‌ماسه‌ای، کنگلومرا و لایه‌های تبخیری است.
- بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری، سنگ‌های محدوده کانسار مورد مطالعه نیز بیشتر از نوع فلسیک تا حدواسط هستند و گستره‌ای از سنگ‌های ریولیتی تا داسیتی را شامل می‌شوند. از نظر ماهیت زمین‌شیمیایی سنگ‌های منطقه از سری کالک‌آلکان تا کالک‌آلکان درجه بالا و شوشونیتی تغییر می‌کنند.
- کانه‌زایی آهن به همراه آپاتیت بصورت‌های دایک، عدسی و رگه- رگچه‌ای در سنگ‌های ریوداسیتی و شیلی- توفی وجود دارند. بسته به درصد اکسیدهای آهن و آپاتیت می‌توان کانی- سازی را به انواع اکسید آهن عمدتاً مگنتیت- آپاتیت، آپاتیت- مگنتیت و آپاتیت تقسیم کرد. مگنتیت، هماتیت، اولیژیست، گوتیت، لیمونیت و آپاتیت کانه‌های اصلی ماده‌معدنی در کانه‌زایی آهن-آپاتیت منطقه می‌باشند. هماتیت، گوتیت و لیمونیت در اثر پدیده‌های هوازدگی و سوپرژن تشکیل شده‌اند. (کلسیت، کوارتز، مسکوویت و کانی‌های رسی) کانی‌های اصلی مواد باطله در این کانی‌سازی هستند.

- بر پایه داده‌های زمین‌شیمیایی مقدار Fe در نمونه‌های HI-G-4، HI-G-6 و HI-G-7 بترتیب ۰/۴۷، ۲۰/۴۸، و ۳/۳۵ و مقدار P در این نمونه‌ها به ترتیب ۱۶۰۶۰۰، ۲۶۶۰۰ و ۱۶۱۵۳ می‌باشد.
- ویژگی بارز کانه‌زایی آهن-آپاتیت منطقه مورد مطالعه، تمرکز بالای عناصر خاکی کمیاب می‌باشد. مجموع عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های برداشته‌شده از کانسنگ مگنتیت-آپاتیت ۲۷۱۸/۸۴ ppm (۰/۲۸ درصد)، در کانسنگ آپاتیت - مگنتیت ۴۷۴۸/۲۱ ppm (۰/۴۸ درصد) می‌باشد. عیار مجموع عناصر خاکی کمیاب در نمونه برداشته‌شده از پهنه فسفاتی (بلورهای آپاتیت) بسیار قابل توجه بوده و به ۲۹۹۲۲/۱۶ ppm (۳ درصد) می‌رسد. نتیجه آنالیزها حاکی از این است که تمرکز عناصر خاکی کمیاب در ارتباط با کانی‌سازی فسفات (آپاتیت) می‌باشد.
- انواع مختلف کانسنگ موجود در منطقه، یک الگوی غنی از LREE با نسبت بالای LREE/HREE را همراه با بی‌هنجاری منفی مشخص در Eu نشان می‌دهند. این تشابه الگو در عناصر کمیاب‌خاکی، بیانگر منشأ مشترک انواع کانسنگ‌های موجود در کانه‌زایی آهن-آپاتیت منطقه مورد مطالعه است.
- براساس مطالعات میانبارسیال انجام شده بر روی نمونه آپاتیت از بخش کانه‌زایی آهن-آپاتیتی منطقه دمای همگن‌شدگی در این نمونه بین ۳۱۲/۷ تا ۵۶۵ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۴۰۸/۸۲°C) و میزان شوری بین ۱۴/۸۷ تا ۳۳/۸۷ میانگین ۲۲/۹۸ درصد وزنی معادل نمک طعام در تغییر است. بر اساس نمودار میزان شوری به درجه حرارت یکنواختی اکثریت میانبارهای سیال کانسار آهن-آپاتیت هرگز در محدوده سیالات کانسار ساز تیپ Sedex و Magmatic قرار می‌گیرد (سیالات ماگمایی- گرمایی)، این نشان می‌دهد که هر دوی این آب‌ها مسئول کانه‌زایی فسفات در کانسار آهن-آپاتیت هرگز بوده است. بر اساس دمای همگن‌شدگی و شوری، کانی‌سازی آهن-آپاتیت در فشار کمتر از ۲۰۰ تا حداکثر ۷۰۰ بار و در عمق ۳۰۰۰ متری رخ داده است.

۸-۳- ویژگی‌های کلی کانسارهای آهن نواری و کانسارهای آهن-آپاتیت ماگمایی-گرمابی

۸-۳-۱- کانسارهای آهن نواری

بطوری که در بخش‌های قبلی بیان گردید یافته‌های تحقیق حاضر رخداد دو تیپ کانه‌زایی متفاوت آهن در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. هر چند این دو تیپ کانه‌زایی سرشت واحدی دارا هستند ولی اختلاف در پاره‌ای از ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و ... آن‌ها را از یکدیگر متمایز می‌سازد. در این بخش برای مقایسه‌ی صفات بارز کانه‌زایی‌های آهن‌نواری و آهن-آپاتیت ماگمایی-گرمابی کلیاتی درباره‌ی این تیپ کانه‌زایی‌ها ارائه می‌گردد.

تشکیلات آهن نواری رسوبات شیمیایی، نازک‌لایه و ورقه‌ای حاوی ۱۵ درصد یا بیشتر آهن می‌باشند که منشأ آن رسوبی است، این کانسارها ممکن است حاوی لایه‌های چرت باشند (James, 1996). عقیده‌ی عمومی بر آنست که کانسارهای نواری آهن در نتیجه‌ی ته‌نشینی شیمیایی و بیوشیمیایی حاصل شده‌اند؛ لیکن در مورد منشأ آهن عقاید مختلف است؛ بعضی معتقدند که آهن دارای منشأ قاره‌ای است و بعضی دیگر اعتقاد به متصاعدی بودن آن دارند. در مورد نحوه‌ی تشکیل کانسارهای نواری آهن، نظریه‌های مختلفی ارائه شده است که ذیلاً باختصار آورده می‌شود (Guilbert and Park, 1997):

(۱) سیلیس و آهن از چشمه‌هایی که مرتبط با فعالیت آتشفشانی و دارای منشأ ماگمایی می‌باشد، بیرون ریخته می‌شوند.

(۲) آهن و سیلیس بصورت محلول از خشکی‌ها حاصل و بصورت نوارهای موزون در حوضه‌رسوبی ته‌نشین می‌شوند. تغییرات فصلی در ترکیب آب باعث ته‌نشینی نواری متفاوت در هر فصل می‌گردد.

(۳) لایه‌های مربوط به تشکیلات آهن ابتدا بصورت توف‌های آهن‌دار دانه‌ریز با لایه‌بندی قطور و سایر رسوبات غنی از آهن ته‌نشین می‌شوند و سپس ضمن دیاژنز، اکسیدی و سیلیسی می‌شوند. سیلیسی-

شدن باعث تبدیل لایه‌های قطور به لایه‌های نازکی از چرت، ژاسپر و لایه‌هایی که از لحاظ آهن غنی‌تر می‌باشند، می‌شود.

۴) کانسارهای نواری آهن محصولات نهایی مربوط به چرخه‌های رسوبی کربناتی است.

۵) در آرکئن بواسطه‌ی بالا بودن مقادیر CO_2 در جو زمین، آب دریاها اسیدی ($\text{pH} \leq 6$) و یا با جو زمین به حالت تعادل بوده است و در نتیجه کاهش CO_2 در جو زمین pH مربوط به آب دریاها افزایش یافت و نتیجتاً آهن موجود در آب دریاها به مرحله‌ی اشباع رسید و بصورت FeCO_3 و Fe_3O_4 ته‌نشین گردید. کاهش تدریجی CO_2 و افزایش اکسیژن در جو زمین باعث ته‌نشینی آهن بصورت مگنتیت، هماتیت و سیدریت گردید.

۶) صعود آب‌های عمیق و سرد دریا که اشباع از CO_3 ، Ca^{2+} و Fe^{2+} می‌باشند، بطرف فلات‌های قاره‌ای گرم باعث آزاد شدن CO_2 (افزایش pH) و تماس با آب‌های اکسیژن‌دار و جو زمین و نتیجتاً اکسیدشدن Fe^{2+} و ته‌نشینی آن (طبق قوانین ۱ و ۲ گلداشمیت) بصورت اکسیدفریک، هیدرواکسید یا سیلیکات می‌شود. از همین آب‌ها که اشباع از سیلیکای آمورف می‌باشند، چرت نیز ته‌نشین می‌شود.

کانسارهای آهن نواری به سه رده آگوما، سوپریور و راپیتان تقسیم می‌شوند که در ادامه به ویژگی‌های هر کدام از این رده‌ها پرداخته شده است.

۱ - نوع آگوما: این کانسارها در یک محیط زمین‌ناودیدی و در حوضه‌های ریفتی بین پوسته‌های اقیانوسی و احتمالاً جزایر قوسی اولیه در کمربندهای گرین‌استون آرکئن تشکیل شده‌اند. اغلب این کانسارها دارای سن آرکئن و قدیمی‌تر از ۲۶۰۰ میلیون سال هستند و همراه با فعالیت‌های آتشفشانی و ماگمایی (گدازه‌های بالشی و سنگ‌های بازالتی و ریولیت) در جهانی این رده از کانسارهای آهن نواری محسوب می‌شوند.

۲ - نوع سوپریور: این کانسارها در حوضه‌های رسوبی نسبتاً کم‌عمق فلات قاره‌ها، حوضه‌های درون کراتونی یا حواشی قاره‌های پایدار و حوضه‌های بسته تبخیری تشکیل شده‌اند. از لحاظ زمین‌ساختی اغلب به صورت دگرشیب روی پی‌سنگ‌های شدیداً دگرگون‌شده قرار دارند و نوارهای آهن در بخش-های زیرین این توالی‌ها قرار دارد. در برخی مناطق این کانسارها به وسیله یک لایه نازک که حاوی کوارتزیت، شیل، آرژیلیت و چرت است، از پی‌سنگ جدا شده‌اند و گاهی مستقیماً روی پی‌سنگ قرار می‌گیرند و نشان‌دهنده گذر تدریجی از یک محیط کراتونی پایدار به یک محیط رسوبی عمیق هستند. این کانسارها در پروتروزوئیک آغازی بیشترین توسعه و گسترش را داشته و اغلب سنی قدیمی‌تر از ۱۸۰۰ میلیون سال را دارند. اعتقاد عمومی حاکی از نهشته‌شدن این کانسارها بصورت شیمیایی یا بیوشیمیایی است. این کانسارها به شکل نوارهای طویل و با طول بیش از یکصد کیلومتر و به ضخامت چند متر تا یک کیلومتر به همراه رسوبات تخریبی (کنگلوмера و کوارتزیت) و دولومیت و شیل‌های آلی بدون فعالیت ماگمایی تشکیل شده‌اند. یکی از وجوه تمایز این گروه از نوع آلگوما نبود یا کمبود فعالیت‌های آتشفشانی در آن هاست. حوضه‌های هامرسلی استرالیا، ترانسوال آفریقای جنوبی و تراف لابرادور نمونه‌هایی از این گروه است. حدود ۶۵ درصد از ذخایر آهن‌نواری در این گروه قرار دارند.

۳ - نوع راپیتان: کانسارهای نوع راپیتان جدیدترین انواع کانسارهای نواری آهن بوده و تا اندازه‌ای شبیه کانسارهای نوع سوپریور است ولی سن پروتروزوئیک فوقانی - پالئوزوئیک دارند. کمتر از ۱۰ درصد ذخایر نواری آهن در این گروه قرار می‌گیرد. این کانسارها در حوضه‌های رسوبی کم‌عمق و ریفت‌های ناقص بین‌کراتونی و اقیانوسی دیده شده‌اند. از ویژگی‌های دیگر این نوع کانسارها ارتباط رسوبات تخریبی با رسوبات یخچالی و رخساره‌های یخچالی از نوع دیامیکتیت (تیلیت) است. رسوبات تخریبی یا یخچالی معمولاً قبل یا طی عمل کافتی‌شدن (تشکیل ریفت) و سنگ‌های آتشفشانی بازالتی و ریولیتی پس از تشکیل کافت شده‌اند. همراهی دیامیکتیت با ریتمیت‌ها و کلاhek کربناتی در کانسارهای نوع راپیتان جالب توجه است. این توالی یخچالی و تشکیلات آهن‌نواری وابسته به آن در نقاط مختلفی از کره‌زمین از جمله کوه‌های مکنزی کانادا، استرالیا، و آفریقا (نامیبیا و مصر) و آسیا

(چین و عمان) گزارش شده است. در ایران نیز برخی از کانسارها از جمله سه‌چاهون را می‌توان در این گروه از کانسارها طبقه‌بندی کرد.

جدول (۸-۱) خصوصیات سه رده آهن نواری آلگوما، سوپریور و راپیتان با آهن نواری جزیره هرمز مقایسه شده است.

مشخصات کانسار	آلگوما	سوپریور	راپیتان	آهن نواری منطقه
بافت	لایه ای، نواری	لایه ای، نواری	لایه ای، نواری، رگه ای و رگچه ای، جانشینی	نواری و برشی
ساخت	لایه ای، نواری	لایه ای - نواری	لایه ای - نواری	نواری، رگه - رگچه ای و برشی
کانه	مگنتیت، هماتیت، و مقادیر جزئی سیدریت	هماتیت، مگنتیت، پیریت	مگنتیت، هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت	اولیژیست، هماتیت، گوتیت و لیمونیت
باطله	کوارتز بصورت لایه های چرتی دگرگون شده	کوارتز بصورت لایه های چرتی دگرگون شده	کوارتز، کلریت، اکتینولیت	کوارتز، کلسیت، مسکوویت، ژاسپیلیت، انیدریت، ژیسپ و هالیت
فعالیت ماگمایی	بازالت و ریولیت	نبود و یا کمبود مواد آذرین	بازالت با سنگ های دگرگونی	ریولیت تا ریوداسیت
ویژگی های ژئوشیمی	آنومالی مثبت Eu ، Co ، Cu ، Ni و آنومالی منفی Ce .	آنومالی منفی Ce ، مثبت Mn ، فاقد آنومالی تا آنومالی منفی Eu ، نهی شدگی نسبت به Co ، Ni ، Cu و Zn غنی شدگی $LREE$ نسبت به $LREE$ وقتی که به PAAS نرمالیز شوند	غنی شدگی $HREE$ و Y و نهی شدگی شدیدی از $LREE$ بدون آنومالی Ce و Eu .	آنومالی مثبت Mn و آنومالی مثبت Eu و آنومالی منفی Ce
سنگ های همراه	مجموعه ای از سنگ های آتشفشانی، آتشفشانی-سوسپی شامل بازالت، آندزیت، داسیت، ریولیت، گری وک و شیل گرافیتی	شیل دریایی کوارتزیت سنگ های کربناتی، سنگ های آتشفشانی مافیک تا فلسیک،	سنگ های تخریبی، یخساری (دامیکتیت)، سنگ آهک دولومیتی چرت دار	ریولیت ریوداسیت توف ریولیتی شیل توفی، مارن ماسه ای و ماسه سنگ و تبخیری ها
سن	آرکنن، پروتروزوییک پیشین	نئوپروتروزوییک و آرکنن	پروتروزوییک پسین	۵۴۲ تا ۶۳۵ میلیون سال
محیط ته نشست	آب های کم عمق فلات قاره، حوضه های تبخیری کم عمق و جدا شده، حوضه های درون کراتون	تولی های مرتبط با محیط های کم عمق دریایی در حاشیه قاره، حاشیه های فعال قاره، حوضه های فورلند مجاور محیط های تصادم قاره	شرایط پایدار قاره ای در زمان گسترش یخچال های جهانی	حوضه های زیر دریایی آتشفشانی هیدروترمالی
جایگاه تکتونیکی	کمربندهای گرین استون آرکنن.	حاشیه های فعال قاره ای یا درون حوضه های فورلند.	حوضه های ریفت درون قاره ای در مراحل اولیه ریفتینگ و تحت شرایط یخچالی.	حوضه های ریفتی واقع در حاشیه فعال قاره گندونا
مثال	Archean examples: Vermillion Iron-Formation, Minn.; Sherman Mine, Temagami, Ontario; Helen Mine, Wawa, Ontario; Early Proterozoic example: Wadi Sawawin, Saudi Arabia.	Mesabi Iron Range, Minn. (Bibabik Iron-Formation); Marquette Iron Range, Mich. (Negaunee Iron-Formation); Minas Gerais area, Brazil; Wabush Lake area, Canada	IRON-FORMATION AND GLACIOGENIC ROCKS OF THE RAPITAN GROUP, NORTHWEST TERRITORIES, CANADA	تحقیق حاضر
منبع	William F. Cannon, Donald G. Hadley, and Robert J. Horton	William F. Cannon, Donald G. Hadley, and Robert J. Horton	GRANT M. YOUNG	

جدول (۸-۲) مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار آهن نواری جزیره هرمز با سایر کانسارهای آهن نواری تیپ آگوما در جهان.

مشخصات کانسار	Yishui County	Tianhu iron deposit	BIF, Abitibi	آهن نواری منطقه
یافت	لایه ای، نواری، رگه ای	نواری، توده ای، دانه پراکنده	نواری، دانه پراکنده	نواری و برشی
ساخت	توده ای - نواری	نواری، توده ای، دانه پراکنده	نواری	نواری، رگه-رگچه‌ای و برشی
کانه	مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، هماتیت	مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، اسفالریت، ایلمنیت	مگنتیت، هماتیت	اولیژیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت
باطله	کوارتز، آمفیبول، پلاژیوکلاز، بیوتیت، آپاتیت	آمفیبول، تالک، سربافتین، فورستریت، گارنت، آپاتیت، کوارتز، دولومیت، کلریت، ترمولیت	کوارتز، ژاسپیلیت، فلدسپار، بیوتیت، آلیت، اپیدوت، کلریت، آپاتیت	کوارتز، کلسیت، مسکوویت، ژاسپیلیت، انیدریت، ژیس و هالیت
فعالیت ماگمایی	-----	نبود و یا کمبود مواد آذرین	بازالت با سنگ های دگرگونی	ریولیت تا ریوداسیت
ویژگی های ژئوشیمی	محتوی کم TiO_2 و مقادیر زیاد عناصر (HFSEs) آنومالی مثبت Gd, Eu, La و غنی شدگی از HREE	مقادیر کمی $Al_2O_3, TiO_2, HFSEs$ آنومالی مثبت Eu و Y منبع سنبل کانه ساز حفرهای هیدروترمال درجه حرارت بالا و آب دریا.	آنومالی مثبت Mn و آنومالی منفی Ce	آنومالی مثبت Mn و آنومالی مثبت Eu و آنومالی منفی Ce
سنگ های همراه	آمفیبولیت، میگماتیک، گرانیت، گنیس و شیست	گنیس، آمفیبولیت، شیست و کوارتز شیست.	سنگ های متاسدیمنت و سنگ های آتشفشانی حدواسط تا مافیک شامل سیل و دایک های با ترکیب آندزیت پورفیری و گری وک	شیل کربناته، مارن ماسه ای و ماسه سنگ و تبخیری ها
سن	آرکنن	نئوپروتروزویک	آرکنن	۵۴۲ تا ۶۳۵ میلیون سال
محیط ته نشست	حوضه های زیر دریایی آتشفشانی هیدروترمالی	حوضه های زیر دریایی آتشفشانی هیدروترمالی	حوضه های زیر دریایی آتشفشانی هیدروترمالی	حوضه های زیر دریایی آتشفشانی هیدروترمالی
جایگاه تکتونیکی	محیط های ریفت قاره ای- کمان های حاشیه قاره	محیط های ریفت قاره ای- کمان های حاشیه قاره	محیط های ریفت قاره ای- کمان های حاشیه قاره	حوضه‌های ریفتی واقع در حاشیه فعال قاره گندوانا
تیپ	آگوما	آگوما	آگوما	آگوما
منبع	Moon et al., 2017	Yizheng et al., 2017	Mehmet F. Taner, 2015	تحقیق حاضر

۸-۳-۲-کانسارهای آهن-آپاتیت ماگمایی - گرمایی

فریتز و پردال (Frietsch and Perdahl, 1995)، کانسارهای متعلق به رخدادهای مگنتیت - هماتیت - آپاتیت را به دو گروه تقسیم کرده‌اند: ۱- کانسنگ‌های با ماهیت ماگمایی آتشفشانی تا نیمه آتشفشانی (کانسنگ تیپ کایرونا). ۲- کانسنگ‌های آهن مرتبط با فرآیندهای دوپتیک و یا توده های نفوذی. از بین این دو، کانسنگ‌های آهن تیپ کایرونا بیشترین اهمیت را دارند. کانسارهای آهن-آپاتیت کایرونا در شمال سوئد، حاوی حدود ۶۷۰۰-۱۲۵۰۰ مجموع عناصر کمیاب‌خاکی هستند. الگوی REE آپاتیت‌های این کانسار تفکیک ضعیف $LREE/HREE$ $\{La/Yb=3-7\}_{cn}$ داشته و آنومالی منفی Eu را نشان می‌دهد. غنی‌شدگی از عناصر LREE و تهی‌شدگی از عناصر HREE و همچنین

آنومالی مشخص در Eu از مشخصه‌های آپاتیت موجود در کانسارهای آهن تیپ کایرونا می‌باشد (Frietsch and Perdahl, 1995). به اعتقاد همین اشخاص، مگنتیت در کانسارهای آهن تیپ کایرونا دارای محتوای بالای REE ($1000 < \text{ppm}$) است که نشانگر میزان بالای تفریق در این کانسارها است. کانسارهای آهن تیپ کایرونا دربرگیرنده ذخایر مگنتیت - آپاتیت با محتوای پایین Ti و V و بدون همراهی یا با مقادیر جزئی Cu و Au هستند (Hitzman et al., 1992; Hitzman, 2000). توده‌های معدنی در این تیپ ذخایر از نظر اندازه از چند صد میلیون تن کانسنگ پرعیار تا ذخایر رگه-رگچه‌ای کوچک متغیر هستند (Hildebrand, 1986; Nystorm and Henriquez, 1994).

جدول (۸-۳) ویژگی‌های اصلی کانسارهای مگنتیت-آپاتیت منطقه‌ی مورد مطالعه با کانسارهای مگنتیت-آپاتیت تیپ کایرونا مقایسه شده است.

خصوصیات	کانسار اکسید آهن تیپ کایرونا	کانسار مگنتیت-آپاتیت جزیره هرمز
محیط تکتونیکی	حاشیه قاره‌ها، محیط‌های فرورانش مرتبط با کمربند آتشفشانی، رزیم‌های تکتونیکی کششی	حوضه‌های ریفتی واقع در حاشیه فعال قاره گندونا
محدوده سن کانه زایی	پالئوپروتروزویک تا پلیوسن و پلیستوسن	پرکامبرین پسین- پالئوزویک زیرین
سنگ میزبان	سنگ‌های آتشفشانی کالک آلکان تا آلکان (آندزیت تا ریولیت) و توده‌های پلوتونیک	سنگ‌های آتشفشانی با ماهیت کالک آلکان تا آلکان شامل ریوداسیت
ماهیت ماگماتیسم	ساب آلکان تا آلکان، I type	کالک آلکان تا کالک آلکان درجه بالا و شوشونیتی
ژئومتری	رگه‌ای، توده‌ای، داریستی	دایک مانند، توده‌ای، انتشاری، رگه- رگچه ای
کانی شناسی	مگنتیت با مقدار Ti و V پایین، هماتیت، آپاتیت، پیریت، مقدار جزئی کالکوپیریت، اکتینولیت، دیوپسید، کلسیت و کورتز	مگنتیت، آپاتیت، هماتیت، اولیژیست، گوتیت، لیمونیت، کورتز، کلسیت و مسکوویت
دگرسانی	سدیک، سدیک- کلسیک، مگنتیت- آپاتیت- اکتینولیت، سربستی، سیلیسی، فلدسپات پتاسیم و تورمالینی شدن	آرژیلیک، سیلیسی، کربناتی، سربستی و اکسید آهن
ساخت و بافت	نوری، توده‌ای، جانشینی	دایک، توده ای، رگه- رگچه
عوامل کنترل کننده	مناطق برشی، شکستگی‌ها	مناطق برشی، شکستگی‌ها
ژنز	۱- جدایی مذاب سیلیکاته و اکسیدی ۲- سیالات هیدروترمالی منشأ گرفته از ماگما	سیالات هیدروماگمایی (ماگمایی - گرمایی)
منابع	Gross, 1996; Geijer, 1967; Hitzman, et al., 1992, Hitzman, 2000; Daliran et al., 2010, 2007; Daliran, 2002; Edfelt, 2007.	اطلاعات موجود در تحقیق حاضر

جدول (۴-۸) مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار مگنتیت-آپاتیت جزیره هرمز با کانسارهای آهن آپاتیت تیپ کایرونا در ایران.

کانسار مشخصات	میشدوان	چغارت	آنومالی شمالی	اکسید آهن -آپاتیت سفوردی	کانسار سه چلهون	کانسار مگنتیت-آپاتیت جزیره هرمز
موقعیت جغرافیایی	۳۰ کیلومتری شمال بافق	۱۳ کیلومتری شمال شرق بافق	۱۵ کیلومتری شمال شرق بافق	۳۱ کیلومتری شمال شرق بافق	۳۵ تا ۴۰ کیلومتری شمال شرق بافق	جنوب غرب جزیره هرمز
پهنه ساختاری	ایرن مرکزی	ایرن مرکزی	ایرن مرکزی	ایرن مرکزی	ایرن مرکزی	زگرس چین خورده
جایگاه تکنونیک	رفعت درون قاره	رفعت درون قاره	رفعت درون قاره	رفعت درون قاره	فوس ماگمایی	حوضه‌های رفتی وقع در حاشیه فعال قاره گندونا
سن کانی زایی	اینفر کامبرین	اینفر کامبرین	اینفر کامبرین	اینفر کامبرین	۵۱۰± Ma	پرکمبرین پسین- پالتوزویک زبرین و میوسن
سنگ میزبان/ همراه	ریولیت، سنگ های آتشفشانی - رسوبی ریولیتی	کوزتز کرتوفیر	ریولیت و میکروگرنیت	ریولیت و سنگ های رسوبی	توفهای ریولیتی دگرسان شده و میان لایه هایی از ماسه سنگ، سنگ آهک دولومیتی و شیل	سنگ های آتشفشانی ریولیت تا ریوداسیت، سنگهای آتشفشانی رسوبی توف ریولیتی تا ریوداسیتی، شیل کرناته، کریستال توف، سنگ های رسوبی مارن ماسه ای و ماسه سنگ و تیخیری ها
ژئومتری کانسار	چینه سان(چینه سان و چینه کرن)	توده ای	لایه ای و عدسی مانند	توده ای، عدسی شکل و چینه سان	صفحه ای و عدسی شکل	دیک مانند، توده ای، نتشاری، رگه- رگچه ای
پارازنز	مگنتیت تینام و ونادیم دار همراه آپاتیت، هماتیت، کوزتز و کلریت	مگنتیت، آپاتیت، پیروکسن، کتینولیت، کلریت، اپیدوت و کرنات	مگنتیت، هماتیت، مقدار کمی آپاتیت، آلیت، اکتینولیت، کلریت، تائینیت	مگنتیت، هماتیت، غنی از آپاتیت، کتینولیت، اپیدوت، کلریت	مگنتیت، هماتیت، آپاتیت، مونازیت، پیریت، کاکوبیریت، کتینولیت، کوزتز، اپیدوت، کلریت	مگنتیت، آپاتیت، پیریت، هماتیت، اولیوئیت، گوتیت، لیمونیت، کوزتز، کلسیت و مسکوویت
دگرسانی	آلیتی، سیلیسی، کائولینیتی و سرسیتی، تورمالینی، کلریتی، اکتینولیتی، کرناتی	سدیک، پتاسیک	سدیک، پتاسیک، کتینولیتی	فلسپات پتاسیم، آمفیبولیتی، کرنات- کوزتز (پیدوت- کلریت- سرسیت)	سدیک، سدیک- کلسیک، پتاسیک	آرژنیک، سیلیسی، کرناتی، سرسیتی و اکسید آهن
تیپ	کایرونا	کایرونا	کایرونا	کایرونا	کایرونا	کایرونا
منبع	Daliran, 1990	کارگران بافقی، ۱۳۸۰	سپهری رده، ۱۳۷۹؛ بهزادی، ۱۳۸۵	Jami, 2006; Jami et al., 2007	Bonyadi et al., 2011	اطلاعات موجود در رساله حاضر

جدول (۸-۵) مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار مگنتیت- آپاتیت جزیره هرمز با کانسارهای آهن آپاتیت تیپ کایرونا در جهان.

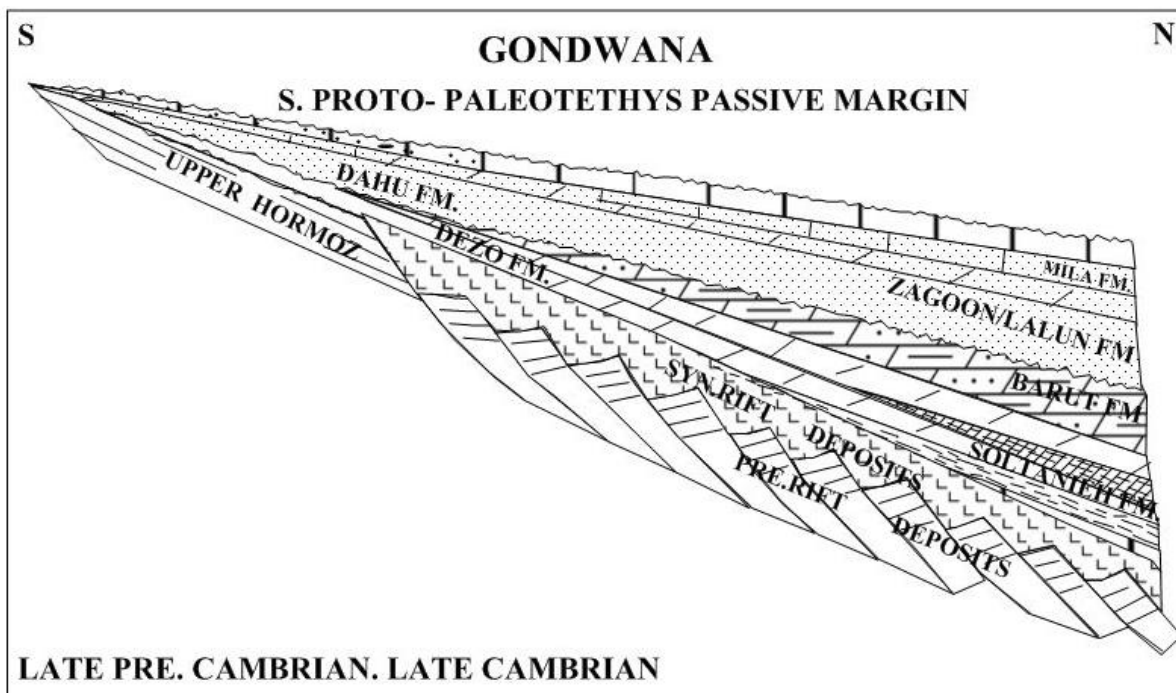
مشخصات	Abagong	Makou	Yangtze	آهن - آپاتیت هرمز
موقعیت جغرافیایی	حوضه آتشفشانی - رسوبی در کمربند کوهزایی یانگتزه در شرق چین	واقع در حوضه جنوبی کلانگ در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر آلتای	در حاشیه شمالی کر تون یانگتزه	جنوب غرب جزیره هرمز
محیط زمین ساختی	حوضه های آتشفشانی-رسوبی	کمان ماکمای	حوضه های آتشفشانی-رسوبی	حوضه‌های ریفیتی واقع در حاشیه فعال قاره گندونا
سنگ میزبان	متابولیت، متا فسلیک کوارتز، آمفیبولیت، گزئولیت، برش متاولکلنیک	کوارتز سینیت پورفیری، دیوریت	سنگ های ولکانیکی شامل لاو، برش های جریان، سنگ های پیروکلاستیک و ساب ولکانیک	ریوداسیت، شیل کربناته، کریستال توف
مجموع کانیایی	کوارتز، مگنتیت، آپاتیت، مسکوویت	مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، هماتیت، اسپیکولاریت، سرسیست، کوارتز، روتیل، تینتایت، آپاتیت، کلسیت، فلوگوویت، بیوتیت، کلریت، تالک	مگنتیت، پیریت، هماتیت، کالکوپیریت، لیمونیت، کوارتز، آپاتیت، آلیت، فلوگوویت، کلریت، کاتولینیت	مگنتیت، آپاتیت، پیریت، هماتیت، ولیزیت، گوتیت، لیمونیت، کوارتز، کلسیت و مسکوویت
عیار آهن	۴۴-۶۷٪		-----	۲۰/۴۸
عیار فسفر	۳-۱۰٪			۲-۱۶٪
ساخت و بافت	توده ای، انتشاری، نوری، برشی	توده ای، انتشاری، رگه - رگچه	انتشاری، لامینه ای، توده ای و برشی	دایک مانند، توده ای، انتشاری، رگه- رگچه ای
آلتراسیون	ترمولیت، کتینولیت، کلریت، اپیدوت، آلیت، پیریت	سرسیستی، کربناتی، کوارتزسولفیدی و آلیتی	آلیتی، کاتولینیتی، کلریتی، کربناتی و فلوگوویت	آرزیلیک، سیلیسی، کربناتی، سرسیستی و اکسید آهن
ساخت و بافت	عدسی و رگه - رگچه	عدسی و توده ای	توده ای و برشی	توده ای، رگه رگچه ای، دایک مانند و دته پرکنده
ویژگی های ژئوشیمی	مگنتیت با مقادیر جزئی از Ti، آپاتیت دارای مقادیر ضعیف تا متوسطی از LREE/HREE، آنومالی منفی Eu و غنی شدگی REE از ۲۰۰۰ تا ۷۰۰۰ ppm	تهی شدگی HREE نسبت به LREE، آنومالی ضعیف Eu، آنومالی مثبت قوی Sr، مقادیر بالای Fe و Ti	تهی شدگی HREE نسبت به LREE، آنومالی ضعیف Eu	مگنتیت با مقادیر بالای Ti، آپاتیت دارای غنی شدگی از LREE/HREE، آنومالی منفی Eu
تیپ	کایرونا	کایرونا	کایرونا	کایرونا
منبع	Fengmei Chai et al., 2014	Taofa Zhou et al., 2017	Jinjie Yu et al., 2011	تحقیق حاضر

بر اساس خصوصیات کانسارهای آهن نواری و آهن-آپاتیت ذکرشده در بالا و مقایسه این ویژگی‌ها با کانه‌زایی آهن نواری و آهن-آپاتیت منطقه، مشاهده می‌شود که کانسنگ‌های آهن نواری منطقه بیشترین شباهت را به کانسنگ‌های آهن نواری نوع آلوگما و کانسنگ‌های آهن-آپاتیت مشابه کانسنگ‌های نوع کایرونا می‌باشند.

۸-۴- ارائه مدل ژنتیکی برای کانسار اکسید آهن - آپاتیت جزیره هرمز

در انتهای پرکامبرین قاره‌ای واحد وجود داشته است. این قاره بزرگ در زمان پرکامبرین پسین تا کامبرین پیشین به بخشهای کوچکتر تقسیم شده است (لاسمی، ۱۳۷۹). بر اساس ماگماتیسزم همزمان

با پیدایش کافت زمان این جدایش ۵۵۵ تا ۶۲۵ میلیون سال پیش تعیین شده است. جدایی گندوانا که ایران بخشی از آن بوده است از اوراسیا منجر به تشکیل حاشیه واگرای پروتوپالئوتتیس در انتهای پرکامبرین شده است (شکل، ۸-۱). به احتمال قوی بخشی از سنگ‌های رسوبی و سنگ‌های آذرین همزمان با کافت در ریفت‌های سترون مانده نهشته شده‌اند (لاسمی، ۱۳۷۹). بخش بالایی سازند هرمز (هم ارز باروت و سلطانیه به گمان قوی در بخش نزدیک به ساحل این حاشیه واگرا در پهنه‌های جزر و مدی خشک نهشته شده است (شکل ۸-۱). بربریان و کینگ (۱۹۸۱) سنگ‌های ولکانیک دو گانه اسیدی و بازی (سازند هرمز) و هم ارز درونی آن‌ها را که توسط رخساره‌ها و سکانس‌های رسوبی سرانجام‌های پرکامبرین پوشیده شده‌اند، گواه بر گسترش پوسته ایران می‌دانند. پیدایش این ماگماتیسم دو گانه (اسیدی و بازی) در روند زمان پرکامبرین پسین در بسیاری از نقاط ایران نشانگر کششی پوسته قاره‌ای است که به پیدایش پهنه‌های کافتی انجامیده است.



شکل ۸-۱: مدل رسوبی سکانسی پیشنهادی برای پیدایش حاشیه واگرای پروتوپالئوتتیس در شمال گندوانا، نهشته سنگ‌های پرکامبرین بالایی و کامبرین (سازندهای سلطانیه، باروت، زاگون/الونو میلا) بعد از پیدایش کافت، در حاشیه جنوبی پروتوپالئوتتیس نهشته شده‌اند. رخساره‌های بخش‌های میانی و بالایی سازند کهر و هم‌ارزهای آن‌ها همزمان با پیدایش کافت پروتوپالئوتتیس پدید آمده‌اند (لاسمی، ۱۳۷۸).

تشکیل کانسار اکسید آهن-آپاتیت هرمز که مرتبط با این فرایندهای تکتونیکی می‌باشد شامل مراحل زیر می‌باشد:

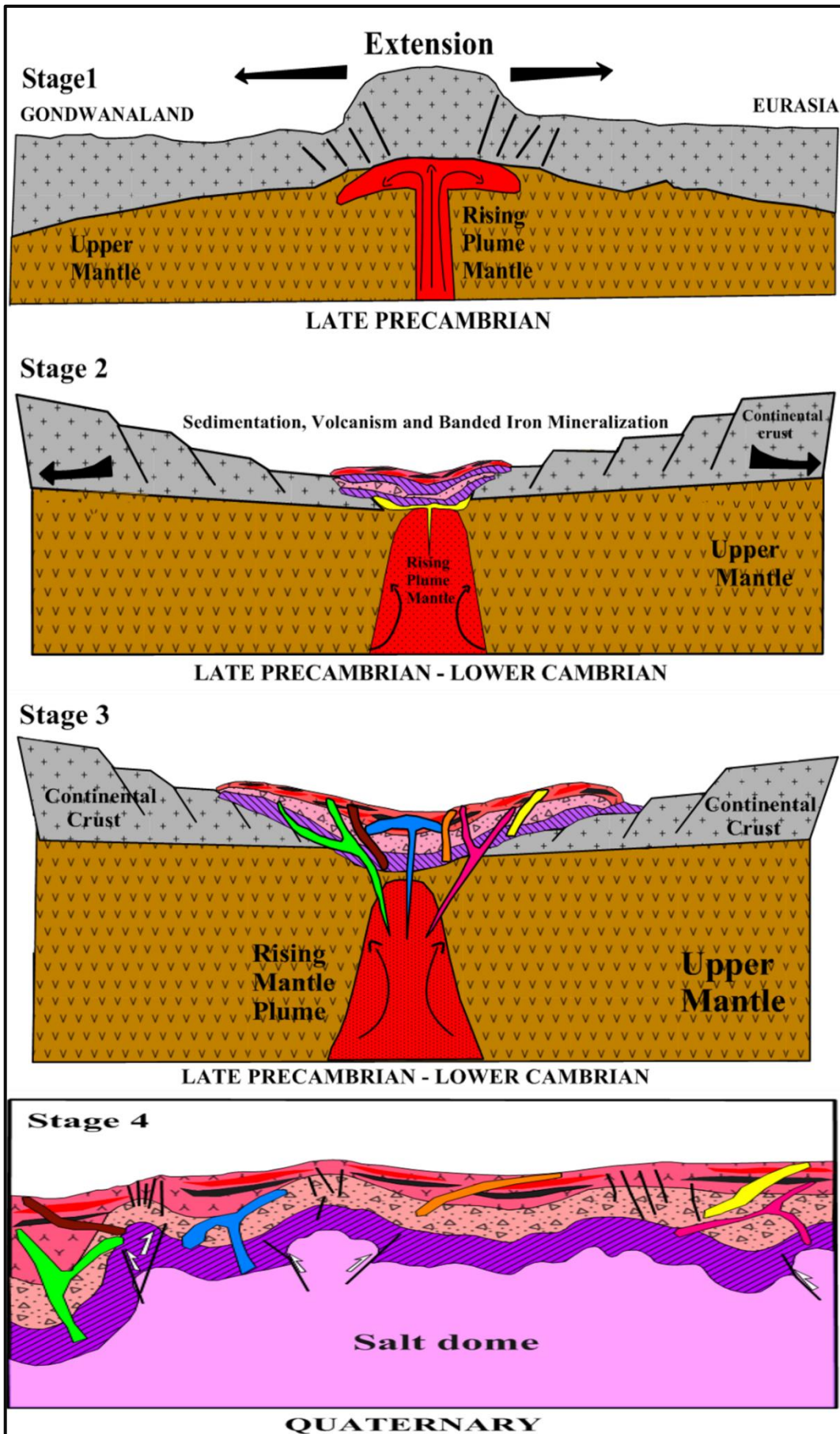
مرحله اول (بالا آمدگی پوسته قاره‌ای): در زمان پرکامبرین پسین سرزمین ایران بخشی از ابرقاره گندوانا بوده است، در حاشیه قاره گندوانا و در محدوده‌ی پوسته قاره‌ای ایران، گوشته فوقانی به دلیل ازدیاد حرارت دچار ذوب و بالا آمدگی شده و زمینه‌ی فرآیندهای تکتونیکی کششی در پوسته قاره‌ای را فراهم آورده است (شکل ۸-۲، مرحله اول).

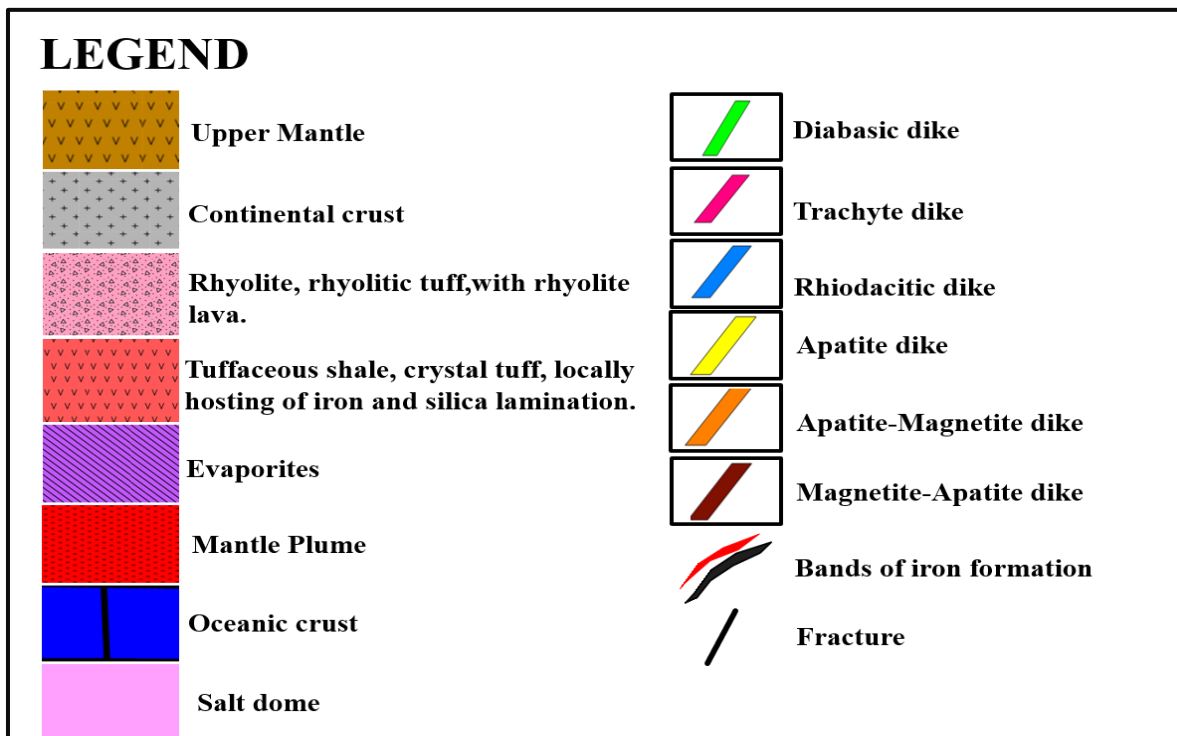
مرحله دوم (فعالیت‌های کششی و گسل‌خوردگی پوسته قاره‌ای): در این مرحله گسل‌خوردگی‌ها و فعالیت‌های کششی توسعه پیدا کرده و حوضه‌های رسوبی-آتشفشانی درون قاره‌ای تشکیل می‌شوند. پیامد این کشش منجر به فرونشست و تراوش ماگمای بازالتی به خارج می‌شود. ترکیب این نوع بازالت‌ها نیز از نوع آکالن است. در این زمان در بخش ساحلی حاشیه واگرای پروتوپالئوتتیس رسوبات تبخیری سازند هرمز نهشته شده‌اند (لاسمی، ۱۳۷۹). با توسعه ریفت درون قاره‌ای سری از سنگ‌های آتشفشانی، رسوبی و تبخیری در این حوضه‌ها نهشته می‌گردد. بخشی از کانه‌زایی آهن‌نواری بصورت همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی و رسوبی در این زمان شکل می‌گیرد. از مثال‌های شاخص این رخداد زمین‌شناسی در ایران می‌توان به بلوک بافق-پشت‌بادام و نیز منطقه هرمز را نام برد (شکل ۸-۲، مرحله دوم).

مرحله سوم، فعالیت‌های ماگمایی- گرمایی: مرحله فعالیت‌های آتشفشانی در حوضه‌های رسوبی درون-قاره‌ای به تدریج به فعالیت‌های ماگمایی و نفوذی تغییر می‌یابند (درویش زاده، ۱۳۷۰). در این نوع محیط‌های زمین‌ساختی، ماگمای مادر ترکیب مافیکی آکالن دارد و غنی از آب، مواد فرار و عناصر ناسازگار می‌باشد. توده‌های آذرین نفوذی مافیک تا فلسیک و دایک‌های دیابازی-تراکیتی و ریوداسیتی در طول تبلور بخشی ماگمای مافیکی اولیه ایجاد می‌شوند. به موازات تشکیل توده‌ها و دایک‌های مافیک تا فلسیک، مذاب‌های غنی از آهن، فسفر و عناصر ناسازگار، عدسی - دایک و رگه‌های

مگنتیتی، مگنتیت-آپاتیتی و آپاتیتی را شکل داده‌اند. کانه‌زایی‌های مگنتیت-آپاتیت به مثابه‌ی فازهای تأخیری، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی میزبان و حتی آهن‌های نواری، توده‌های آذرین مافیک تا فلسیک را قطع نموده‌اند. بنابراین هم‌یافتی دو تیپ کانه‌زایی آهن‌نواری و آهن-آپاتیت با این مدل توجیه می‌گردد (شکل ۸-۲، مرحله سوم).

در نهایت پس از تشکیل سری هرمز و واحدهای آذرین به دلیل فعالیت گنبد‌های نمکی و گسل‌ها، سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی، نفوذی‌ها و کانسنگ‌ها در سطح زمین نمایان و متحمل فرآیندهای هوازدگی و فرسایش را متحمل گردیده و مورفولوژی عهد حاضر را پیدا نموده‌اند (شکل ۸-۲، مرحله چهارم).





شکل ۸-۲: مراحل مختلف تشکیل کانسار آهن نواری و آهن-آپاتیت جزیره هرمز، مرحله اول (بالا آمدگی پوسته قاره- ای) Stage1، مرحله دوم (توسعه فعالیت‌های کششی و گسل خوردگی پوسته قاره‌ای) Stage2، مرحله سوم، فعالیت‌های ماگمایی- گرمایی Stage3، و در نهایت دیاپیریسم، هوازدگی و فرسایش Stage4.

۸-۵- پیشنهادها

- ۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱/۱۰۰۰ از محدوده کانه‌زایی.
- ۲- حفر ترانشه‌های اکتشافی بر روی کانه‌زایی‌های آهن و آهن - آپاتیت در مناطقی که کانه‌زایی توسط خاک سطحی پوشیده شده است.
- ۳- نمونه‌برداری سیستماتیک از ترانشه‌ها برای اهداف سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی - دگرسانی و ژئوشیمیایی.
- ۴- انجام مطالعات ژئوفیزیکی به روش مگنتومتري جهت بررسی گسترش احتمالی آهن در عمق.
- ۵- تلفیق یافته‌های زمین‌شناسی و اکتشافی سطحی با یافته‌های ژئوفیزیکی و حفر گمانه‌های آزمایشی.
- ۶- نمونه‌برداری از گمانه‌های اکتشافی برای اهداف زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و معدنی.

کارهای تحقیقاتی

- ۱- تکمیل مطالعات میانبارهای سیال بر روی نسل‌های مختلف آپاتیت در کانسنگ‌های آهن - آپاتیتی منطقه و در صورت امکان تجزیه شیمیایی میانبارهای سیال با استفاده از روش‌های دستگاهی پیشرفته.
- ۲- تجزیه شیمیایی نقطه‌ای بر روی کانی‌های هماتیت، اولیژیست، مگنتیت و آپاتیت از کانسنگ‌های آهن نواری و آهن - آپاتیت ماگمایی با استفاده از دستگاه میکروپروب.
- ۳- ایزوتوپ‌های اکسیژن بر روی کانی‌های اکسیدی مثل اولیژیست و مگنتیت برای تعیین منشأ سیال کانه‌ساز و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار.

منابع فارسی:

- احمدزاده هروی، (۱۳۶۹)، مجموعه مقاله سمپوزیوم دیاپیریسیم در ایران مفاهیم جدیدی از چینه‌شناسی جزیره هرمز.
- الیاسی ج، امین سبحانی ا، بهزاد ع، معین وزیری ح، میثمی ع، زمین‌شناسی جزیره هرمز، مجموعه مقالات دومین سمپوزیوم زمین‌شناسی ایران، (۱۳۵۵)، صفحه ۷۲-۳۱.
- آقاناتی، ع، (۱۳۸۵)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحه ۵۸۶. درویش زاده، ع، - ۱۳۶۲ بررسی فسفات بافق (اسفوردی). مجله علوم دانشکده علوم دانشگاه تهران، شماره ۱۳، جلد ۱، صفحات ۲ - ۲۴.
- رستمی، ع، بازآمد، م، حاج علیلو، ب، و مؤذن، م، (۱۳۹۳)، "بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در آپاتیت های جزیره ی هرمز، استان هرمزگان"، مجله زمین شناسی اقتصادی، شماره ۱، جلد ۶، صفحه ۷۱ تا ۸۵.
- سامانی، ب، ۱۳۷۷- فلززایی پرکامبرین در ایران مرکزی (بخش اول). نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۱۷، صفحات ۱۶-۱.
- سامانی، ب، ژوئی، چ، سوتائو، گ، و گوان، ت، ۱۳۷۲ - زمین شناسی پرکامبرین در ایران مرکزی از دیدگاه چینه نگاری، ماگماتیسیم و دگرگونی. فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۰، صفحات ۴۳-۴۰.
- عابدیان، ن، ۱۳۶۲- اکتشاف مقدماتی رخنمون های آپاتیت در منطقه بافق - پشت بادام. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۲ صفحه.

- فرامرزی، ن.، امینی، ص.، مرتضوی، م.، (۱۳۹۴)، مطالعه میانبارهای سیال کوارتز و آپاتیت در جزیره هرمز (جنوب ایران)، مجله پترولوژی، سال هفتم، شماره بیست و ششم، تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۶۵-۷۸.
- مختاری، م.ع.ا.، امامی، م.ه.، و رحمانی، ش.، ۱۳۸۲- کانه‌زایی عناصر نادر خاکی در منطقه بافق - پشت‌بادام. بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی اکتشافات معدنی کشور.
- مطیعی، ه.، (۱۳۷۲)، زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، چاپ اول، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نبوی، سبزه‌ای م.، (۱۳۶۹)، مفاهیم جدیدی از چینه‌شناسی سازند هرمز و مسئله دیاپیریسم در گنبد نمکی جنوب ایران، مجموعه مقالات سمپوزیوم دیاپیریسم.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.

References:

- Alexander, B.W., Bau, M., Andersson, P., and Dulski, P., 2008, Continentally-derived solutes in shallow Archean seawater: rare earth element and Nd isotope evidence in iron formation from the 2.9 Ga Pongola Supergroup, South Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, 378–394.
- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G. (2000) Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of volcanology and geothermal Research* 102: 67-97.
- Alibo, D.S. and Nozaki, Y., 1999, Rare earth elements in seawater: particle association, shale-normalization, and Ce oxidation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 363–372.
- Ala, M.A., 1974. Salt diapirism in southern Iran. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 58, 1758–1770.
- Basta, F.F., Maurice, A.E., Fontbote, L., and Favarger, P.-Y., 2011, Petrology and geochemistry of the banded iron formation (BIF) of Wadi Karim and Um Anab, Eastern Desert, Egypt: implications for the origin of Neoproterozoic BIF. *Precambrian Research*, 187, 277–292.

- Bau, M. and Dulski, P., 1996, Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa. *Precambrian Research*, 79, 37–55.
- Bekker, A., Slack, J.F., Planavsky, N., Krapež, B., Hofmann, A., Konhauser, K.O., and Rouxel, O.J., 2010, Iron formation: the sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, oceanic, and biospheric processes. *Economic Geology*, 105, 467–508.
- Bolhar, R., Kamber, B.S., Moorbath, S., Fedo, C.M., Whitehouse, M.J., 2004. Characterisation of early Archaean chemical sediments by trace element signatures. *Earth Planet. Sci. Lett.* 222, 43–60.
- Bau, M., Dulski, P., 1999. Comparing yttrium and rare earths in hydrothermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge: implications for Y and REE behaviour during near-vent mixing and for the Y/Ho ratio of Proterozoic seawater. *Chem. Geol.* 155, 77–90.
- Bodnar, R.J., 1994- Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions. In: Samson, I., Anderson, A. and Marshal, D. (Eds.), *Fluid Inclusions: Analysis and interpretation*. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, V. 32, P. 81-100.
- Bostrom, K., 1973. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments. *Stockh. Contrib. Geol.* 27, 149–243.
- Bosak, P., Jaros, J., Spudil, J., Sulovsky, P., Vaclavek, V., 1998. Salt Plugs in the Eastern Zagros, Iran: Results of Regional Geological Reconnaissance. *Geolines*, Institute of Geology, Academy of Sciences of the Czech Republic.
- Bahroudi, A. & Talbot, C. J., 2003- The configuration of the basement beneath the Zagros basin. *Journal of Petroleum Geology*, 26 (3), 257-282.
- Blanford, W. T., 1972, "Note on the geological formations seen along the coasts of Biluchistan and Persian Gulf and on some of the Gulf island", *Rec. G.S.I., Indian*: 41-45.
- Bruthans J, Filippi M, Slechta S, Churackova Z (2009) Surficial deposits on salt diapirs (Zagros Mountains and Persian Gulf Platform, Iran): characterization, evolution, erosion and the nfluence on landscape morphology. *Geomorphology* 107:195-209
- Danielson, A., Moller, P., and Dulski, P., 1992, The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust. *Chemical Geology*, 97, 89–100.

-Dymek, R.F., Klein, C., 1988. Chemistry, petrology and origin of banded iron-formation lithologies from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland. *Precambrian Res.* 39, 247–302.

-Daliran F. 1990- The magnetite- apatite deposit of Mishdovan, east central Iran. An alkali rhyolite hosted 'Kiruna- type' occurrence in the infracambrian Bafq metallotect; Ph.D. thesis, Univ. of Heidelberg, Geowiss. Abhandl. 37. 248p.

-Dill, H. G., 2010- The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth Science Reviews* 100: 1-420.

Evans, A. M., 1997, *An Introduction to Economic Geology and Its Environmental Impact*: Blackwell Science. 364 p.

-Evans, A.M., 1993, *Ore geology and industrial minerals an introduction*: Blackwell, Sci: Pub. 389 pp.

-Förster H.J. and Jafarzadeh A. 1994- The chador Malu iron ore deposit, Bafq district, central Iran, magnetite filled pipes; *Neues. Jahrb. Palaont. Abh.*, V.168, P.524-534.

-Ferkous K. Leblanc M. (1995) "Gold mineralization in the West Hoggar shear zone" *Algeria, Min. Dep.*, 30, pp 211-224.

-Frietsch, R., and Perdahl, J.A., 1995- Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore type. *Ore Geology Reviews*, V.9, P.489-510.

-FORST, M. 1976. Tektonik und Diapirismus der östlichen Zagrosketten. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 127, 183-225.

-Frietsch R., Perdahl J. A., “Rare earth elements in apatite and magnetite in iron type iron ores and some other iron ore types”, *Ore Geology Reviews* 9 (1995) 489-510.

-Ghazban, F., Motiei, H., 2007. *Petroleum Geology of the Persian Gulf*. Tehran University and National Iranian Oil Company, Iran, p. 707.

-GANSSER, A. 1992. The enigma of the Persian dome inclusions. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 85, 825-846.

-Ghazban, F., and Al-Aasm, I. S., 2010. Hydrocarbon-induced diagenetic dolomite and pyrite formation associated with the Hormuz Island salt dome, offshore Iran. *Journal of Petroleum Geology* 32, 1-14.

- Guilbert, J. M. and Park, Jr. C. F., 1997, *The Geology of Ore Deposits*, Freeman and company, New York, 985p.
- Gandhi S. S., Bell R. T., “Kiruna/Olympic Dam-type iron, copper, uranium, gold, silver”, in *Geology of Canadian mineral deposit types* (eds.) O.R. Eckstrand, W.D.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A., Mitchell, S.F., 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th–Co discrimination diagram. *Journal of Petrology* 48, 2341–2357.
- Hitzman, M. W. Oreskes, N., Einaudi, M.T., (1992) . geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic Iron oxide (Cu-U-Au-LREE) deposits. *Precambrian research*, vol. 58, pp. 241-287.
- Hitzman, M. W. (2000) . Iron oxide-Cu-Au deposits,.What,Where,When and Why ,in Porter ,T.M.(ed),*Hydrothermal Iron oxide Copper-Gold and related Deposits: A Global perspective* Australian Mineral Foundation. Adelaide,vol. 1, 9-25.
- Haynes, D.W., Cross, K.C., Bills, R.T. and Reed, M.H., 1995, Olympic Dam ore genesis: A fluid mixing model, *Econ. Geol.*, v. 90, p. 281-307.
- Hildebrand R. S., “Kiruna type deposits: their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear magmatic zone, northwest Canada”, *Economic Geology* 81 (1986) 640-659.
- Haas J. L. (1971) "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure" *Econ. Geology.*, 66, 6, pp 940-946.
- Haas J. L. (1976) "Thermodynamic properties of the coexisting phases and thermodynamic properties of the NaCl component in boiling NaCl solutions" *U.S. Geol. Survey Bull.*, 1421-B, pp 71.
- Jami M. 2005- *Geology, geochemistry and evolution of the Esfordi phosphate- iron deposit, Bafq area, central Iran*; Unpublished Ph.D. thesis, University of South Wales, 403p.
- James, H. L., 1996, *Chemistry of the Iron – rich Sedimentary Rocks*. 61 p. (United States Geological Survey, Professional Paper 490w).

- Kato, Y., Kawakami, T., Kano, T., Kunugiza, K., and Swamy, N.S., 1996, Rare-earth element geochemistry of banded iron formations and associated amphibolite from the Sargur belts, south India. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 14, 161–164.
- Klein, C., 2005. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origins. *Am. Mineral.* 90, 1473–1499.
- Kent, P.E., 1970. The salt of the Persian Gulf region. *Transactions of the Leicester Literary and Philosophical Society* 64, 56–88.
- Lentz D. R. (1994) "Exchange reactions in hydrothermally altered rocks: examples from biotite-bearing assemblages" In Lentz, D.R., ed., *Alteration and Alteration Processes* Hvi hhhNotes., 11, pp 69-99.
- McLennan, S., 1989, Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 21, 169–200.
- Mokhtari, M.A.A. and Emami, M.H., 2008- REE pattern and REE mineralization in apatite-magnetite deposits of Bafq-Saghand district (Central Iran). *Geosciences, Scientific Quarterly Journal, Special Issue*, V. 17, P. 162-169.
- Mokhtari, M.A.A. and Ebrahimi, M., 2015- Geology and Geochemistry of homeijan Magnetite- Apatite Deposit (SW Behabad, Yazd province). *Geochemistry Journal*, V. 2, N. 2, P. 20-27.
- Mokhtari, M.A.A., Emami, M.H. and Hosseinzadeh, Gh., 2013- Genesis of iron-apatite ores in Posht-e-Badam Block (Central Iran) using REE geochemistry. *Journal of Earth System Sciences*, V. 122, P. 795- 803.
- Mikucki E. J. (1994) "Hydrothermal transport and depositional process in Archean lode gold systems" a review. *Ore Geol. Rev.*, 10, pp 31-50.
- Nystrom, J. O. and henriquez, R., (1994). magmatic features of iron ores of the kiruna type in chile and widen: ore textures and magnetite geochemistry. *Economic geology*, vol. 89, pp. 820-839.
- Pilgrim, G.E., 1908. The geology of the Persian Gulf and the adjoining portion of Persia and Arabia. *Memoirs of the Geological Survey of India* 34, 1–177.
- Pilgrim, G.E., 1924. The geology of parts of the Persian provinces Fars, Kirman and Laristan. *Memoirs of the Geological Survey of India* 48, 89–111.

- Pilgrim, G.E., 1908. The geology of the Persian Gulf and the adjoining portion of Persia and Arabia. *Memoirs of the Geological Survey of India* 34, 1–177.
- Pirajno F. (1992) "Hydrothermal mineral deposits" Springer-Verlag Berlin Heidelberg., pp. 709.
- Pirajno, F., 1992, Hydrothermal mineral deposits, principle and fundamental concept for the exploration geologist. Springer, 706 p.
- Rollinson H.R. 1993: Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Harlow, Essex, England.
- Rollinson, H. (1993) Using Geochemical data: Evolution, presentation, interpretation. Longman Scientific and Technical, London.
- Richardson, R.K., 1924. The geology and oil measures of southwest Persia. *Journal Institute Petroleum Technology*, 10: 256-283.
- Roedder, E., (1984). Fluid inclusions as tools in mineral exploration. *Economic geology*, vol. 72, pp. 503-525.
- Richardson, R. K., 1926, "Die Geologie und die Salzdome im sudwestlichen Teil des persischen Golfes", *erhandlung Naturhistorische Medizin Verein Heidelberg (NF)*, Nummer 15, 51 Seite.
- Schandl, E.S., Gorton, M.P., 2002. Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. *Economic Geology* 97, 629–642.
- Stern, R.J., Mukherjee, S.K., Miller, N.R., Ali, K., Johnson, P.R., 2013. ~750 Ma banded iron formation from the Arabian-Nubian shield – implications for understanding neoproterozoic tectonics, volcanism, and climate change. *Precambrian Res.* 239, 79–94.
- Samadian M.R., 1990. Evidence of late Cenozoic movements of the Zagros salt domes. - *Proc.Symp. on Diapirism with Special Reference to Iran*, Vol. 1, 324. *Geol. Surv. Iran*. Tehran.
- Schröder, S., Schreiber, B.C., Amthor, J.E., Matter, A., 2003. A depositional model for the terminal Neoproterozoic–Early Cambrian Ara Group evaporites in south Oman. *Sedimentology* 50, 879–898.

-Sinclair, and R.I. Thorpe”, Geological Survey of Canada, Geology of Canada, 8 1996) 513- 522 (also Geological Survey of America, The geology of North America).

-Sourirajan S. and Kennedy G. C. (1962) "The system H₂ONaCl at elevated temperatures and pressures" Am. Jour. Sci., 260, pp 115-141.

-Shepherd T Rankin, A.H. Alderton D.H.M. (1985) "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies" Blackie, USA Chapman & Hall New York., pp. 239.

-Thompson A.B. 1982: Magmatism of the British Tertiary volcanic Province, Scott. *J. Geol.* 18: 50–107.

-Talbot, C.J., & Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros. In: G.L. Alsop, D.L. Blundell, & I. Davison, eds., Salt tectonics: Geol. Soc. Spec. Publ., 100, 89-109.

-Wang, C., Zhang, L., Lan, C., and Dai, Y., 2014, Petrology and geochemistry of the Wangjiazhuang banded iron formation and associated supracrustal rocks from the Wutai greenstone belt in the North China Craton: implications for their origin and tectonic setting. *Precambrian Research*, 255, 603–626.

-Wonder, J.D., Spry, P.G., and Windom, K.E., 1988, Geochemistry and origin of manganese-rich rocks related to iron-formation and sulfide deposits, western Georgia. *Economic Geology*, 83, 1070–1081.

-Wu, F., Yang, J., Liu, X., Li, T., Xie, L., and Yang, Y., 2005, Hf isotopes of the 3.8 Ga zircons in eastern Hebei Province, China: implications for early crustal evolution of the North China Craton. *Chinese Science Bulletin*, 50, 2473–2480.

-Wilkinson J. J. (2001) "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits" *Lithos.*, 55, pp 229-272.

Shepherd T Rankin, A.H. Alderton D.H.M. (1985) "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies" Blackie, USA Chapman & Hall New York., pp. 239.

-Xu, D.R., Wang, Z.L., Chen, H.Y., Hollings, P., Jansen, N.H., Zhang, Z.C., Wu, C.J., 2014. Petrography and geochemistry of the Shilu Fe–Co–Cu ore district, South China: Implications for the origin of a Neoproterozoic BIF system. *Ore Geol. Rev.* 57, 322–350.

Abstract

Study area is located in the Hormozgan province, folded Zagros zone and is a part of the Hormuz series. The rock unit including sequences of rhyolite-rhyodacite lava and tuff, tuffaceous shale, crystal tuff, shale, sandstone, iron, iron-apatite ore and evaporites (Upper Precambrian-Lower Cambrian) and sandstone, marl, sandymarl, sandy lime of Aghajari Formation (Miocene). Field studies, petrography and mineralogy display the presence of argillic, silicic, sericitic, carbonate and iron oxide alterations. The ore minerals composed of magnetite, olivine, hematite, goethite, limonite and apatite and gangue materials are quartz, calcite, muscovite, jaspilite, anhydrite, gypsum and halite. The main structure and texture of mineralization is observed as banded, massive, dyke, vein-veinlets, disseminated and breccia forms. Based on the rock geochemistry, the igneous rocks are more felsic and have a calc-alkaline to high calc-alkaline, shoshonitic and metaluminous, and formed in the rift basins related to the active continental margin of Gondwana lands. Iron mineralization is occurred as two types in this area: In first case, iron oxides (olivine and hematite) are as alternating banded with iron-bearing silica (Jaspilite) in tuffaceous shale, which indicate their sedimentary origin. In the second case, iron ores together with apatite are dyke, lens and vein-veinlets forms in rhyodacite and tuffaceous shale, which display that magmatic-hydrothermal origin. The later form, depending on the iron oxides and apatite contents dividing into three types: apatite-magnetite, magnetite-apatite and apatite ores. The REE grade (about 3%) is considerable in the apatite ores. The chondrite-normalized REE pattern in the magnetite-apatite ores show that LREE/HREE enrichment and negative Eu anomaly. The PAAS-normalized REE pattern in the banded iron ore indicate LREE/HREE enrichment, positive Eu anomaly and slightly negative Ce anomaly. The classification of iron ore deposits based on the Ti, Ni, V, Fe values, the Hormuz banded iron ore located in the BIF area. The fluid inclusions studies on apatite from iron-apatite ore have a homogenization temperature of 312.7 to 565°C (408.82°C) and salinity of 14.87 to 33.87 (22.98) wt% NaCl. Based on the homogenization temperature and salinity of the fluid inclusions, iron-apatite mineralization occurred at a pressure 200-700 bars, and depth 1-2 km (1.5 km in average). The fluid inclusions investigations on quartz from banded iron ore show homogenization temperatures 180.7 to 369.8 (259 °C) and salinity of 2.24 to 12.85 (6.55) wt% NaCl. Finally, based on the geology, mineralogy, geochemistry and fluid inclusions microthermometric features, the Hormuz banded iron and iron-apatite ores are similar to the Algoma type BIF and the Kiruna type iron ores, respectively.

Keywords: Mineralogy, geochemistry, fluid inclusion, BIF mineralization, magmatic iron-apatite mineralization, Hormuz Island.



Shahrood University Technology

Faculty of Geosciences

M.Sc Thesis in Earth Sciences

**Economic geology and geochemistry of H4 unit of the
Hormuz series, Hormuz Island**

By: Atefe Fakhri Doudoi

**Supervisor:
Dr. Masoud AlipourAsll**

September 2018