



## زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی کانسار باریت مشکان، شمال شرقی سبزوار، استان خراسان رضوی

صدیقه زیرجانی زاده<sup>\*</sup>، حمید حافظی مقدس<sup>۲</sup>

۱- مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۲/۹، نسخه نهایی: ۹۸/۵/۲۲)

**چکیده:** کانسار مشکان در شمال شهرستان سلطان آباد، سبزوار، و شمال غربی روستای مشکان در استان خراسان رضوی قرار دارد. این منطقه از نظر جایگاه زمین‌ساختی در مرز بین پهنه البرز شرقی، پهنه بینالود و شمال پهنه افیولیتی سبزوار واقع است. زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های رسوبی ماسه سنگ، سنگ آهک، کنگلومرا، شیل، مارن و واحدهای آتشفشانی ائوسن است. کانی‌سازی باریت به صورت رگه - رگچه‌ای و با روند بیشتر شمال غربی - جنوب شرقی واحدهای سنگی منطقه را قطع کرده است. کانی‌ها شامل باریت، کوارتز، کلسیت، گالن و کانی‌های ثانویه گوتیت، لیمونیت و مالاکیت هستند. شش نوع مختلف رگه - رگچه قابل تفکیک است. کوارتز کانی اصلی باطله در کانسار است. مقدار اکسید باریم در رگه‌ها از ۱۸/۵ تا ۶۲/۰۶ درصد متغیر است. کمترین دمای تشکیل باریت‌ها ۲۳۵ تا ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و از محلولی دارای نمک‌های NaCl و CaCl<sub>2</sub> با درجه شوری ۲۰/۶۷ تا ۲۱/۴ درصد وزنی نمک طعام بوجود آمده‌اند. براساس شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی، باریت‌ها از نوع گرمابی هستند.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌شناسی؛ باریت؛ مشکان؛ پهنه بینالود، سلطان آباد.

### مقدمه

گیری باریت نقش بسزایی داشته باشند. بزرگترین کانسارهای باریت ایران در پهنه‌های ساختاری البرز مرکزی و ایران مرکزی دیده شده و سنگ میزبان آنها اغلب دولومیت یا سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی است [۸-۱۰]. حدود ۱۰۰ کانسار و منطقه اکتشافی باریت در ایران وجود دارد که ذخایر آن به حدود ۱۰ میلیون تن می‌رسد [۱۱]. سن سنگ میزبان این کانه‌زایی‌ها از اواخر پرکامبرین تا میوسن متغیر است [۱۲]. با تولید سالانه ۳۳۰ هزار تن، ایران پنجمین تولیدکننده مهم باریت در دنیا محسوب می‌شود [۱۳].

کانسار باریت مشکان در ۲۰ کیلومتری شرق شهرستان سلطان آباد در استان خراسان رضوی و بین طول‌های جغرافیایی "۱۸' ۰۶" ۵۸° تا "۱۱' ۰۹" ۵۸° و عرض‌های جغرافیایی "۱۰۲' ۳۶" ۳۶° تا "۳۳' ۳۸" ۳۶° واقع است

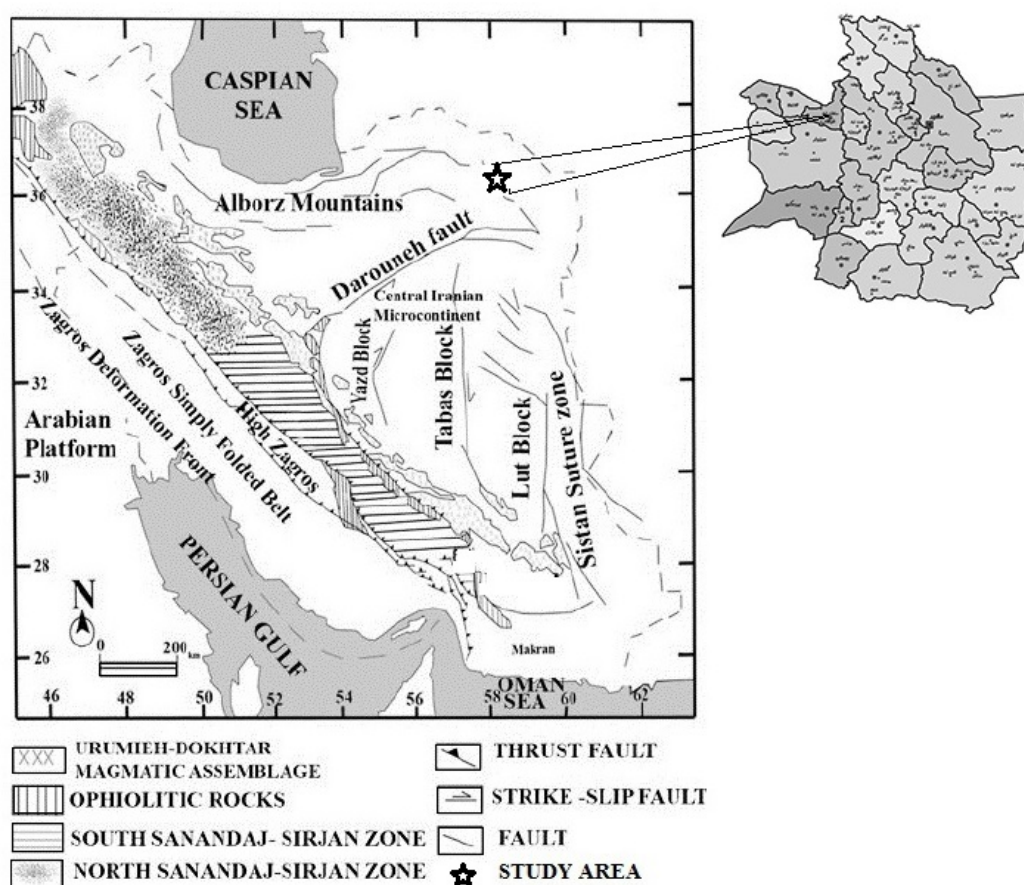
باریم یک عنصر به نسبت فراوان در پوسته زمین است و در غلظت ۲۰۰-۵۰۰ ppm در بیشتر سنگ‌ها وجود دارد. باریت با خاستگاه‌های گوناگون از جمله ماگمایی [۱]، دگرگونی [۲]، محلول‌های گرمابی حوضه رسوبی [۳] و همچنین آب‌های اقیانوسی قدیمی و جدید [۴] دیده می‌شود. ذخایر باریت می‌توانند به صورت‌های متعددی از جمله سرد شدن محلول، آمیختگی دو یا چند سیال، واکنش شدید سنگ با سیال و فرآیندهای برآمده از باکتری‌ها شکل بگیرند. سازوکار معمول تشکیل این کانی، آمیختگی و واکنش بین سیال‌های غنی از باریم و سولفات در محیط خشکی و آب دریاست. بررسی سیال‌های درگیر [۶،۵] و همچنین بررسی زمین‌شیمی عناصر خاکی نادر [۷] می‌توانند در تعیین خاستگاه و چگونگی شکل

واحدهای سنگی و رگه‌های باریت در منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۱۵/۸۶ کیلومترمربع انجام شد. تعداد ۱۲ رگه در این منطقه شناسایی شد. به منظور شناسایی کانی، تعداد ۴ نمونه به روش پراش پرتوی X (XRD) (جدول ۱) در آزمایشگاه کانسارهای بلورین آمتیس تجزیه شد. برای بررسی زمین‌شیمی اکسیدهای اصلی رگه‌ها، تعداد ۱۰ نمونه به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی X آزمایش شدند (جدول ۲) و (XRF) همچنین وزن مخصوص ۷ نمونه باریت نیز اندازه‌گیری گردید.

(شکل ۱) [۱۴]. منطقه مورد بررسی از نظر تقسیمات ساختاری در بخش غربی پهنه بینالود قرار دارد. هدف از انجام این پژوهش بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و تفکیک انواع رگه‌های باریت موجود در منطقه و تعیین ماهیت زمین‌شیمیایی رگه‌ها براساس نتایج تجزیه اکسیدهای اصلی در کانسار باریت مشکان بوده است.

### روش پژوهش

به منظور بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی و زمین‌شیمی ماده معدنی، نخست بازدیدهای صحرایی و نمونه‌برداری از



شکل ۱ نقشه زمین‌ساختی ایران، خراسان رضوی و جایگاه منطقه مورد بررسی بر روی آن‌ها.

جدول ۱ نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌های مورد بررسی

شماره نمونه	فاز اصلی	فاز فرعی
47404d	باریت، کلسیت و کوارتز	گوتیت، انکرتیت
47408d	باریت، گوتیت	کوارتز
47410d	هماتیت، کلسیت، کوارتز و باریت	
47412d	پیرولوویت، کوارتز، آلبیت و کلسیت	

جدول ۲ اکسیدهای اصلی کانسار باریت مشکان (%wt.)

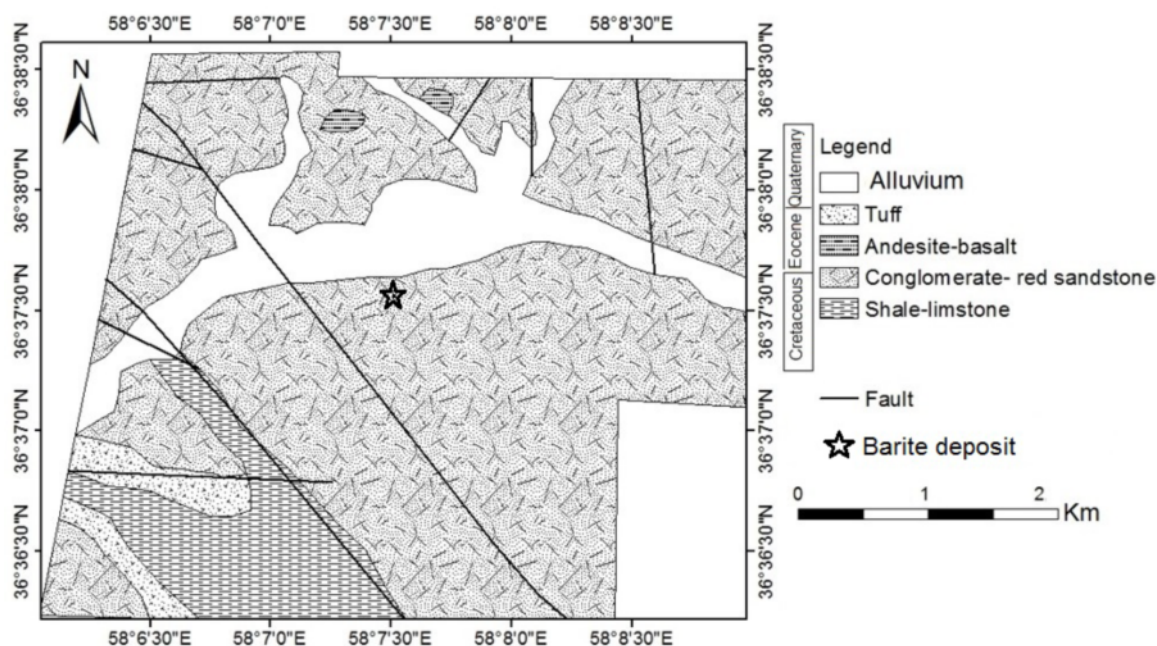
No.	47411	38156-YM1	222	38426	212	221	210	211	208	209	216	215	214	213	219	220	217	218	
SrO	۱۳		۱۳۳	۱۰۱	۱۰۷	۰۷۴	۰۹۹	۲۷۱	۰۶۶	۰۶۲	۱۰۱	۱۹۸	۰۹۹	۱۷۱	۱۰۱	۰۷۳	۰۷۴	۰۶	
Bao	۵۸		۲۹	۵۹۴۴	۳۶	۶۲۱	۴۹	۵۶۵	۲۳۳	۲۳۹	۳۷۷	۴۵۶	۴۹۶	۶۰۳	۵۰۶	۳۳۱	۵۲۲	۵۶۸	
So <sub>3</sub>	۳۱۳	۷۳۹	۱۶۱۷	۳۱۸۱	۱۹۶	۱۷۸	۲۶۳	۳۱۶	۱۷۹	۱۳	۲۰۵	۲۵۴	۲۶۷	۳۲۸	۲۷۲	۱۷۹	۲۷۸	۱۴۵	
SiO <sub>2</sub>	۱۶۸	۳۶۸	۱۹۸۶	۲۳۷	۷۲	۱۱	۱۱	۲۵	۱۶	۳۷	۲۱	۸۷۱	۱۵	۲۶	۷۷	۳۸	۱۱۲	۴۵	
TiO <sub>2</sub>	۰۴۷	۰	۰۴۲		۰۵	۰۵	۰۵	۰۷	۰۵	۰۳	۰۶	۰۵۱	۰۶	۰۶	۰۶	۰۵	۰۵۳	۰۵	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰۰۷	۰۸۲	۰۷۳	۰۶۵	۰۵	۰۳	۰۲		۰۶	۰۱	۲۳	۰۲۲	۰۴۳		۰۱۹	۱۹	۰۳	۲۳	
FeO																			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۵۰۴	۲۸۴	۵۷۳	۰۲۴	۷۴	۴۶۳	۵۱	۳۹	۴۹	۵۳	۵۶	۴۷	۲۱	۰۴	۶۸	۱۸	۴۶۴	۳۸	
MnO	۰۰۸	۰۲۱	۰۰۸		۰۲	۰۱	۰۱	۰۱	۰۱	۰۱	۰۱	۰۰۷	۰۲	۰	۰۱	۰	۰۰۶	۰۱	
MgO	۰۲۱	۳۵۵	۲۰۵۳	۰۲۹	۲۳	۰۴	۰۴	۰۳	۱۷	۰۴	۵	۸۹۱	۰۴	۰۲	۰۴	۰۷	۰۴۲	۱۴	
CaO	۰۱	۴۲	۱۱۱۲	۱۶۳	۱۲	۰۲	۲۵	۰۴	۳۳	۲۸	۲۴	۱۲۱	۲۹	۰۴	۲۱	۱۷	۰۱۵	۱۲	
Na <sub>2</sub> O	۰۴۵	۰۱۶	۰۱۶	۰۶	۰۳	۰۵	۰۳	۰۴	۰۲	۰۱	۱	۰۳۱	۰۳		۰۴	۰۹۷	۰۴۷	۰۷۱	
K <sub>2</sub> O	۰۰۶	۰۱۸	۰۰۱	۰۰۷	۰۲	۰۱	۰۱		۰	۰۱	۰۲		۰۱		۰۱	۰۶۷	۰۰۵	۰۶۹	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		۰۰۳	۰۰۳		۰۱	۰۱	۰	۰	۰		۰۱	۰۰۲	۰	۰	۰	۰۱۰	۰۰۶	۰۱۶	
LoI	۱۳	۳۷۳	۴۵۲	۱۹	۱۲	۱۵	۳۵	۱	۵	۲۴	۲۴	۲۲۲	۰۵	۰۵	۳	۲۲۰	۱۳۳	۲۴	

داغ، ارتفاع کمتری دارد. کانی‌سازی باریت در پهنه گسلی مرز جنوبی پهنه مشکان قرار دارد. کانی‌سازی‌های مس بتو و سلیمانی نیز در ارتباط با همین گسل‌ها هستند. از نظر زمین‌شناسی در ناحیه سبزوار، حجم عمده سنگ‌های رخنمون یافته سنگ‌های آتشفشانی دوران ائوسن تا پلیوسن [۱۸] هستند که بیشتر به صورت گدازه و آذرآواری و به مقدار بسیار کم توده‌های نیمه عمیق دیده می‌شوند. منطقه فیولییتی سبزوار در جنوب این منطقه قرار دارد و تشکیل سنگ‌های آتشفشانی یاد شده را می‌توان در ارتباط با جایگیری فیولیت (کرتاسه [۱۸]) دانست. از نظر سنی، سنگ‌های آتشفشانی از جنوب به شمال جوانتر هستند [۱۸]. یک کمر بند از سنگ‌های آذرین از جنوب شرقی منطقه به سمت شمال غربی آن ادامه دارد که بیشتر مربوط به زمان ائوسن و شامل گدازه‌ها و آذر آواری‌های با ترکیب متوسط تا بازی است. در آنها سنگ‌های آتشفشانی پس از ائوسن نیز به صورت گنبد‌های آتشفشانی، دایک و گدازه دیده می‌شود. جوانترین سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد بررسی مربوط به زمان پلیو - کواترنر [۱۴] است که در بخش‌های شمالی منطقه، به صورت آذر آواری و گدازه دیده می‌شود. حجم عمده سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی شامل کنگلومراهای قرمز با میان لایه‌های ماسه سنگی است. بطور کلی، سنگ‌شناسی منطقه شامل لای سنگ، شیل و مارن، کنگلومرا و ماسه سنگ آهکی و همچنین واحدهای آتشفشانی با سن ائوسن پیشین تا میانی است که اغلب به صورت گدازه و آذر آواری دیده می‌شود [۱۰] (شکل ۲).

برای بررسی سیال‌های درگیر، پس از بررسی‌های دقیق همبرزایی، تعداد ۱۱ مقطع دوبرصیقل با ضخامت تقریبی ۰/۵ میلی‌متر از کانی‌های باریت، کوارتز و کلسیت تهیه شد. این آزمایش‌ها با استفاده از یک دستگاه سردکننده و گرم‌کننده ساخت شرکت لینکام مدل THM 600 در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن  $\pm 1^\circ C$  و گستره دمایی دستگاه بین ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد است. مقدار شوری و چگالی در سیستم  $H_2O-NaCl$  با استفاده از نرم افزار تعبیه شده در سیستم اکسل HOKIEFLINCS- $H_2O-NaCl$  [۱۶،۱۵] محاسبه شد. نمودارهای ستونی و سایر نمودارهای لازم در نرم‌افزار SPSS و Excel رسم شد.

#### زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی بخشی از پهنه زمین‌ساختی مشکان بوده [۱۷] و جایگاه آن در لبه شمال شرقی گستره نقشه زمین‌شناسی سبزوار است. پهنه مشکان به شکل یک ساختار مثلثی ( $70*70*100 km^3$ ) در بین سه پهنه بینالود، کپه داغ و ایران مرکزی قرار دارد [۱۷]. الگوی ساختاری در پهنه مشکان توسط (۱) سیستم گسلی چپ گرد فرهادان با روند شرق جنوب شرقی، (۲) سیستم گسلی راستگرد چکنه با روند شمال شمال غربی و (۳) سیستم گسلی معکوس مشکان با روند شمال غربی مشخص می‌شود که گسل معکوس مشکان مرز جنوب شرقی پهنه مشکان را از ایران مرکزی جدا می‌کند [۱۷]. مرزهای مکان-نگاری و زمین‌شناسی پهنه مشکان بوسیله سه سیستم گسلی بالا کنترل می‌شوند. این منطقه نسبت به کوه‌های بینالود و کپه



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی کانسار باریت مشکان برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ مشکان [۱۰].

#### کانی‌سازی و کانی‌شناسی

کانی‌سازی در کانسار باریت مشکان کنترل گسلی دارد و همه واحدهای سنگ‌شناسی منطقه در قسمت‌های مختلف میزبان رگه‌ها هستند. تعداد ۱۲ رگه باریت‌دار بزرگ و کوچک در منطقه مشکان دیده می‌شود که راستای بیشتر آنها شمال غربی- جنوب شرقی با شیب ۸۰ تا ۹۰ درجه به سمت شمال شرقی و گاهی جنوب غربی است. رگه‌های با طول و ضخامت بیشتر مانند رگه‌های باریت همراه با اکسیدهای آهن ذخیره مناسب دارند. این رگه گسترش بسیار دارد و دارای طول و ضخامت متوسط به ترتیب ۲۵ و ۶ متر است. بررسی زمین- شیمیایی نشان داد که عیار اکسید باریم نیز در این رگه‌ها بیشینه است (نمونه‌های ۳۸۴۲۶ و ۴۷۴۱۱؛ جدول ۲). رگه‌های کلسیت همراه باریت دارای طول و ضخامت کمتر هستند که طول و ضخامت آن‌ها به‌طور متوسط به ترتیب ۶ و ۲ متر است. رگه‌های باریت - مالاکیت نیز از گسترش و ضخامت خوبی برخوردار بوده و به‌طور متوسط ۶×۳۰ متر مربع هستند. بنابراین براساس داده‌های کانی‌شناسی، رگه‌ها را می‌توان به انواع ۱- باریت، ۲- باریت - کوارتز، ۳- باریت - اکسید آهن، ۴- باریت - کوارتز - کلسیت، ۵- باریت - مالاکیت و ۶- باریت - کلسیت، ۷- باریت - گالن تقسیم کرد (شکل ۳).

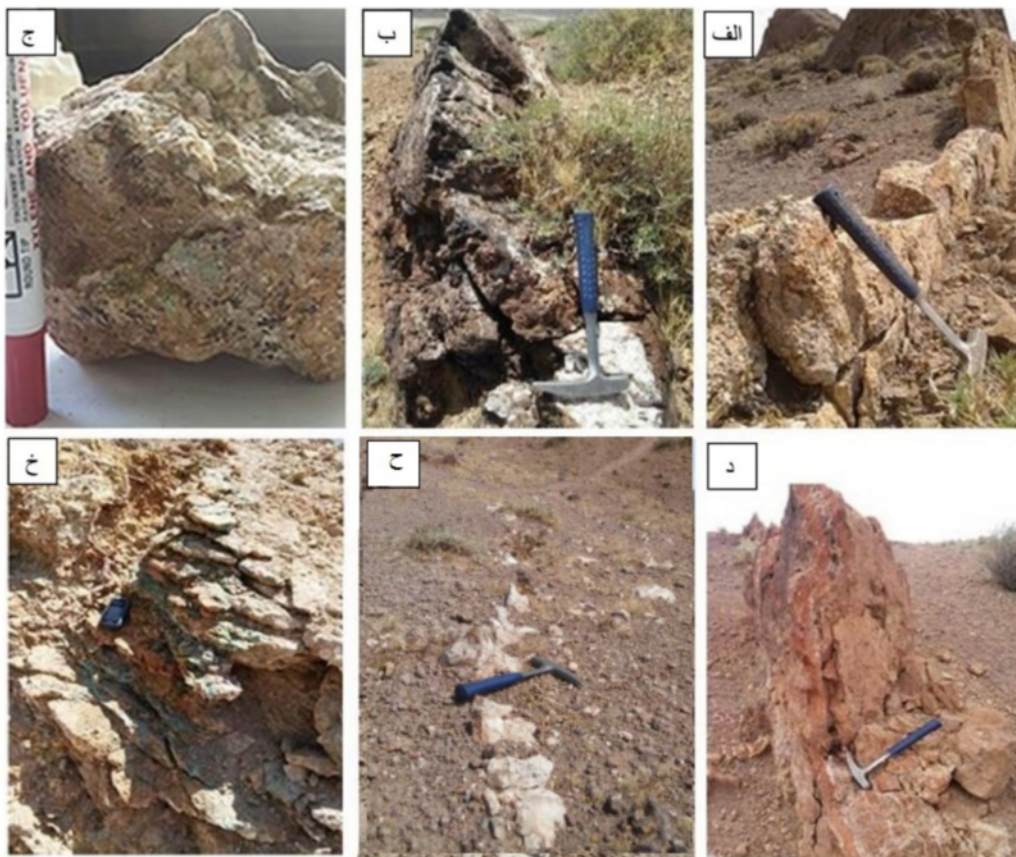
**باریت:** کانی باریت که ماده معدنی اصلی و فراوانترین کانی کانسار مشکان است، با طیف رنگی بسیار متنوع (بی رنگ، زرد، قهوه‌ای و خاکستری) دیده می‌شود. بافت‌های متنوع و زیبایی در باریت‌های منطقه وجود دارد که می‌توان به توده‌ای، شعاعی، پرکننده فضای خالی و گل کلمی اشاره کرد (شکل ۳ پ). همچنین باریت به صورت رگه‌ها و رگچه‌های پراکنده نیز در سنگ میزبان تشکیل شده است (شکل ۳ الف).

بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانسار باریت چنارورده کانی‌شناسی و بافت بسیار ساده‌ای دارد. باریت به صورت بلورهای بی شکل تا نیمه شکل‌دار و گاه کشیده فراوان-ترین کانی موجود است که از نظر اندازه از بلورهای بسیار ریز تا درشت تغییر می‌کند.

**کوارتز:** این کانی دومین کانی متداول در کانسار است. کوارتزهای نهان بلور در فضاهای خالی باریت رشد کرده‌اند (شکل ۲ ب).

**کلسیت:** این کانی سومین کانی فراوان در کانسار است (شکل ۳ الف). نسل‌های مختلفی از کلسیت دیده می‌شود که می‌توان به کلسیت‌های گل کلمی و پرکننده فضای خالی اشاره کرد و فضای بین بلورهای باریت را پر کرده است.





شکل ۳ الف) رگه باریت- کلسیت، دید به سمت شمال شرقی، ب) نمایی از رگه باریت- کوارتز، دید به سمت شمال غربی، پ) نمونه باریت توده‌ای، ت) نمایی از رگه باریت همراه با اکسید آهن ثانویه بصورت رگه‌ای در سنگ میزبان آذرآواری، دید به سمت شمال غربی، ث) رگه باریت، دید به سمت شمال و ج) رگه باریت- مالاکیت.

گالن: در برخی رگه‌ها به مقدار کمتر از یک درصد بلورهای گالن به شکل پراکنده در متن باریت دیده می‌شود. مالاکیت: در مرز واحد آهک سیلیسی با شیل‌های قرمز رنگ رگه‌های مالاکیت همراه با باریت دیده می‌شود. ضخامت این رگه حدود ۱ متر است و گسترشی حدود ۱۵ متر دارد. شکل ۴ توالی همبری سنگ میزبان، کانه‌ها و کانی‌های باطله در کانسار باریت مشکان را نشان می‌دهد. دگرسانی غالب شامل سیلیسی‌شدن و لیمونیتی‌شدن است که مشخصه کانی‌سازی نوع گرمابی است.

زمین‌شیمی

مقدار  $\text{SiO}_2$  بین ۲۳۷ تا ۵۷۹۳ درصد تغییر می‌کند که مربوط به حضور کوارتز به عنوان اصلی‌ترین کانی باطله همراه با باریت است. همچنین، مقدار  $\text{CaO}$  بسته به مقدار کلسیت همراه با کانی‌سازی بین ۰/۱۵ تا ۲۸/۰۵ درصد متغیر است. مقدار  $\text{Al}_2\text{O}_3$  بین ۰/۰۷ تا ۲/۳۳ تغییر می‌کند. مقادیر کم

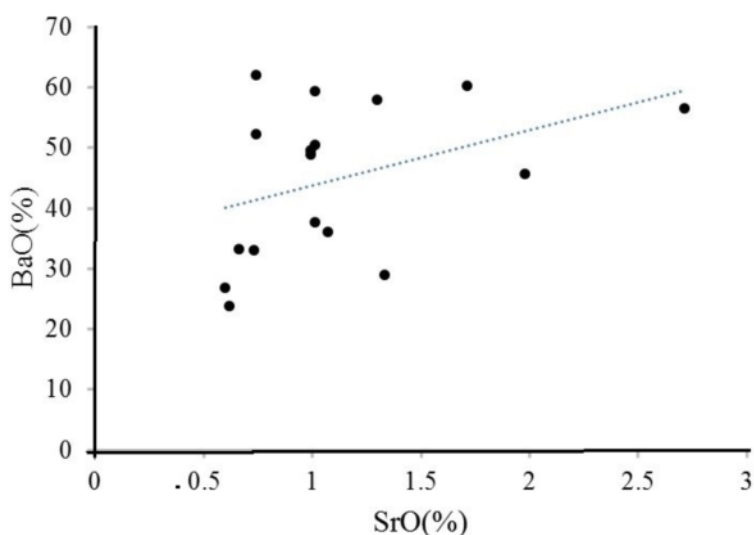
$\text{TiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  اغلب در باریت‌های گرمابی دیده می‌شود، زیرا در این نوع ذخایر بیشتر عناصر گرمابی با تحرک بالا که ویژه فازهای نهایی هستند، غنی می‌شوند و مواد  $\text{Ti}$  و  $\text{Al}$  دار کمتری وارد می‌شوند [۱۹]. سیلیس بصورت کوارتز، کلسدونی و اپال در سیال‌های گرمابی با pH پایین شکل می‌گیرد. مقادیر  $\text{P}_2\text{O}_5$  و  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  پایین است و آنها را نمی‌توان به فاز خاصی نسبت داد. در رگه‌ها، مقدار اکسید باریت از ۱۸/۵ تا ۶۲/۰۶ درصد و مقدار اکسید استرانسیم از ۰/۶ تا ۲/۷۱ درصد تغییر می‌کند. بین مقدار باریت و استرانسیم و مقدار سیلیس رابطه دیده می‌شود و مقدار کم باریت و استرانسیم مربوط به رگه‌هایی است که باریت کمتری دارند و بخش عمده آنها کوارتز است. بر اساس شکل ۵، بین مقدار باریت و استرانسیم رابطه مستقیم وجود دارد. بالا بودن مقدار استرانسیم در باریت مربوط به نزدیکی شعاع اتمی استرانسیم و باریت است که منجر به جایگزینی همریخت

دارای مقادیر SrO نزدیک به بسیاری از ذخایر گرمابی باریت (بعضی از ذخایر باریت در ترکیه و کشورهای دیگر) است (شکل ۴).

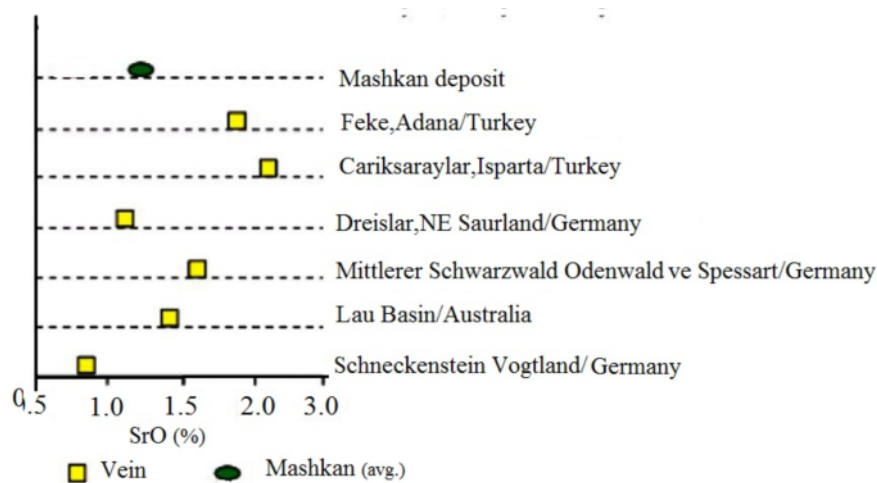
استرانسیوم در بلورهای باریت می‌شود. مقدار استرانسیوم موجود در نمونه‌های باریت می‌تواند برای تعیین ژن نهشته باریت استفاده شود [۲۰-۲۲]. نمونه‌های باریت منطقه مورد بررسی

Minerals	Hypogene		Oxidized zone	
	Min	Max	Min	Max
Barite	0.3	1.5	1.8	2.8
Quartz	0.4	1.8	1.8	2.8
Calcite	0.5	2.0	1.8	2.8
Galena	0.6	2.0	1.8	2.8
Malachite	-	-	1.8	2.8
Fe- oxide	-	-	1.8	2.8

شکل ۴ توالی همبندی کانی‌های فلزی و غیرفلزی کانسار مشکان.



شکل ۵ مقدار استرانسیوم نسبت به باریم در نمونه‌های مورد بررسی از کانسار مشکان.



شکل ۶ مقایسه مقدار استرانسیوم در کانسار مشکان با سایر کانسارهای گرمابی باریت (داده‌ها از [۲۳-۳۱]).

### بررسی میانبارهای سیال

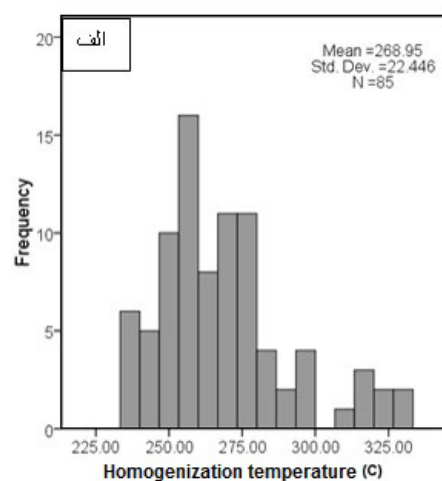
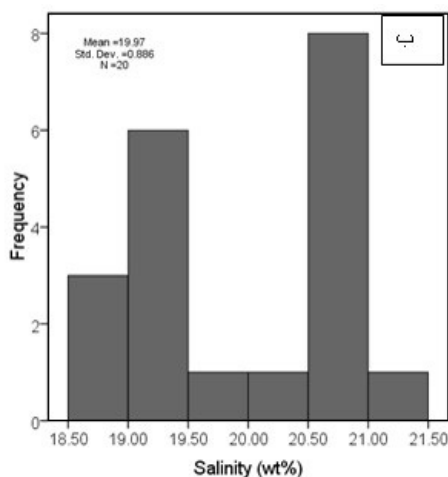
بررسی میانبارهای سیال در رابطه با شرایط تشکیل کانسارها بسیار سودمند است و اطلاعات با ارزشی درباره دما، چگالی، فشار و ترکیب شیمیایی سیال‌های کانه‌ساز به دست می‌دهد [۲۰، ۳۲]. بررسی‌های سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر اولیه نشان داد که آنها ابعاد ۵ تا ۷ میکرومتر و شکل نزدیک به کروی و نامنظم دارند. براساس تقسیم‌بندی‌های متداول [۳۲-۳۴] سیال‌ها از نوع دوفازی غنی از مایع (L+V) هستند. آزمایش‌های دماسنجی، تعیین نوع محلول و مقدار شوری برای سیال‌های درگیر اولیه نوع LV انجام شد.

### ریزدماسنجی سیال‌های درگیر

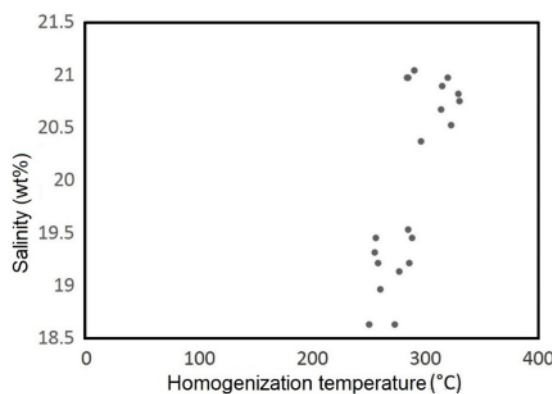
دمای همگن‌شدگی (Th) برای ۸۵ میانبار سیال در کانی باریت گستره دمایی ۲۳۵ تا ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. متوسط دمای همگن‌شدگی ۲۶۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. نخستین دمای ذوب‌شدگی یخ (Tfm) بین ۵۵/۳- تا ۵۵/۸-

درجه سانتی‌گراد متغیر است. نخستین دمای ذوب‌شدگی با ترکیب نمک سیال ارتباط دارد. بر اساس مقدار Tfm به دست آمده، نمک‌های NaCl و CaCl<sub>2</sub> در سیال وجود دارند [۳۴]. مقدار شوری بین ۲۰/۶۷ تا ۲۱/۴ درصد وزنی نمک طعام متغیر است.

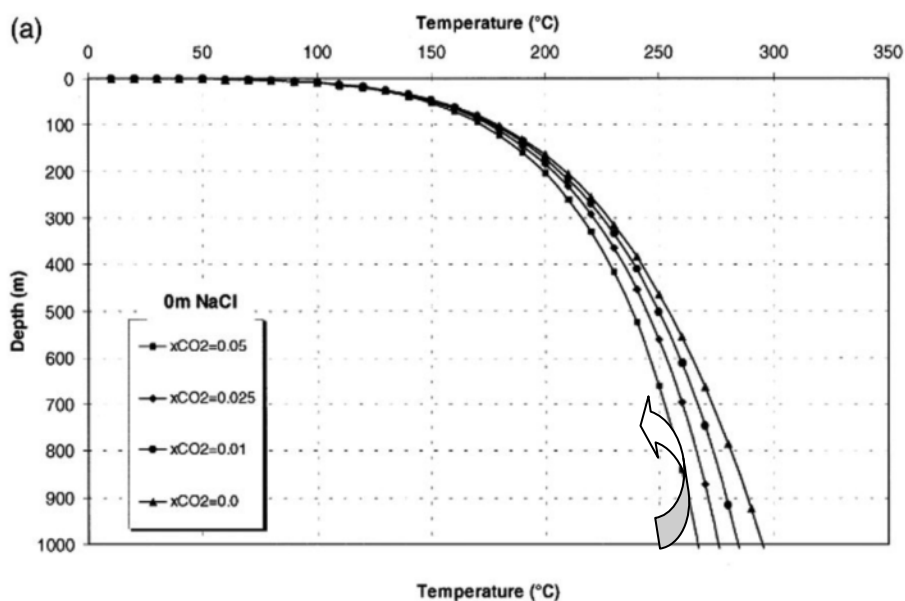
شکل ۷ الف نمودار فراوانی دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. براساس بررسی‌های ریزدماسنجی، دو گروه سیال درگیر دو فازی (L+V) شناسایی شدند. نمودار فراوانی دمای همگن‌شدگی نشان می‌دهد که گروه نخست تغییرات دمایی بین ۲۸۴ تا ۳۲۹°C و گروه دوم دمای بین ۲۵۰ تا ۲۸۸°C را دارند (شکل ۸). این شواهد نشان می‌دهد که دست کم دو نوع سیال در تشکیل کانی‌سازی در این ناحیه نقش داشته‌اند. نمودار دما-عمق [۳۵] برای سیال‌های درگیر مورد بررسی نشان می‌دهد که کانی‌سازی در عمق حدود کیلومتر انجام شده است (شکل ۹).



شکل ۷ نمودارهای ستونی مربوط به سیال‌های درگیر: الف) دمای همگن‌شدگی و ب) مقدار شوری.



شکل ۸ مقدار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی در کانسار باریت مشکان.



شکل ۹ روند تغییرات دما و محاسبه کلی کمترین عمق تشکیل سیال‌های درگیر [۳۵].

#### برداشت

براساس بررسی‌های انجام شده در منطقه معدنی باریت مشکان، کانی‌سازی باریت درون واحدهای رسوبی دربردارنده کنگلومراهای قرمز با میان لایه‌های ماسه‌سنگی، شیل، مارن و آذرین منطقه رخ داده است. کانی‌سازی درون شکستگی‌ها با راستای اغلب شمال غربی - جنوب شرقی و به صورت رگه-رگچه‌ای شکل گرفته است.

کانی‌شناسی کانسار شامل باریت، کوارتز و کلسیت همراه با مقادیری سولفیدهای اغلب اکسید شده، گالن و کانی‌های ثانویه هماتیت و مالاکیت است. مقدار Ba در رگه‌ها از ۱۸٫۵ تا ۶۲٫۰۶ درصد متغیر است. باریت‌ها در دو گستره دمایی ۲۸۴ تا ۳۲۹ °C و ۲۵۰ تا ۲۸۸°C تشکیل شده‌اند و با افزایش دما بر مقدار شوری سیال کانه‌دار افزوده شده است. کانی‌سازی باریت از محلولی شامل نمک‌های NaCl و CaCl<sub>2</sub> با مقدار شوری بین ۲۰٫۶۷ تا ۲۱٫۴ درصد وزنی نمک طعام رخ داده است. مقدار بالای استرانسیوم مربوط به خاستگاه گرمایی کانسار است. شواهد زمین‌شناسی، کانی‌سازی و زمین‌شیمیایی بیانگر تشکیل یک کانسار باریت گرمایی در منطقه است.

#### مراجع

[1] Williams-Jones A.E., Samson I.M., Olivo G.R., "The genesis of hydrothermal fluorite-REE

deposits in the Gallinas Mountains, New Mexico", *Economy Geology* 95 (2000) 327–342.

[2] Hanor J.S., "Barite- celestine geochemistry and environments of formation. In: Alpers, C.N., Jambor, J.L., Nordstrom, D.K., (Eds.), *In Reviews in Mineralogy and Geochemistry-Sulfate Minerals*", *Mineralogical Society of America* 40 (2000) 193–275.

[3] Kontak D.J., Kyser K., Gize A., Marshall D., "Structurally controlled vein barite mineralization in the Maritimes basin of eastern Canada: geological setting, stable isotopes, and fluid inclusions", *Economy Geology* 101 (2006) 407–430.

[4] Monnin C., Cividini D., "The saturation state of the world's ocean with respect to (Ba, Sr) SO<sub>4</sub> solid solution", *Geochim. Cosmochim. Acta* 70 (2006) 3290–3298.

[5] Gültekin A.H., Orgun Y., Suner F., "Geology, mineralogy and fluid inclusion data for Kizilcaoren fluorite-barite-REE deposit, Eskisehir, Turkey", *Asian Earth Sciences* 21 (2003) 365–376.

[6] Bozkaya G., Gökce A., "Trace- and rare-earth element geochemistry of the Karalar (Gaipasa-Antalya) barite-galena deposits, Southern Turkey", *Turkish Journal of Earth Science* 13 (2000) 63–75.

[7] Guichard F., Church T.M., Treuil M., Jaffrezic H., "Rare earths in barites: distribution and effects



- ", *Geological Survey of Iran, Report 51* (1983) 247-266.
- [19] Lottermoser B.G., Ashley P.M., "Geochemistry and exploration significance of ironstones and barite-rich rocks in the Proterozoic Willyama Supergroup, Olary Block, South Australia", *Journal of Geochemical Exploration* 57 (1996) 57-73.
- [20] Van den Kerkhof A.M., Hein U.F., "Fluid inclusion petrography", *Lithos* 55 (2001) 27-47.
- [21] Starke, R., 1969. Die Strontiumgehalte der Baryte. Freiburger Forschungsh. 150, p. 86.
- [22] Werner, C.D., 1958. Geochemie und paragenese der saxonischen schwerspat- flussspat-gänge im schmalkaldener revier. Freiburger Forschungshf 47, Berlin.
- [23] Ayhan A., Hüyük (Konya) ile Şarkikaraağaç (Isparta) arasında bulunan barit yataklarının incelenmesi: SÜ. Arş. Fonu Proje Rap.,(1987) 45 s.
- [24] Cengiz O., "Şarkikaraağaç (Isparta) ile Hüyük- Doğanhisar (Konya) Arasındaki Barit Yataklarını ve Oluşumunu" Doktora Tezi, SDÜ. Fen Bilimleri Enst., (1997) 247 s.
- [25] Fazakas H.J., "Geochemisch-Lagestättenskundliche Untersuchungen an Schwerspatvorkommen des Südwestdeutschen Grund und Deckgebirges" Naturwiss. Fak., Univ. München, Doktora Tezi,( 1976) 76 s.
- [26] Kayabalı I., "Alanözü ve Habiller (Karaman) yöresi barit zuhurlarının jeolojik, petrografik ve genetik incelemesi" SÜ. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi (1992).
- [27] Podufal, P., "Die Dreislärer Barytange" Der Aufschluss, 55, Beiheft 2(1977) 37-40 p.
- [28] Puchelt, H., "Zur Geochemie des Bariums im exogenen Zyklus" Sitzungsber., Heid., Ak. Wiss., Math. Nat. Kl., Jg., 4 Abh., (1967) 205 s.
- [29] Reimer, T., "Detrital barites in Karoo Supergroup of Southern Africa". *Min. Deposita* 13(1978) 235- 244.
- [30] Striebel, H., "Die Bleierz-Baryt-Lagerstätte von Karalar-Gazipaşa (Turkei) und ihr geoiogischer Rahmen", Naturwiss. Fak. Univ. München, Doktora Tezi (1965) 48 s.
- [31] Zimmermann, R.A., "Rhythmicity of barite-shale and of Sr in stratabound deposits of Arkansas In handbook of stratabound and on aqueous partitioning", *Geochim. Cosmochim. Acta* 43 (1979) 983-997.
- [8] Ehya F., "Rare earth element and stable isotope (O, S) geochemistry of barite from the Bijgan deposit, Markazi Province, Iran", *Mineralogy and Petrology* 104 (2012) 81-93.
- [9] Ehya F., Mazraei S.H.M., "Hydrothermal barite mineralization at Chenarvardeh deposit, Markazi Province, Iran: Evidences from REE geochemistry and fluid inclusions", *Journal of African Earth Sciences* 134 (2017) 299-307.
- [10] Alaminia Z., Sharifi M., "Geological, geochemical and fluid inclusion studies on the evolution of barite mineralization in the Badroud area of Iran", *Ore Geology Reviews* 92(2018) 613-626.
- [11] Ghorbani, M., 2007- Economic Geology of Mineral and Natural Resources of Iran. Arianzamin, Tehran.
- [12] Ghorbani, M., 2013- The Economic Geology of Iran, Mineral Deposits and Natural Resources. Springer Geology, Dordrecht. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5625-0>.
- [13] USGS, 2014- Mineral Commodity Summaries 2014. U.S. Geological Survey, p. 196.
- [14] Amini B., Khannazar N., "Geological Map of Iran. 1:100,000 Mashkan", *Geological Survey of Iran* (1998).
- [15] Lecumberri-Sanchez P., Steel-MacInnis M., Bodnar R.J., "A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 92 (2012) 14-22.
- [16] Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R.J., "HOKIEFLINCS-H2O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H2O-NaCl", *Computer in Geosciences* 49 (2012) 334-337.
- [17] Shabaniyan E., Bellier O., Siame L., Arnaud N., Abbassi M., Cocheme J., "New tectonic configuration in NE Iran: Active strike-slip faulting between the Kopeh Dag and Binalud mountains", *Tectonics* 28, (2009) 1-29.
- [18] Spies O., Lensch G., Mihem A., "Geochemistry of the post-ophiolitic Tertiary volcanics between Sabzevar and Quchan (NE Iran)

*Australia*", *Journal of Geochemical Exploration* 57 (1996) 57–73.

[34] Sheppherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", *Blackie and Son* (1985) 239 pp.

[35] Wilkinson, J.J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos* 55 (2001) 229–272.

*stratiform ore deposits*", V. 3, Ed., K.H. Wolf. Elsevier (1976) 339- 353.

[32] Roedder E., 1984, "Fluid inclusions", *Reviews in Mineralogy* 12 (1984) 644 pp.

[33] Lottermoser B.G., Ashley P.M., "Geochemistry and exploration significance of ironstones and barite-rich rocks in the Proterozoic Willyama Supergroup, Olary Block, South