

# خاستگاه کانی‌های صنعتی منیزیم‌دار (بروسیت - هیدرومنیزیت) در مرم‌های چندزادی باقی‌آباد، یزد

بتول تقی‌پور\*

استادیار بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۳

## چکیده

منطقه مورد مطالعه در ۴۰ کیلومتری جنوب باختر یزد و در حاشیه خاوری شیرکوه قرار دارد. ماگماتیسزم در این منطقه بصورت دایک و استوک‌های کوچکی مشخص است. ترکیب شیمیایی این توده‌ها گرانودیوریت، دیوریت تا گابرو متغیر است. ماهیت ماگمای تشکیل‌دهنده این توده‌ها کلسیمی-قلیایی است و در یک محیط کوهزایی شکل گرفته‌اند. نفوذ این توده‌ها در کربنات‌های کرتاسه سبب دگرگونی مرم‌ها و شکل‌گیری کانی‌های کمیابی شده است. مجموعه کانیایی زیر در این مرم‌ها شاخص است:

forsterite + serpentine + talc + brucite + hydromagnesite + calcite + dolomite

در این میان تنها رخداد پرفیروبلاست‌های بروسیت به شکل فراگیر در مرم‌ها عادی است. اوج دگرگونی همجواری با رویداد پریکلاز و فورستریت ( $> 700^{\circ}\text{C}$ ) مشخص است و آن‌گاه در مراحل بعدی، تشکیل پارائزهای دما پائین، همانند کانی‌های کربناتی و آبدار ( $25^{\circ}\text{C}$ ) اتفاق افتاده است. تسلسل رویدادهای کانی‌سازی این مرم‌ها را چند زادی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مرم، شیرکوه، بروسیت، هیدرومنیزیت

## مقدمه

مطالعه نخستین بار به پیدایش کانی‌های کمیاب مرم و اسکارن نظیر ملیت، موتی سیلیت، فلوگوپیت، پریکلاز و بروسیت اشاره شده است. داوودی (۱۳۷۷) به تفصیل مطالعات سنگ‌نگاری اسکارن‌های منطقه شیرکوه را انجام داده است و این اسکارن‌ها را چندزادی معرفی کرده است. مکی زاده (۱۳۸۷) نیز به مطالعه سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی بخشی از این مرم‌ها پرداخته است. در مطالعات نامبرده نخستین بار به کانی هیدرومنیزیت در مرم‌ها اشاره شده است.

بروسیت کانی ورقه‌ای، با ترکیب شیمیایی هیدروکسید منیزیم  $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$  است و از گروه کانی‌های صنعتی است. این کانی در طی واکنش‌های برگشتی ضمن آگیری پریکلاز در مرم‌های دما بالا شکل می‌گیرد (Bucher and Nurminen, 1982). هیدرومنیزیت دیگر کانی شاخص این مرم‌ها با ترکیب

حاشیه خاوری باتولیت گرانیتی شیرکوه توسط یک زون گسلی شمالی - جنوبی (تفت - منشاد) مشخص است. فعالیت‌های ماگمایی بعد از کرتاسه در این منطقه سبب تشکیل معادن سنگ ساختمانی از نوع مرم شده است. در این زون گسلی، مرم‌ها که به خرج کربنات‌های کرتاسه تشکیل شده‌اند حاوی کانی‌های کمیاب می‌باشند. این منطقه بخشی از زون زمین‌ساختی ایران مرکزی است که در ۴۰ کیلومتری جنوب باختر یزد واقع شده است.

اولین مطالعه بر روی دگرگونی‌های همبری چهارگوش زمین‌شناسی یزد، توسط نبوی (۱۹۷۲) انجام گرفته است. سبزه‌ئی و همکاران (۱۳۶۵) ویژگی‌های زمین‌شناختی و سنگ‌شناختی مرم‌ها و اسکارن‌های منطقه ده بالا را گزارش کرده‌اند. در این

\* نویسنده مرتبط taghipour@shirazu.ac.ir

محاسبات برای رسم نمودارهای مورد نیاز توسط نرم افزار min-pet صورت گرفته است.

### زمین شناسی عمومی منطقه

گستره مورد مطالعه در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب غربی یزد (شکل ۱)، در حاشیه شرقی کوهستان شیر کوه (جنوب تفت) واقع شده است. این منطقه از دیدگاه تقسیمات زمین شناختی و ساختاری ایران بخشی از زون ایران مرکزی را شامل می شود.

کهن ترین واحد سنگ شناسی باتولیت گرانیتی شیرکوه با سن ژوراسیک میانی (Forster, 1978) و شامل سنگ های گرانودیوریت، مونزوگرانیت، سینوگرانیت و تونالیت است. بر روی این باتولیت سازند تخریبی سنگستان (کرتاسه زیرین) با ناپیوستگی آذرین پی قرار گرفته است. سازند تفت شامل سنگ آهک های اربیتولین دار با سن بارمین - آپتین به طور تقریبی بر روی سازند سنگستان نشسته است.

سنگ آهک ها با چین خوردگی بسیار ملایم و در مواردی به صورت یک تک شیب دیده می شوند (سبزه ئی و همکاران، ۱۳۶۵). این سنگ ها در پاره ای از نقاط به سنگ آهک دولومیتی تا دولومیتی تبدیل شده اند. حرکات زمین ساختی بعد از کرتاسه سبب پیدایش گسل تفت - منشاد با روند شمالی - جنوبی در

شیمیایی کربنات آبدار منیزیم  $(Mg_4(OH)_2(CO_3)_3)$  است. این کانی معمولا با رخداد رگچه ای گاه گاهی مرمها را قطع کرده است (مکی زاده، ۱۳۸۷).

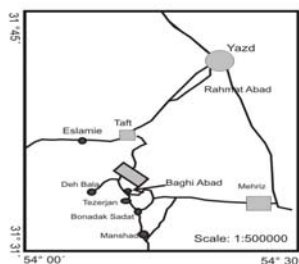
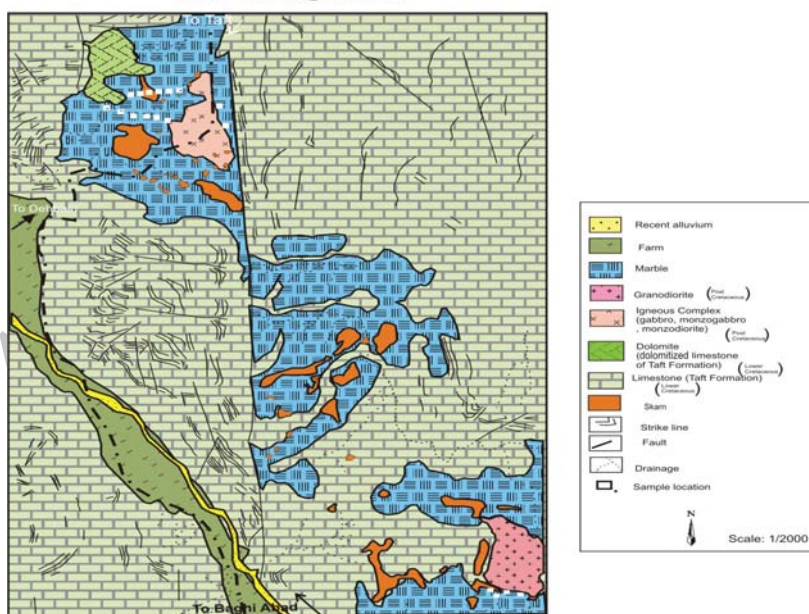
با توجه به کمیاب بودن دو کانی بروسیت و هیدرومنیزیت و همچنین کاربردهای صنعتی آنها (دارا بودن پتانسیل مواد اولیه صنایع نسوز و همچنین منبع منیزیم) (Simandl and Paradis, 2008) در این پژوهش با نگرشی ویژه خاستگاه این دو کانی مورد توجه قرار گرفته است.

### روش مطالعه

در ابتدا به دنبال مطالعات صحرائی و تعیین ایستگاه های مناسب، ۶۰ نمونه از توده نفوذی و سنگ های دگرگون شده برداشت شد. پس از آن ۲۰ نمونه مقطع نازک تهیه شد، مطالعات پتروگرافی نیز با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل BH2 انجام گرفت.

برای تعیین ترکیب شیمیایی توده های نفوذی منطقه باقی آباد، تعداد ۵ نمونه برای تجزیه XRF به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان (دستگاه S-4 بروکر) ارسال شد. همچنین ۶ نمونه مرم بروسیت دار برای انجام آزمایش XRF انتخاب شد و ۹ نمونه از رگچه های هیدرومنیزیت نیز پس از خالص سازی به روش دست چینی و اسید شویی ضعیف، مورد آزمایش XRF قرار گرفت.

Geological Map of Dehbala-Baghi Abad



شکل ۱- نقشه زمین شناسی و راه های دسترسی به محدوده مورد مطالعه بر پایه تصاویر ماهواره ای (برگرفته از مکی زاده، ۱۳۸۷).

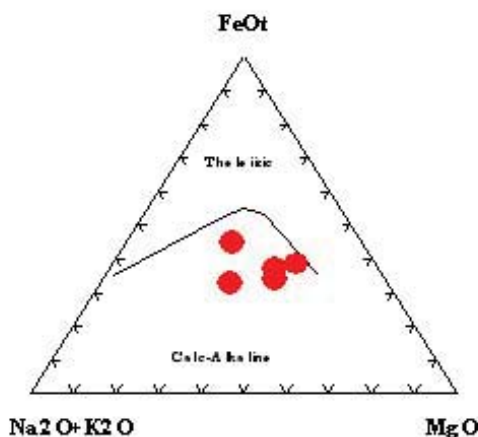
سنگ‌های بازیک منطقه کمیاب‌تر است (سبزه‌ئی و همکاران، ۱۳۶۵) و بیشتر در مجاورت بخش‌های اسکارنی مشاهده می‌شوند. این سنگ‌ها دارای بافت دانه‌ای متوسط تا درشت هستند. با توجه به ضخامت اندک این سنگ‌ها (تا ۱۰ سانتی‌متر) ارتباط نزدیک آنها با اسکارن‌ها و مرمرها به نظر می‌رسد نوعی اندو اسکارن با بخش‌هایی از توده نفوذی سیلیس زدایی شده (هضم سنگ‌های کربناتی) است. سنگ‌های اسیدی منطقه عمدتاً با کانی‌های پلاژیوکلاز، ارتوز، هورنبلند و اندکی بیوتیت مشخص است. بافت چیره این سنگ‌ها دانه‌ای دانه ریز تا متوسط است و گاه بافت پورفیروئید نیز در آنها دیده می‌شود. بافت پورفیری نیز به ویژه در دایک‌های آندزیتی دیده می‌شود. با توجه به نتایج تجزیه زمین شیمیایی انجام شده بر سنگ‌های نفوذی منطقه (جدول ۱) و نتایج موجود (مکی‌زاده، ۱۳۸۷) ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها در محدوده گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت تا گابرو است (شکل ۲-الف). ماهیت شیمیایی ماگمای منطقه نیز کلسیمی - قلیایی است (شکل ۲-ب) و محیط زمین ساختی آنها در کمان‌های فرورانش قرار می‌گیرد (شکل ۲-ج).

محدوده مورد مطالعه شده است که نفوذی‌های متعدد آذرین به شکل دایک، آپوفیز و توده‌های نفوذی کوچک (باقی‌آباد - ده بالا) در سنگ آهک‌های دولومیتی و دولومیت‌های سازند تفت در اثر دگرگونی همبری متاسوماتیسم اسکارن‌ها و مرمرهای گوناگونی پدید آمده است (شکل ۱).

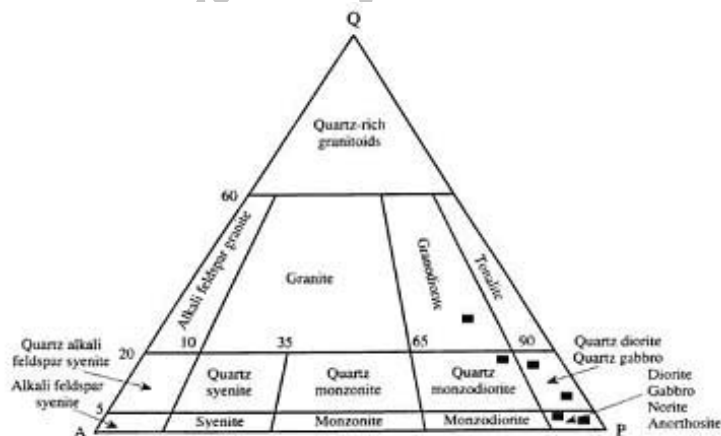
### بحث

#### ماگماتیسم منطقه باقی‌آباد

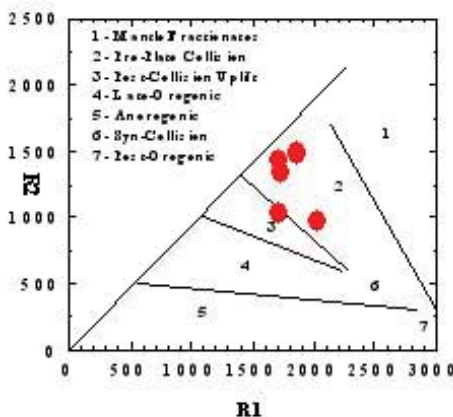
ماگماتیسم منطقه بیشتر توسط رخنمون دایک، آپوفیز و زبانه‌های نفوذی کوچک متعدد مشخص است. و تنها در یک نقطه این ماگماتیسم به شکل گنبد نفوذی (گرانیت باقی‌آباد) دیده می‌شود. امتداد دایک‌ها و این توده‌ها منطبق بر زون گسلی منطقه (شمالی - جنوبی) است. سنگ‌های نفوذی این منطقه بر اساس مشاهدات میکروسکوپی و زمین شیمیایی از بازیک‌ترین تا اسیدی‌ترین حضور دارند و شامل گابرو، مونزونیت، سینیت، دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت است. این سنگ‌ها عمدتاً با بافت پورفیروئید تا دانه‌ای ریز تا متوسط مشخص هستند. تیپ



ب



الف



ج

شکل ۲-الف) تقسیم‌بندی سنگ‌های آذرین با استفاده از نمودار QAP (Streckeisen, 1974). ترکیب شیمیایی نمونه‌ها از گرانودیوریت تا گابرو تغییر می‌کند. (ب) نمودار مثلثی (Irvine and Baragar, 1971) AFM، نمونه‌ها ترکیب کلسیمی - قلیایی دارند. (ج) جایگاه زمین ساختی نفوذی‌های منطقه در نمودار R1/R2 (De La Roche et al., 1980).

جدول ۱- ترکیب شیمیایی سنگ‌های نفوذی منطقه باقی‌آباد شامل دایک‌ها و استوک‌ها

Sample	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
M1	۵۸/۸۰	۰/۶۷	۱۲/۱۰	۳/۷۴	۲/۳۵	۷/۶۲	۴/۴۷	۳/۲۷	۲/۷۲	۰/۳۴	۳/۴۸	۹۸/۳۸
M2	۵۶/۱۴	۰/۹۲	۱۵/۷۱	۵/۷۴	۱/۲۰	۵/۹۸	۶/۲۵	۳/۱۷	۱/۵۲	۰/۴۷	۲/۶۹	۹۹/۲۳
M3	۴۹/۱۷	۰/۶۵	۱۶/۲۱	۶/۲۰	۲/۱۶	۱۱/۳۱	۶/۹۱	۳/۱۲	۰/۸۲	۰/۶۲	۲/۲۱	۹۸/۳۶
M4	۶۴/۱۹	۰/۵۲	۹/۱۷	۳/۴۱	۱/۱۵	۶/۳۲	۴/۷۰	۵/۲۰	۲/۱۶	۰/۴۷	۲/۳۹	۹۸/۶۹
M5	۵۵/۹۱	۰/۸۱	۱۲/۱۷	۷/۲۳	۰/۷۲	۸/۵۴	۵/۸۳	۴/۱۹	۱/۰۷	۰/۴۱	۲/۷۹	۹۸/۹۲

### سنگ‌شناختی مرمرها رخدادهای صحرایی

بر سطوح شکستگی مرمهرهای بروسیت‌دار دیده می‌شوند. رخداد هیدرومنیزیت بیشتر رگچه‌ای با بافت شانه‌ای است که تجمع رشته‌ای سفید رنگ با جلای شیشه‌ای دارد. آخرین بخش از این منطقه‌بندی سنگ آهک‌های دولومیتی با رنگ قهوه‌ای روشن هستند.

#### سنگ‌نگاری مرمرها

مطالعات تفصیلی میکروسکوپی همیافتی کانی‌های زیر را در مرمرها نشان داده است.

Forsterite + serpentine + talc + brucite + hydromagnesite + dolomite + calcite

بلورهای نیمه گرد شده و پراکنده فورستریت با بافت پویی کیلوبلاستیک در زمینه کربنات‌ها (کلسیت - دولومیت) حضور دارند (شکل ۵-الف). در برخی موارد فورستریت‌ها کاملاً بی شکل تا توده‌ای دیده می‌شوند که در امتدادهای خاصی رشد کرده‌اند. دگرسانی فورستریت به طور بخشی تا کامل به سرپانتین به شکل دروغین و محفوظ ماندن شبه اولیون (بافت شبیحی) فراگیر است (شکل ۵-ب). بافت شبکه‌ای در سرپانتین‌های جانشین الیون نیز دیده شده است.

سرپانتین علاوه بر جانیشینی فرستریت بصورت مستقل نیز تشکیل شده است. این کانی به شکل کاملاً نامنظم (انتشاری) در زمینه مرمرها و یا بصورت رگچه‌ای و پراکنده فضاهای سطوح استیلولیتی (شکل ۵-ج) نیز دیده می‌شود که نشان‌دهنده انتشار آبگون‌های داغ در راستای رگچه‌ها و فضاهای خالی است.

سنگ میزبان مرمرها عمدتاً آهک‌های دولومیتی هستند، تجزیه شیمیایی این سنگ‌ها (جدول ۲) نیز ترکیب آهکی - دولومیتی را برای سنگ‌های میزبان منطقه باقی‌آباد نشان می‌دهد.

در رخنمون صحرایی مرمرها دارای منطقه‌بندی واضحی در ارتباط با جایگاه اسکارن و توده نفوذی هستند (شکل ۳).

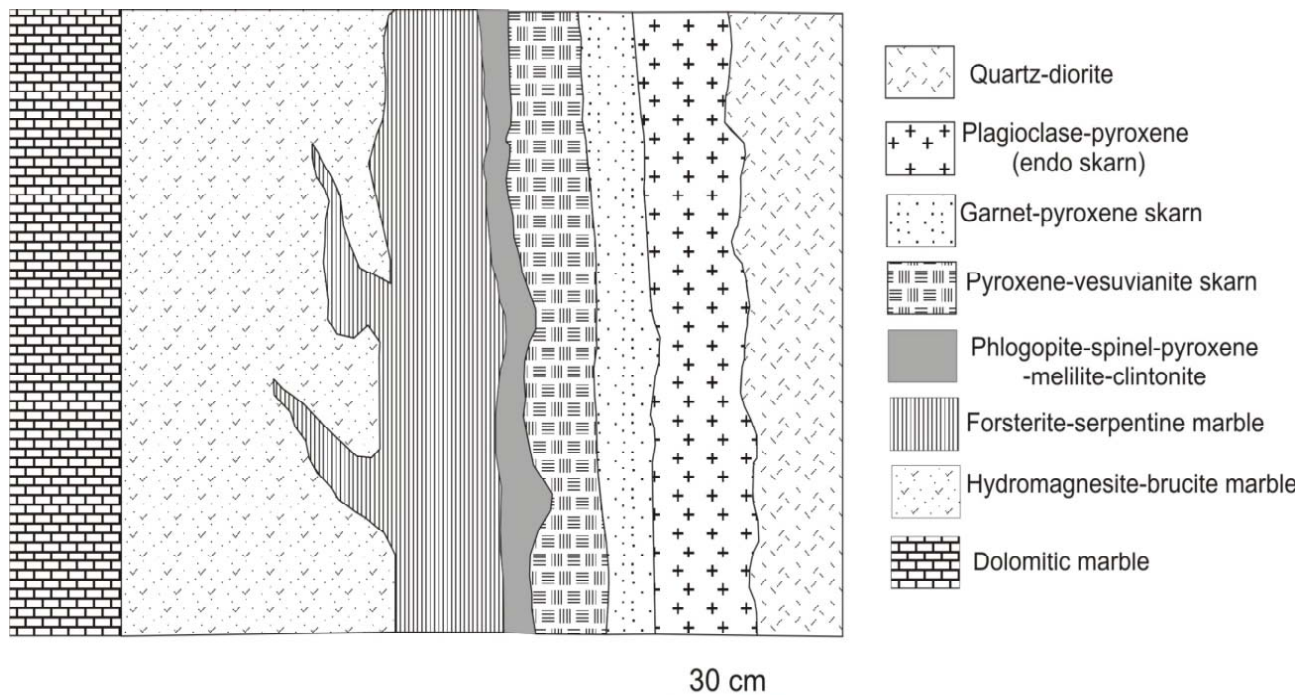
در مجاورت بلافضل توده نفوذی بخش اندواسکارن با کانی‌های غالب پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، دیوپسید و اسفن‌های درشت دانه مشخص است. در این بخش دایک‌های سینیتی نیز شکل گرفته اند. در ادامه اسکارن‌های توده‌ای با همیافتی شاخص گارنت، کلینوپیروکسن به رنگ حنائی دیده می‌شوند. اسکارن‌ها گاه شامل کانی‌های متنوع وزووانیت، ملیلیت، اسپینل، فلوگوپیت، کلیتونیت هستند (Taghipour et al., 2010).

زون مرمرها با رخداد تدریجی اولیون و به دنبال آن سرپانتین آغاز می‌شود. مرمهرهای بروسیت‌دار با رنگ سفید و ظاهر توده‌ای گسترده‌ترین واحد سنگ‌شناختی هستند. رخداد صحرایی این مرمرها در همیافتی سرپانتین‌های رنگارنگ مشخص است. سرپانتین‌ها درون مرمرها به شکل رگه‌های منقطع، بودین مانند و پراکنده سطوح استیلولیتی (شکل‌های ۴ الف، و ب) دیده می‌شوند. در این مرمرها بروسیت علاوه بر رخداد پراکنده و خال خال در زمینه سنگ به شکل رگچه‌های آبی کم رنگ تا سفید و با جلای شیشه‌ای تا مرواریدی نیز دیده می‌شوند. بلورهای ورقه‌ای بروسیت

جدول ۲- ترکیب شیمیایی مرمهرهای بروسیت‌دار و تجزیه مودال آنها (اقتباس از سبزه‌ئی و همکاران، ۱۳۶۵)

CaO	۳۴/۹۲	۳۴/۰۶	۳۵/۷۲	۳۷/۵۶	۳۵/۶۶
MgO	۲۴/۲۶	۲۳/۶۰	۲۳/۷۰	۲۱/۲۶	۲۳/۱۹
CO <sub>2</sub>	۲۸/۵۸	۳۰/۳۹	۳۰/۱۴	۳۰/۴۹	۲۹/۸۹
H <sub>2</sub> O	۱۰/۴۹	۹/۱۰	۹/۸۰	۹/۱۷	۹/۷۰
Calcite	۶۱/۷۰	۵۴/۴۳	۵۹/۸۹	۵۶/۴۶	۶۱/۱۴
Dolomite	۳/۶۱	۱۵/۲	۸/۱۰	۳/۴۵	۶/۸۵
Brucite	۳۴/۶۸	۳۰/۳۶	۳۱/۹۹	۳۱/۰۷	۳۱/۱۴





شکل ۳- منطقه‌بندی از توده نفوذی، اسکارن و مرمرها در باقی‌آباد

عادی‌ترین و مهم‌ترین رخداد کانی شناختی مرمرها است. این کانی در ppl بی‌رنگ و با برجستگی ضعیف، در xpl با رنگ‌های تداخلی خاکستری متمایل به غیر عادی (دوشکستی ضعیف)، رخ‌های ضعیف و خاموشی موجی دیده می‌شود. در همراهی با این کانی پریکلاز نیز گزارش شده است (داوودی، ۱۳۷۷) که این امر بیانگر دگرسانی پریکلاز در اثر آبدگیری به بروسیت است. هیدرومنیزیت بیشتر به شکل رگچه‌ای و کمتر به صورت جان‌شینی در زمینه سنگ دیده می‌شود (شکل ۶-ج). رگچه‌های هیدرومنیزیت از بلورهای سوزنی این کانی بطور کامل تشکیل شده‌اند. در همیافتی هیدرومنیزیت، بازمانده‌های تحلیل‌نرفته کربنات نیز هنوز دیده می‌شود. بطور کلی کربنات‌زایی تاخیری منجر به تشکیل کربنات به خرج بروسیت نیز شده است. این‌گونه کربنات‌های تاخیری با حفظ شکل بروسیت در زمینه کربنات واضح هستند (شکل ۶-د).

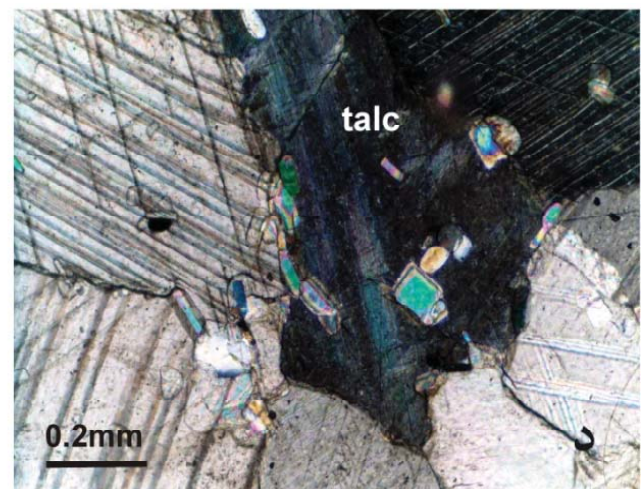
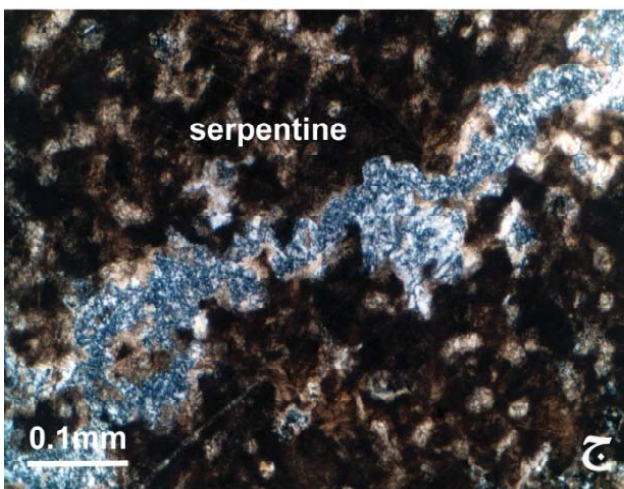
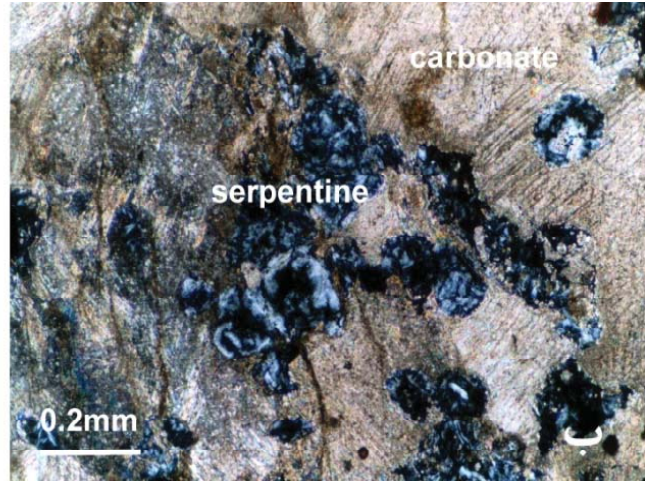
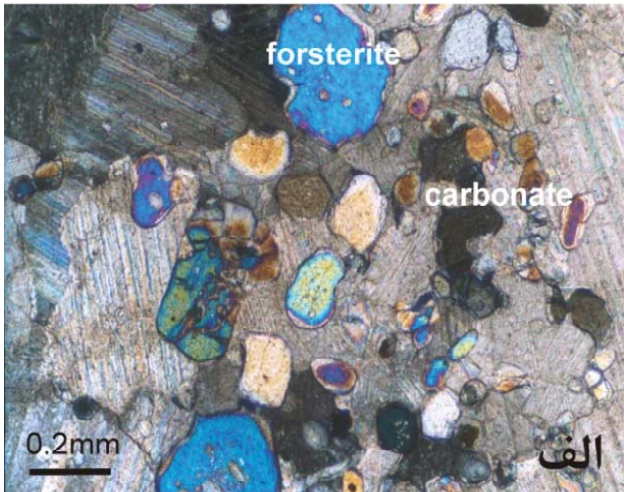
پویی کیلوبلاست‌های پراکنده تالک کمتر در زمینه مرمرها فراگیر هستند (شکل ۵-د) در موارد کمیاب، بلورهای خود شکل این کانی به شکل پرکننده فضاهای خالی در شکاف‌های برشی مرمرها دیده شده است. همیافتی فرستریت - سرپانتین با تالک کمتر عادی است. به طور قطع این‌گونه تالک به خرج فرستریت و سرپانتین شکل گرفته است (شکل ۶-الف). فرآیند کربناته شدن سبب شکل‌گیری تاخیری کربنات‌ها در این همیافتی شده است. به گونه‌ای که دگرسانی تدریجی سرپانتین به کربنات و یا تالک به کربنات به روشنی قابل مشاهده است. در مورد اخیر کلسیت - دولومیت به طور کامل شکل دروغین فنوبلاست‌های درشت تالک را حفظ نموده‌اند.

رخداد بروسیت در میکروسکوپ به شکل مجموعه‌های نیمه مدور و پراکنده در زمینه کربنات‌های گرانوبلاستیک زمینه مرمر است که با بافت پرفیروبلاستیک (شکل ۶-ب) شاخص است. بروسیت



شکل ۴- الف. پیدایش سرپانتین به شکل رگه‌ای در مرمرهای بروسیت دار (نگاه به شمال)، ب) سرپانتین استیلولیت اولیه دولومیت را دنبال کرده است.





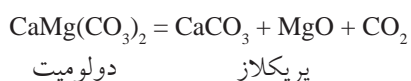
شکل ۵-الف) مرمر فورستریت‌دار با بافت پویی کیلوبلاستیک (xpl). ب) سرپانتین‌های جانشین شده اولیوین که خود به شکل پویی کیلوبلاست در زمینه کربنات هستند، سرپانتینی شدن اولیوین با آزاد شدن مقداری کم اکسید آهن نیز همراه بوده است (xpl). ج) رخدادهای سرپانتین رگچه‌ای در مرمر، به نظر می‌آید که سیال‌های سطح استیلولیتی را برای کانی‌سازی انتخاب کرده‌اند (xpl). د) فنوبلاست تالک با حواشی نا متعادل در زمینه کربنات که نشان از شکل‌گیری آن به خرج زمینه است، فنوبلاست دیگر به طور کامل توسط کربنات جانشین شده است (xpl).

ساختی متر هستند. شکل‌گیری بروسیت‌های رگه‌ای حاصل تشکیل آنها از محلول‌های گرمایی بوده است. بروسیت‌های پراکنده به صورت‌های شکل‌دار، نیمه‌شکل و بی‌شکل دیده می‌شوند. بر اساس شواهد سنگ‌نگاری، همراهی این نوع بروسیت‌ها با پریکلاز دیده شده است که به نظر می‌رسد این نوع بروسیت‌ها از آبیگری پریکلاز تشکیل شده‌اند (مکی‌زاده، ۱۳۸۷).

بررسی شیمیایی نمونه‌های مرمرهای بروسیت‌دار و همچنین آنالیز مدال برخی از آنها در جدول ۲ آمده است (سبزه‌ئی و همکاران، ۱۳۶۵).

سازوکار شناخته شده برای تشکیل بروسیت به صورت زیر است (Øvereng, 2000):

در درگرونی مجاورتی دولومیت با سنگ آهک منیزیم‌دار کانی پریکلاز (MgO) تشکیل می‌شود و آن گاه در حضور آب بلافاصله آبدار می‌شود.



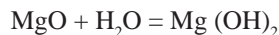
بافت چیره مرمرها موزائیکی است. زمینه گرانوبلاستیک مرمرها شامل بلورهای درشت کلسیت - دولومیت است که با دوقلوبی‌های مرکب شاخص هستند. شکل هندسی این دوقلوها بر اساس رده‌بندی (Passchier and Trouw, 1996) می‌تواند یک نشانگر دما نیز باشد (شکل ۷). تطبیق چند نمونه از این دوقلوها با نمودار بالا نشان می‌دهد، بیشینه دمای این کلسیت‌ها در گستره دمای بیش از 200°C است. نگاهی دقیق به این کلسیت‌ها نشان می‌دهد که از خاستگاه چند مرحله‌ای کانی‌سازی هستند؛ به این صورت که در بعضی موارد کلسیت‌های نیمه گرد قطره مانند درون کلسیت‌های درشت دیده می‌شود که ظاهراً بازمانده‌های قدیمی‌تر هستند. بافت کنسرتال نیز در کلسیت‌ها عادی است. بافت درهم رشدی دانه ریز از هم رشدی دو گونه کلسیت نیز مشاهده می‌شود.

### سنگ زایی

بروسیت در مرمرهای منطقه باقی‌آباد به دو صورت رگه‌ای و پراکنده دیده می‌شود. بروسیت‌های رگه‌ای دارای ضخامت ۱ تا ۳۰



(شکل ۸). از طرفی بر پایه پاراژنز کانیایی بروسیت + کلسیت سنگ‌های دولومیتی رخساره پیروکسن هورنفلس را تحمل کرده است. این سنگ‌ها محدوده دمایی زیر  $700^{\circ}\text{C}$  را پس از تشکیل در اوج دگرگونی به سوی پایداری فورستریت و آن گاه بروسیت ( $\text{xH}_2\text{O}$  بالا) طی کرده‌اند (شکل ۹). تعداد ۶ نمونه از مرمرهای بروسیت دار منطقه باقی آباد با روش XRF تجزیه شیمیایی شدند (جدول ۳). نتایج حاصل از این آزمایش‌ها با نتایج بدست آمده توسط سبزه‌ئی و همکاران (۱۳۶۵) مشابهت دارد.

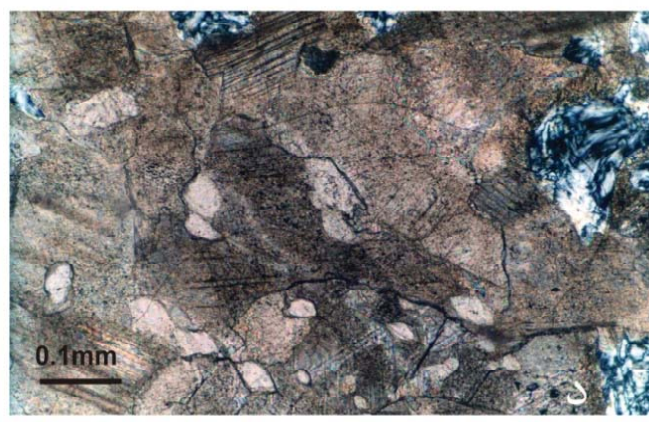
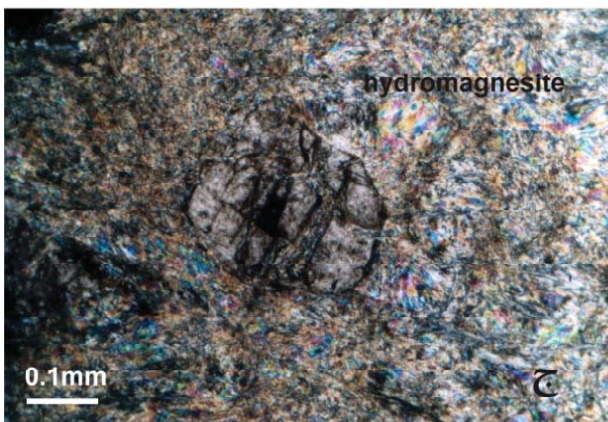
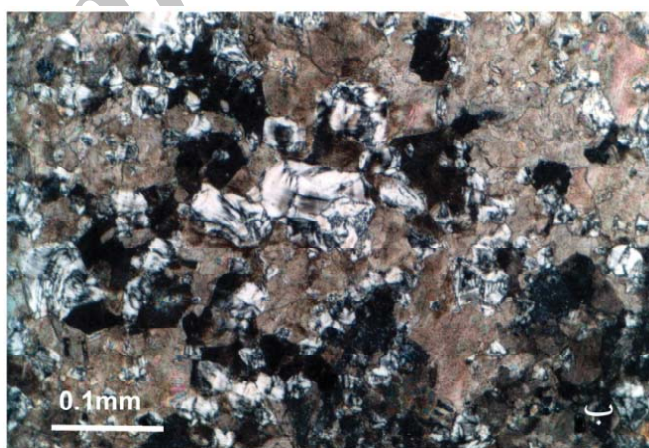
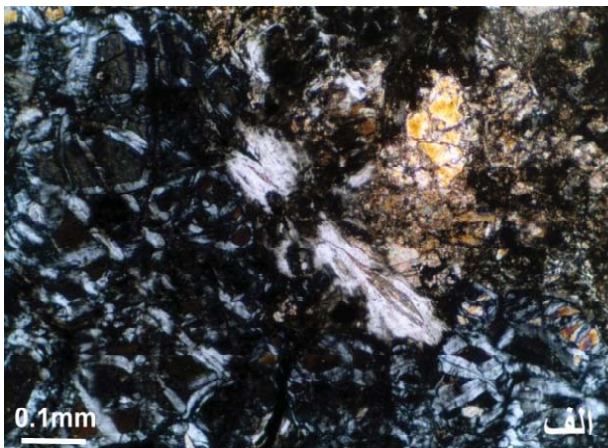


بروسیت پریکلاز

مطالعات Bucher and Fery (1994) در فشار زیر ۲ کیلوبار، پایداری بروسیت در مرمرها را ۴۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان داده است. همچنین Winkler (1976) معتقد است که دولومیت در دمای بالای دگرگونی (بیش از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) به مجموعه بروسیت + کلسیت +  $\text{CO}_2$  تجزیه می‌شود. مطالعات Bucher and Nurminen (1982) نیز همین محدوده دما را نشان داده است

جدول ۳- ترکیب شیمیایی مرمرهای بروسیت دار و سنگ‌های کربناتی مرتبط با آن

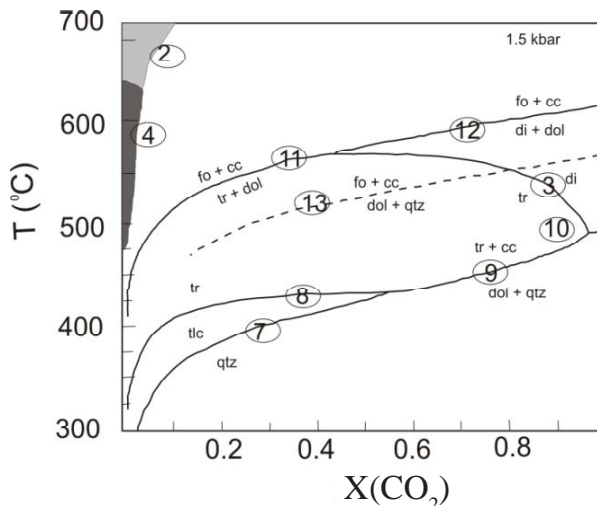
% Element	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
Bru-1	۱/۰۰۲	۰/۲۱	۰/۳۳	۲۳/۲۴	۳۳/۳۲	-	۹/۲۱	۲۸/۲۱
Bru-2	۰/۵۶	۰/۰۵	۰/۱۷	۲۱/۳۶	۳۳/۶۷	۰/۰۱	۹/۸۶	۲۷/۳۶
Bru-3	۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۲۵	۲۰/۴۸	۳۴/۲۱	۰/۰۲	۹/۱۷	۳۰/۳۱
Bru-4	۱/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۹	۲۲/۳۱	۳۲/۸۵	۰/۰۱	۱۰/۲۴	۲۹/۸۴
Bru-5	۰/۸۷	۰/۰۶	۰/۳۴	۱۹/۸۷	۳۵/۶۰	۰/۰۳	۹/۱۱	۳۰/۲۶
Bru-6	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۳۲	۱۸/۴۹	۳۵/۸۷	۰/۰۲	۹/۳۴	۲۹/۷۴



شکل ۶- الف) همیافتی تالک-سرپانتین-اولیوین و حضور کربنات به عنوان فاز تاخیری (xpl). ب) پرفیروبلاستهای نیمه مدور از بروسیت (xpl). ج) پیدایش هیدرومنیزیت به شکل انبوه‌های رشته‌ای، بازمانده تحلیل نرفته بلور دولومیت با حاشیه گرد شده هنوز دیده می‌شود (xpl). د) کربناته شدن تاخیری انبوه‌های نیمه گرد بروسیت به طور کامل (xpl).







شکل ۸- روابط فازی TX و مجموعه کانی‌های موجود در مرمرهای دولومیتی دارای کانی‌های سیلیکاتی (Bucher and Nurminen, 1982).

تراوشی نامید. از طرفی مجاورت بسیار واضح این کانی‌ها با سنگ دیواره (بدون واکنش تدریجی) می‌توان این گونه خاستگاه کانی‌ها را از دیدگاه ریخت‌شناسی و نحوه جای‌گیری را پرشدگی کارستی نامید. لذا نهشت کانی‌ها از سیال هنگامی بوقوع پیوسته است که سنگ میزبان در تعادل فیزیکی-شیمیایی آنها بوده است.

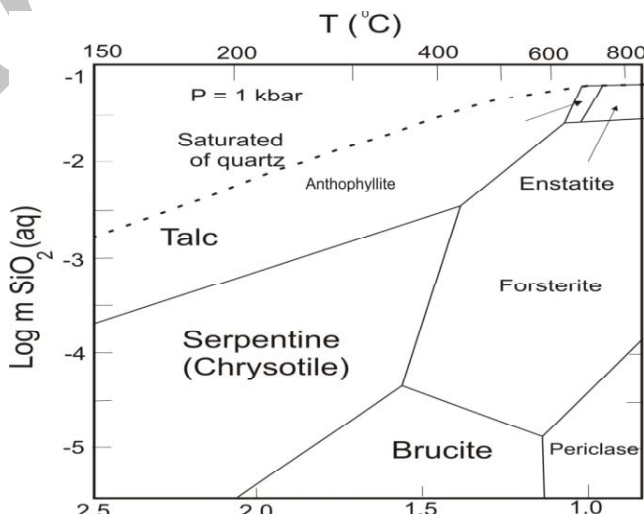
۳- تغییرات دوره‌ای در ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی pH, Eh,  $X_{H_2O}$ ,  $X_{CO_2}$  و دما می‌تواند ناشی از تغذیه دوره‌ای منابع سیال‌ها باشد، برای مثال شکل‌گیری سلول‌های همرفت از آب‌های جوی در اطراف توده نفوذی آنچنان که در سامانه‌های گرمابی مس پورفیری و طلای اپی‌ترمال مورد بحث هستند. این جریان‌های همرفت از آب‌های سرشار از اکسیژن چون متأثر از شرایط جوی هستند بنابراین تغییرات دوره‌ای آنها می‌تواند سبب ایجاد دوره‌های مستمر کانی‌سازی در باقی‌آباد یعنی آبگیری، کربناتی شدن و آبگیری دوباره شده باشد. این نکته لازم به ذکر است که سنگ‌های کربناتی پر تخلخل کارستی مناسب‌ترین سنگ بستر برای این فرآیند است.

همان‌گونه که در واکنش‌های فوق دیده می‌شود. رخداد یک مرحله‌ای کربناتی شدن پسین  $CO_2$  به خرج فرآورده‌های واکنش‌های پیشین برای شکل‌گیری این کانی لازم است.

### نتایج

۱- بر پایه داده‌های روابط پاراژنتیکی کانی‌ها، مرمرهای باقی‌آباد از منشأ چندزادی معرفی می‌شوند. بر اساس داده‌های سنگ‌نگاری کانی‌سازی در ۴ مرحله کربناتی شدن، آبگیری، کربناته شدن مجدد و آبگیری نهایی انجام شده است که نتایج در جدول ۵ دیده می‌شود.

۲- نحوه شکل‌گیری پاراژنهای آبدار مرمرها یعنی بروسیت، سرپانتین، هیدرومنیزیت و تالک، در رخنمون صحرایی نوعی پرشدگی ساده شکستگی‌ها، درزه‌ها، شکاف‌ها و سطوح استیلولیتی مرمرها را تداعی می‌کند. یعنی سیال‌ها تنها مناطق نفوذپذیر را دنبال کرده‌اند، بنابراین می‌توان اینگونه مرمرها را مرمرهای



شکل ۹- منحنی تعادل واکنش‌ها در سامانه  $MgO-SiO_2-H_2O$  که روابط فازی در فشار سیال یک کیلو بار به عنوان تابعی از دما و غلظت سیلیس آبگین (Hemley et al., 1977).

جدول ۵- روابط متقابل کانی‌ها بر پایه مشاهدات میکروسکوپی مرم‌های باقی‌آباد

کانی	Prograde metamorphism	Retrograde metamorphism		
	Decarbonation	First stage hydration	Carbonation	Second stage hydration
پریکلاز	*****			
فورستريت	*****			
سرپانتين		*****		
تالک		*****		
بروسيت		*****		
دولوميت			*****	
کلسيت			*****	
هيدرومنيزيت				*****

- سبزه‌ئی، م.، روشن روان، ج.، ناظم‌زاده شعاعی، م و علائی مهابادی، س، ۱۳۶۵. گزارش اکتشافات فلدسپات و کائولن در منطقه یزد، مدیریت زمین‌شناسی منطقه جنوب خاوری مرکز کرمان، ۶۲.

- مکی‌زاده، محمدعلی، ۱۳۸۷. بررسی کانی‌شناسی و پترولوژیکی اسکارن‌های ایران مرکزی (استان یزد)، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۸.

- نبوی، م. ح.، ۱۹۷۲. نقشه چهارگوش یزد، مقیاس ۱:۲۵۰/۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور.

- Bucher, K. and Fery, M., 1994. Petrogenesis of Metamorphic Rocks, New York, Springer-Verlag, 220.

- Bucher, K. and Nurminen, K., 1982. On the mechanism of contact aureole formation in dolomitic country rock in the Adamello intrusion (north Italy); American Mineralogist, 67, 110-117.

- Coban, F. Derya, M. and Sedat K, 1995. Recent hydromagnesite occurrences, the Salda Lake, Rotterdam, 561-564.

- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P. and Marchal, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1- R2-diagram and major element analyses--Its relationships with current nomenclature: Chemical Geology, 29, 183-210.

- Foster, R. D., 1996, Gold Metallogeny and Exploration, Chapman and Hall, 432.

۴- از آنجا که مرم‌های باقی‌آباد و ماگماتیسیم زاینده آنها درست در زون گسلی تفت - منشاد واقع شده است، می‌توان جنبش‌های گسلی در طول حیات این زمان را مسبب حرکات ضربانی بر سامانه گرمابی دانست یعنی این حرکات دوره‌ای می‌توانند تغییرات فشار بر سامانه گرمابی را به دنبال داشته باشند و تغییرات فشار خود یک عامل کینتیکی بر واکنش‌ها و جریان سیال‌ها است.

۵- برای تامین آب مورد نیاز در واکنش‌های آبپوشی مرحله دوم می‌توان در نظر گرفت که در طی فرآیندهای کربنات‌زایی آب آزاد شده، چون سامانه بازخود واکنش‌های مرحله دوم را سبب شود.

۶- بعد از کربناتی شدن و جانشینی مجدد کلسیت - دولومیت بر کانی‌های سرپانتین - تالک بروسیت، هجوم دوباره آب‌های اطراف (X<sub>H2</sub>O)، هیدرومنیزیت در دمای پایین‌تر شکل گرفته است که این مرحله یعنی پایین آمدن XCO<sub>2</sub> و بالا رفتن XH<sub>2</sub>O پایان کانی‌سازی در مرم‌ها بوده است.

### تشکر و قدردانی

از حمایت‌های مالی دانشگاه شیراز برای فراهم آوردن امکانات مورد نیاز برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از آقای دکتر محمدعلی مکی‌زاده (دانشگاه اصفهان) برای راهنمایی علمی و ارائه برخی نتایج آزمایش تشکر می‌شود.

### منابع

- داوودی، ف.، ۱۳۷۷. پژوهش‌های سنگ شناختی اسکارن‌های منطقه شیرکوه، استان یزد (ده بالا، باقی‌آباد) پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۲۹۶.

- Forster, H., 1978, Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran, Journal of the Geological society of London, V. 135, 443-445.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- Langmuir, D. 1965, Stability of carbonates in the system MgO-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, Journal of Geology, 73, 730-754.
- Hemley, J.J., Montoya, J.W., Shaw D.R. and Luce, R.W., 1977. Mineral equilibria in the MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system, II.
- Øvereng, O., 2000. Granasen, a dolomite-brucite deposit with potential for industrial development, NGU-Bulletin, 436, 75-84.
- Palache, C., Berman, H. and F. Cliffora, 1951. The system of Mineralogy. London, John Wiley and Sons.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J., 1996. Microtec-tonis. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 289.
- Simandl, G. J. and Paradis, S., 2008. Brucite — uses, exploration guidelines and selected grass-root exploration targets, Industrial Mineral, CIM Bulletin, 101, 1106.
- Streckeisen, 1974. Classification and nomenclature of plutonic rocks Ged rdsch, 63, 773-786.
- Taghipour, B., Mackizadeh, M. A. and Moore, F., 2010. Clintonite-spinel paragenetic relationships in Central Iran skarns as evidences of clintonite formation, Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, in press.
- Vonder Borch, C. 1965. The distribution and preliminary geochemistry of modern carbonate sediments of the Coorong area, South Australia, Geochimica et Cosmochimica Acta, 29, 781-799.
- Winkler, H.G.F, 1976. Petrogenesis of Metamorphic Rocks, Springer-Verlag, New York, 348.

Archive of SID