

Geochemical Variation of Carbonates Close to the Tin Ore Deposits

Adabi, M.H.

Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract: Geochemical variations of the Proterozoic dolomite samples close to the ore deposits in the Renison mine area, Tasmania, Australia, are the result of alteration. The oxygen isotope values of the most altered dolomites surrounding the ore deposit indicates that these are affected by hot (up to about 350 °C) hydrothermal fluids. There is a trend of decreasing lighter oxygen and carbon isotope values towards the ore deposit. Carbon isotope values in dolomites are significantly lighter than those least - altered dolomites away from mineralised area, due to alteration ranging from 47 to 95% . Oxygen isotope values are also significantly lighter close to the ore deposit, than less altered samples away from mineralised area. Alteration in oxygen ranging from 20 to 97% . Geochemical analysis also indicates that Fe and Mn are very high but Ca, Mg, Sr and Na are very low in dolomite samples close to the ore deposits. Thus, the result of this study shows that the gradual decreases in oxygen and carbon isotope values, which corresponds to the increasing alteration percent, towards the orebody, along with elemental compositions, are useful for recognition of ore deposits.

Key Words : *Isotopes, Ore Deposits.*

پژوهشی

روند تغییرات ژئوشیمیایی در سنگهای کربناته نزدیک به کانسار قلع

محمدحسین آدابی

گروه زمین شناسی - دانشکده علوم - دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده: از تجزیه شیمیایی سنگهای دولومیتی پروتروزوئیک نزدیک به کانسار قلع معدن رنسون تاسمانیا در استرالیا معلوم شده است که تغییرات شیمیایی در آن سنگها نتیجه دگرسانی است. ایزوتوپ اکسیژن موجود در سنگهای دولومیتی کاملاً دگرسان شده اطراف کانسار قلع مؤید این است که سنگها تحت تأثیر محلولهای گرمابی (هیدروترمالی) گرم (در حدود 350°C) قرار گرفته اند. در مقدار ایزوتوپ اکسیژن و کربن به سمت توده معدنی قلع در سنگهای دولومیتی میزبان، روندی کاهشی دیده می شود، به طوری که هرچه به کانسار نزدیکتر شویم مقدار ایزوتوپ اکسیژن و کربن در این سنگها، به دلیل تماس با محلولهای گرمابی، کاهش یافته و یا به عبارتی سبکتر می شود. مقدار ایزوتوپ کربن در دولومیت های نزدیک به کانسار به مراتب سبکتر از دولومیت های دگرسان نشده و یا دولومیت هایی است که دور از ناحیه کانی سازی قرار دارند. تغییرات ایزوتوپ کربن که نتیجه دگرسانی شدید در این سنگهاست بین ۴۷ تا ۹۵ درصد در نوسان است. ایزوتوپ اکسیژن در سنگهای دولومیتی نزدیک به کانسار قلع نیز به مقدار قابل توجهی سبکتر از نمونه های دولومیتی دگرسان نشده و یا دولومیت های دور از کانسار است. محاسبه نشان می دهد که مقدار دگرسانی در ایزوتوپ اکسیژن سنگهای دولومیتی نزدیک به کانسار قلع بین ۲۰ تا ۹۷ درصد است. این تغییرات بیشتر به فاصله سنگ میزبان تا کانسار بستگی دارد. تجزیه شیمیایی نشان می دهد که مقدار آهن و منگنز در سنگهای دولومیتی نزدیک به کانسار قلع نیز بسیار بالاست، اما مقادیر کلسیم، منیزیم، سدیم و استرانسیم بسیار ناچیز است. بنابراین کاهش تدریجی ایزوتوپ اکسیژن و کربن به سمت کانسار قلع که با افزایش درصد دگرسانی این ایزوتوپها مطابقت دارد، همراه با افزایش آهن و منگنز و کاهش کلسیم، منیزیم، سدیم و استرانسیم، می تواند به عنوان وسیله ای برای ردیابی کانسارهای ناشناخته مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: ایزوتوپ، کانسار

مقدمه

مطالعات ژئوشیمیایی سنگهای کربناتی میزبان توده معدنی می تواند راهگشای ردیابی کانسارهای ناشناخته باشد. چنین مطالعاتی به علت داشتن هزینه کم، دقت و سرعت بالا (در مقایسه با روشهای ژئوفیزیکی) از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در سالهای اخیر استفاده از ایزوتوپهای پایدار اکسیژن و کربن و عناصر فرعی نظیر سدیم، استرانسیم، آهن و منگنز برای مطالعه ویژگیهای ژئوشیمیایی کربناتها، از سوی بسیاری از پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است. کاربرد ایزوتوپ اکسیژن و کربن بیشتر برای تعیین دمای تشکیل و شناخت فرایندهای دیاژنز [درون زادی] حاکم بر محیط است. فراوانی ایزوتوپ اکسیژن و کربن در محیطهای طبیعی، همراه با ویژگیهای تفریقی ایزوتوپهای آنها موجب می شود تا در بررسی تاریخچه و تکوین بسیاری از سنگهای کربناتی و کانسارها و تعیین میزان دگرسانی در آنها از این ایزوتوپهای پایدار استفاده شود. تغییرات ایزوتوپ اکسیژن و کربن در کربناتها معلول عوامل متعددی از قبیل دمای محیط، کانی شناختی، درجه شوری، عمق، تفکیک بیوشیمیایی، و باز و بسته بودن محیط از نظر ایزوتوپی است. افزایش دمای محیط موجب سبکتر شدن ایزوتوپ اکسیژن در کربناتها می شود، یعنی هرچه سنگ میزبان به کانسار نزدیکتر باشد، به دلیل تماس بیشتر با محلولهای گرمابی، فرایند دگرسانی در آنها بیشتر صورت می گیرد و ایزوتوپ اکسیژن کاهش یافته و یا سبکتر می شود. برای محاسبه دمای محلولهای دیاژنتیکی یا گرمابی معمولاً از سبکترین ایزوتوپ اکسیژن استفاده می شود.

در این پژوهش سعی شده است که براساس تغییر ایزوتوپهای موجود در سنگهای کربناتی میزبان، پیشینه دمای تشکیل را محاسبه کرده، و پس از تعیین درصد میزان دگرسانی ایزوتوپها و نیز بررسی میزان عناصر اصلی و فرعی آن، قدمی در راستای ردیابی کانسارهای ناشناخته برداشت.

زمین شناسی ناحیه ای

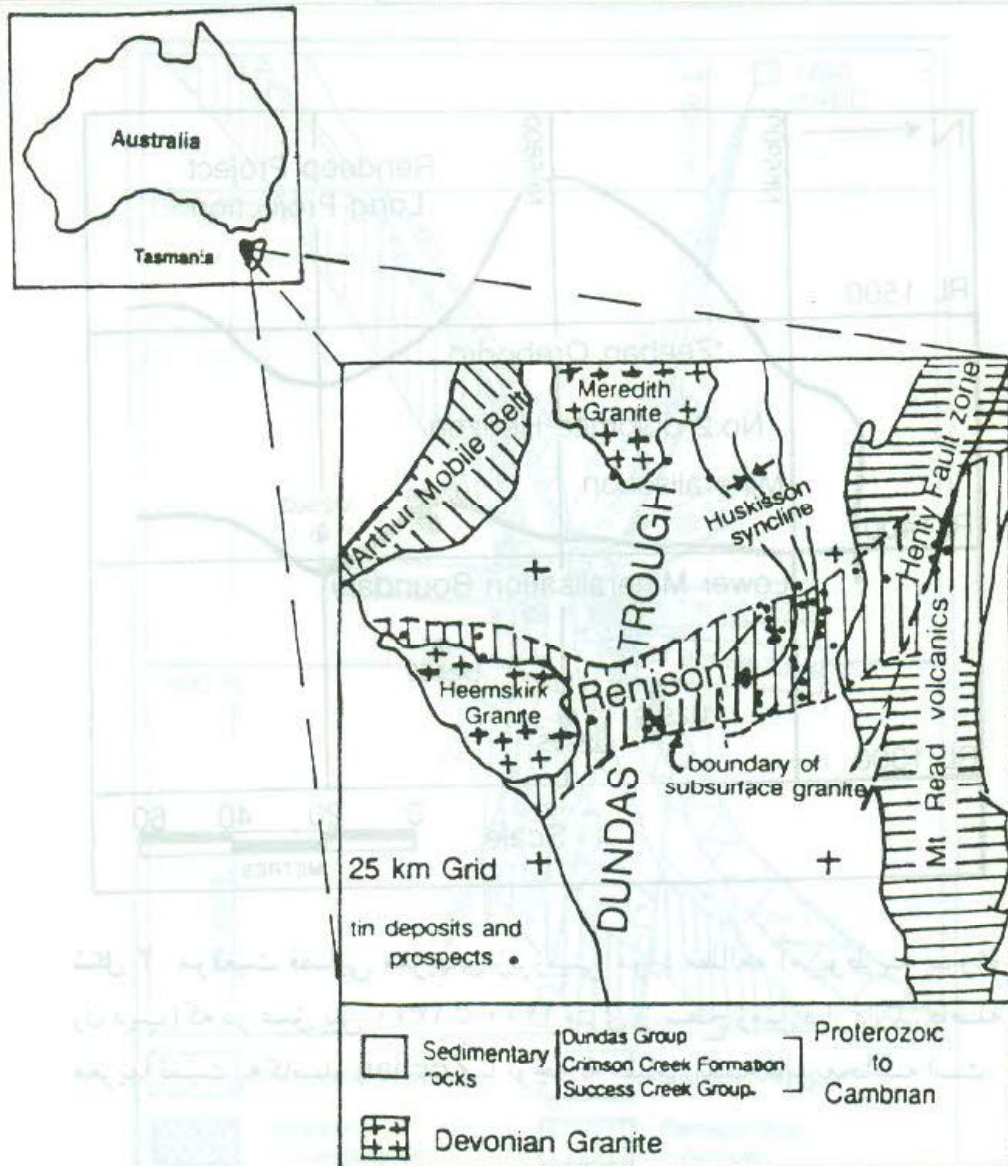
معدن رنسون که بزرگترین معدن قلع لایه ای در استرالیا است، در بخش مرکزی گودال دان داس، که یک یوژئوسنکلینال با روند شمالی و جنوبی است، در غرب ایالت تاسمانیا

واقع شده است (شکل ۱). این گودال از توالیهای رسوبی با سن پروتروزوئیک تا کامبرین تشکیل شده است. قدیمی‌ترین رسوبات دان داس شامل رسوبات آواری و کربناتی گروه ساکسس‌گریک است و دو افق دولومیتی شماره ۲ و ۳ را شامل می‌شود. روی این تشکیلات، رسوبات کربناتی آواری و ولکانوکلاستیک سازند کریمسون‌گریک قرار دارد و افق دولومیتی شماره ۱ را شامل می‌شود. در توالیهای رسوبی معدن رنسون این سه افق دولومیتی، سنگ میزبان کانسار قلع بوده و بطور ناقص تا کامل، به وسیله کاسیتريت غنی از پیروتیت جایگزین شده است. اگر چه گرانیتهای متعددی در غرب ایالت تاسمانیا رخنمون شده‌اند (شکل ۱)، اما این معدن را گرانیت پایین هیل* با سن دونین قطع کرده و محلولهای گرمابی از طریق گسلهای اصلی متعددی که بر اثر بالا آمدگی همین توده گرانیتهای به وجود آمده‌اند، کانی‌سازی وسیعی را در منطقه موجب شده است. عقیده بر این است که گرانیت پایین هیل منبع اصلی تزریق محلولهای گرمابی به درون گسلهاست [۱ و ۲].

روش‌های مطالعه

در این پژوهش ۲۴ نمونه از سنگهای دولومیتی زیرزمینی واقع در فاصله ۱ تا ۱۱۰ متری از کانسار قلع مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۲). این دولومیتها که مربوط به افق شماره ۲ است در اعماق ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ متری از سطح زمین قرار دارند. عیار کانسنگ (درصد وزنی) نزدیک به نمونه‌های برداشت شده در شکل ۳ مشخص شده است. پودر انواع مختلف دولومیتها برای تجزیه شیمیایی پس از مطالعه مقاطع نازک، با استفاده از مته‌های دندانه‌پزشکی و میکروسکوپ دوچشمی، نمونه‌برداری شده است. ۱۵ میلی‌گرم از پودر دولومیت به مدت ۲۴ ساعت تحت تأثیر اسید فسفریک و در دمای 50°C قرار داده شد، و گاز CO_2 متصاعد شده از هر نمونه برای تعیین ایزوتوپ اکسیژن و کربن با طیف سنج جرمی مرکز آزمایشگاهی علوم دانشگاه تاسمانیا (استرالیا) مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که ایزوتوپ اکسیژن در دولومیتهایی که تحت تأثیر محلول اسید

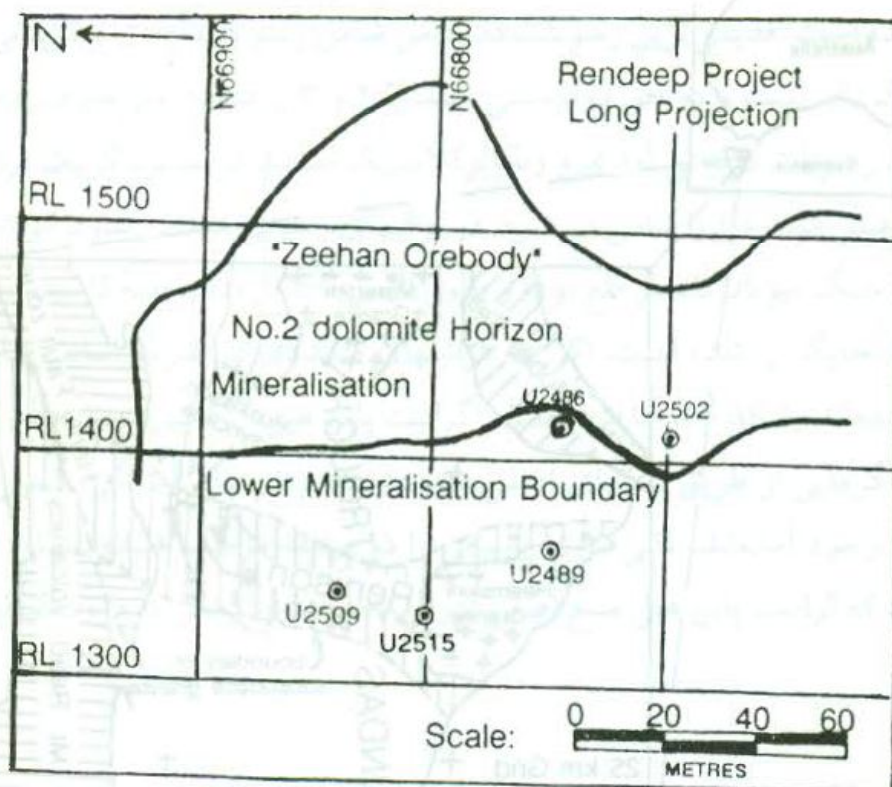
* Pine Hill



شکل ۱ موقعیت زمین شناسی ناحیه‌ای غرب ایالت تاسمانیا در

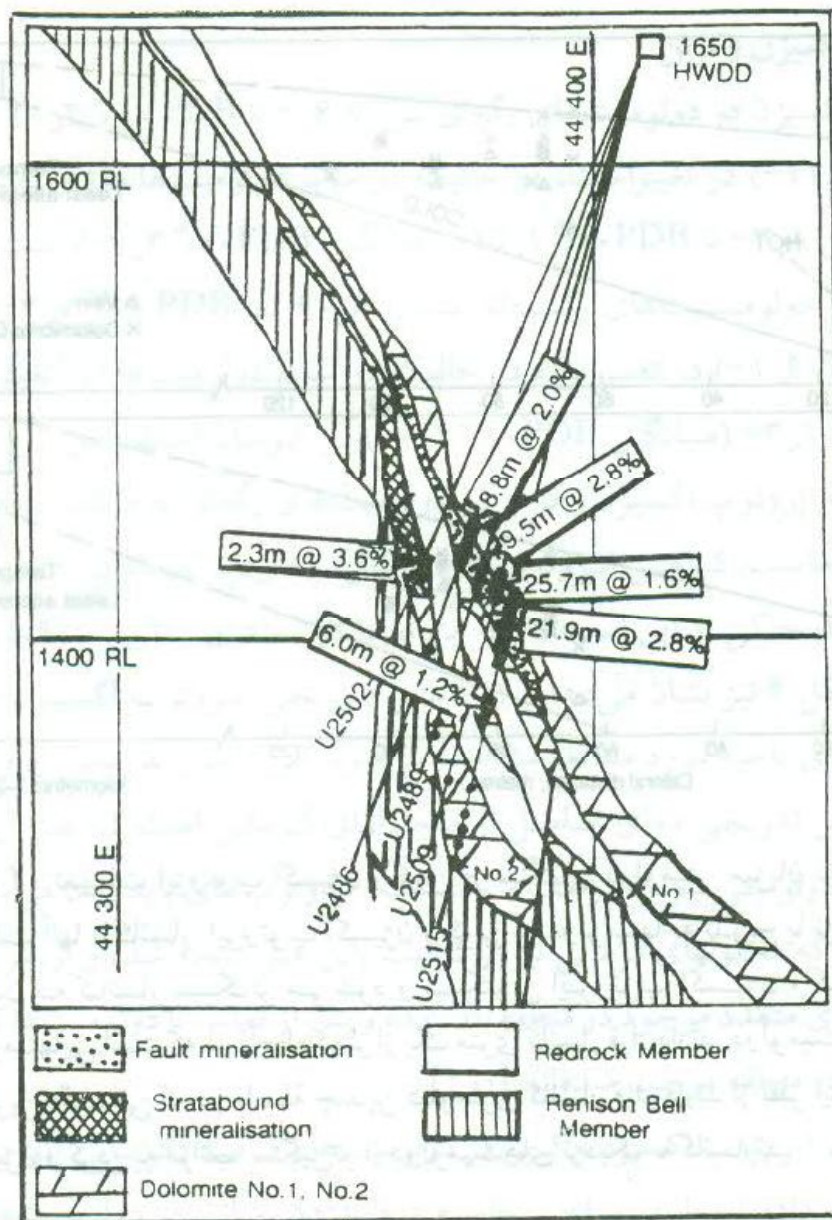
استرالیا، کانی سازی قلع و محل معدن رنسون [۳].

فسفریک در دمای 50°C واکنش نشان می‌دهند، نسبت به نمونه‌های نظیر در دمای 25°C به مقدار 1% کاهش می‌یابد [۴]، لذا برای استاندارد کردن ایزوتوپهای اکسیژن در این دولومیت‌ها به اندازه 1% ایزوتوپ اکسیژن به هریک از نمونه‌ها اضافه شده است. ایزوتوپ اکسیژن و کربن را به صورت Per mil نشان داده و نسبت به استاندارد بین المللی PDB سنجیده شد. درستی اندازه‌گیریهای ایزوتوپی 1% $\pm$ بوده است.



شکل ۲ موقعیت فضایی مغزیهای زیرزمینی مورد مطالعه (مربوط به پروژه رن دیپ) که در عمق بین ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ متری از سطح زمین قرار دارند. فاصله مغزیها نسبت به کانسار Zeehan با توجه به مقیاس نقشه قابل محاسبه است.

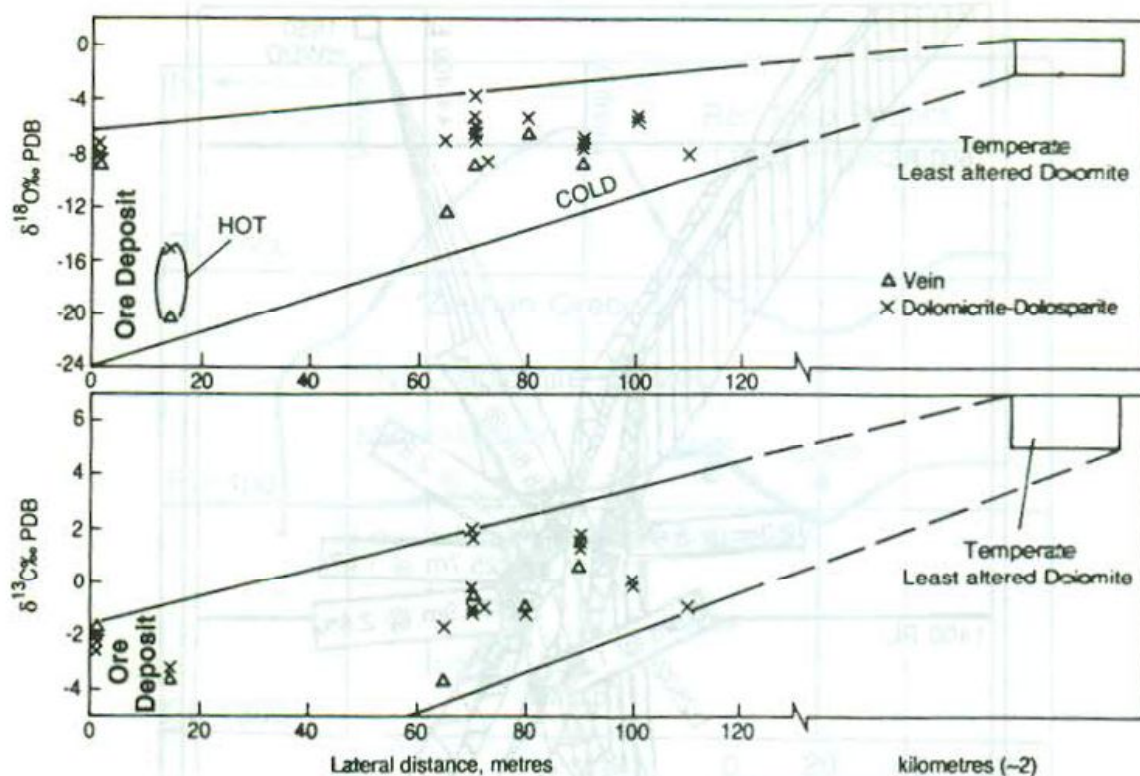
بخش دیگری از همان پودر دولومیتی را که برای بررسی ایزوتوپی مورد استفاده قرار داریم، پس از ۲ ساعت که در محلول یک مول اسیدکلریدریک قرار داده شد، با دستگاه جذب اتمی (AAS) برای تعیین عناصر اصلی و فرعی مورد بررسی قرار گرفت. صحت بررسیها برای عناصر فرعی Sr، Na، Fe و Mn معادل $\pm 5\%$ پی پی ام و برای عناصر اصلی Mg و Ca برابر با ۱٪ بود [۵]. از استانداردهای GFS - 400 و NBS - 88b برای درستی و کنترل تجزیههای شیمیایی مربوط به عناصر اصلی و فرعی استفاده شد.



شکل ۳ برش عرضی از وضعیت زمین‌شناسی و فاصله مغزیهای زیرزمینی نسبت به توده معدنی. مقدار عیار کانسنگ قلع نمایش داده شده است.

ایزوتوپهای پایدار

از ژئوشیمی ایزوتوپهای پایدار برای بررسی و مطالعه سنگهای رسوبی کربناتی، ارتباط ترکیب کربناتها با محیط رسوبگذاری، فرایندهای دیاژنتیکی، و تعیین میزان دگرسانی استفاده می‌شود. در این پژوهش از ایزوتوپهای پایدار اکسیژن و کربن نیز برای بررسی



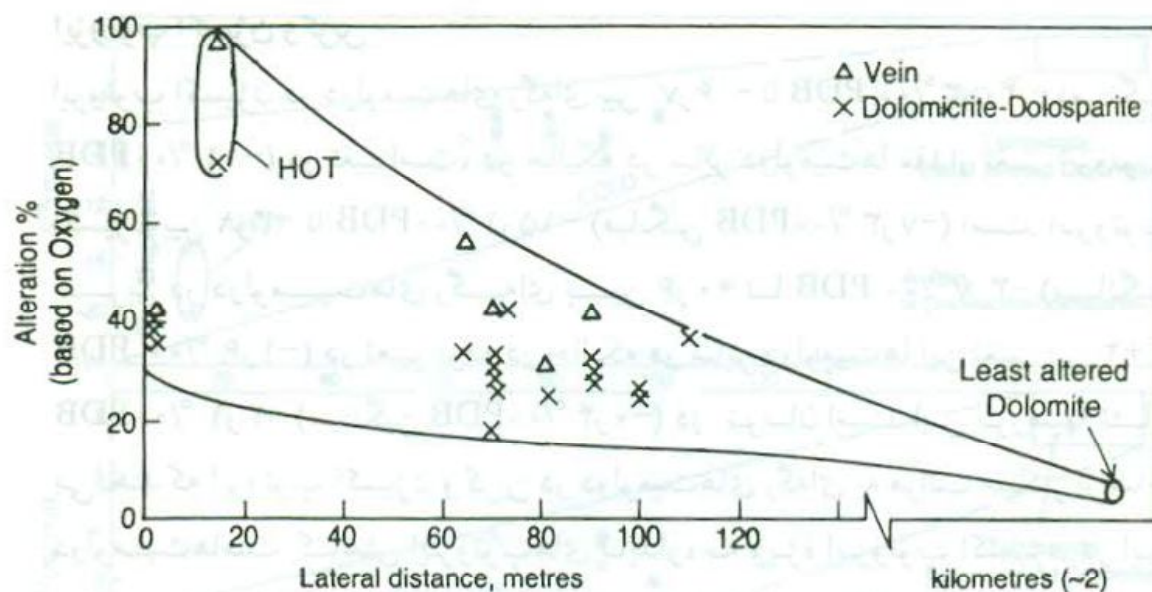
شکل ۴ تغییرات ایزوتوپ اکسیژن و کربن در سنگهای دولومیتی میزبان نسبت به مسافت آنها تا کانسار. ایزوتوپ اکسیژن و کربن در دولومیتها به تدریج با نزدیک تر شدن به کانسار سبک تر می شود و سبکترین ایزوتوپ اکسیژن و کربن در دولومیتهایی است که در فاصله کمتر از یک متری کانسار قرار دارند. دولومیت های با کمترین دگرسانی که در فاصله چندین کیلومتری کانسار قرار دارند از نظر ایزوتوپ اکسیژن و کربن به مراتب سنگین تر از دولومیت های نزدیک به کانسارند.

تغییر تدریجی، درصد دگرسانی، و تعیین دمای تشکیل کربناتها استفاده شده است. معمولاً برای مطالعه کربناتها از نسبت های ایزوتوپی ^{13}C به ^{12}C و ^{18}O به ^{16}O استفاده می شود، در حالیکه برای مطالعه توالیهای تبخیری و کانی سازی سولفیدی ایزوتوپ های سولفور به کار گرفته می شوند [۶]. نتایج ایزوتوپ اکسیژن و کربن نمونه ها معمولاً در مقابل یکدیگر ترسیم می شوند زیرا به راحتی می توان ارتباط بین نمونه ها و تغییر آنها را به خوبی مشاهده کرد (شکل ۴).

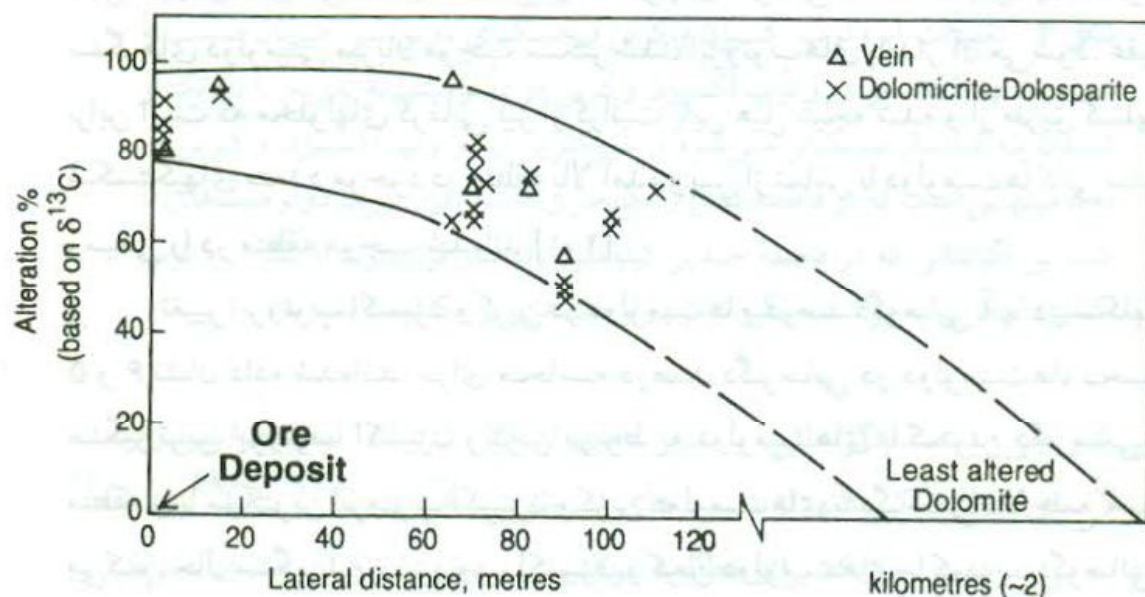
ایزوتوپ اکسیژن و کربن

ایزوتوپ اکسیژن در دولومیت‌های رگه‌ای بین ۶۷ - تا PDB $\text{‰} ۲۰۳$ - (میانگین PDB $\text{‰} ۱۱$ -) در تغییر است، در حالیکه در سایر دولومیت‌ها مقدار تغییر ایزوتوپ اکسیژن بین ۳۸ - تا PDB $\text{‰} ۱۵۱$ - (میانگین PDB $\text{‰} ۷۳$ -) است. ایزوتوپ کربن در دولومیت‌های رگه‌ای بین ۰۶ + تا PDB $\text{‰} ۳۷$ - (میانگین PDB $\text{‰} ۱۶$ -) در تغییر بوده در حالیکه در سایر دولومیت‌ها این تغییر بین ۲ + تا PDB $\text{‰} ۱۰۰$ - (میانگین PDB $\text{‰} ۴$ -) در نوسان است. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که ایزوتوپ اکسیژن و کربن در دولومیت‌های رگه‌ای به مراتب سبکتر از سایر دولومیت‌هاست. کاهش ایزوتوپ‌های پایدار، به ویژه ایزوتوپ اکسیژن در این دولومیت‌ها، حاکی از این است که آن ایزوتوپ‌ها در دماهای بالایی تشکیل شده‌اند. چنانکه شکل ۴ نیز نشان می‌دهد یک کاهش تدریجی ایزوتوپ اکسیژن و کربن در دولومیت‌های ناحیه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. این کاهش تدریجی ایزوتوپ‌ها نیز به دلیل افزایش تدریجی دمای حاصل از محلولهای گرمابی است که پس از تماس با سنگ‌های دولومیتی میزبان موجب سبکتر شدن ایزوتوپ‌های پایدار آن می‌شود. عقیده بر این است که محلولهای گرمابی نیز از گرانت پاین هیل نتیجه شده و از طریق گسل‌ها و شکستگی‌های متعدد موجود در منطقه بالا آمده و پس از تماس با دولومیت‌ها کانی‌سازی وسیعی را در منطقه موجب شده‌اند [۲۱].

تغییر ایزوتوپ اکسیژن و کربن در دولومیت‌ها و درصد دگرسانی آنها در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند. برای محاسبه درصد دگرسانی در دولومیت‌ها، نخست سنگین‌ترین ایزوتوپ اکسیژن و کربن مربوط به دولومیت‌های با کمترین دگرسانی در منطقه را با سبکترین ایزوتوپ اکسیژن و کربن دولومیت‌های با دگرسانی بالا جمع جبری می‌کنم. حال سنگین‌ترین ایزوتوپ اکسیژن و کربن دولومیت‌های با کمترین دگرسانی را با تک تک نمونه‌های مورد مطالعه خود جمع و بر مجموع اختلاف بین سنگین‌ترین ایزوتوپ اکسیژن و کربن مربوط به دولومیت‌های با کمترین و بیشترین دگرسانی در منطقه تقسیم می‌کنیم. ذکر این نکته ضروری است که سنگین‌ترین ایزوتوپ اکسیژن و کربن مربوط به دولومیت‌های دارای کمترین دگرسانی به ترتیب صفر (PDB $\text{‰} ۰$) و



شکل ۵ تغییر درصد دگرسانی ایزوتوپ اکسیژن در سنگ‌های دولومیتی میزبان نسبت به مسافت آنها تا کانسار. درصد دگرسانی ایزوتوپ اکسیژن در سنگهای دولومیتی نزدیک به کانسار بسیار بالاست.



شکل ۶ تغییر درصد دگرسانی ایزوتوپ کربن در سنگ‌های دولومیتی میزبان نسبت به مسافت آنها تا کانسار. درصد دگرسانی در ایزوتوپ کربن سنگهای دولومیتی نزدیک به کانسار بسیار بالاست. در این تصویر دولومیت‌های با کمترین دگرسانی در مسافتهای بیش از چند کیلومتری کانسار قرار دارند.

PDB ‰ +۷ و سبک ترین ایزوتوپ اکسیژن و کربن که مربوط به دولومیت‌های با بیشترین دگرسانی است به ترتیب ۲۱- و PDB ‰ -۴ است [۲]. همانطور که شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند درصد دگرسانی ایزوتوپ اکسیژن و کربن در نمونه‌های نزدیک به کانسار، به مراتب بیشتر از دولومیت‌هایی است که در فاصله دورتری از کانسار قرار گرفته‌اند. درصد دگرسانی ایزوتوپ اکسیژن در سنگهای دولومیتی مورد مطالعه بین ۲۰ تا ۹۷ درصد و درصد دگرسانی ایزوتوپ کربن بین ۴۷ تا ۹۷ درصد در تغییر است. نکته جالب اینکه درصد پیشینه دگرسانی ایزوتوپ کربن (بیش از ۸۰ درصد) به دولومیت‌هایی مربوط می‌شود که در فاصله کمتر از ۲۰ متری کانسار قلع قرار گرفته‌اند (شکل ۶). اصولاً دولومیت‌های با دگرسانی کم در فاصله چندین کیلومتری از توده معدنی قرار دارند و از نظر ایزوتوپ اکسیژن و کربن به مراتب سنگین‌تر از نمونه‌های نزدیک به کانسارند. علت این است که این دولومیت‌ها در تماس با توده‌های معدنی نبوده و لذا تاثیر محلولهای گرمابی گرم بر آنها بسیار ناچیز است. لازم به ذکر است که دولومیت‌های با دگرسانی کم معمولاً ریزدانه‌تر از دولومیت‌های با دگرسانی بالا هستند، زیرا این دولومیت‌ها تحت تاثیر فرایند تبلور مجدد قرار گرفته‌اند. تبلور مجدد در این دولومیت‌ها حاصل تأثیر سیالات گرمابی گرم بر آنهاست [۲].

محاسبه دما

از زمانی که معلوم شد که تفکیک ایزوتوپی اکسیژن بیشتر به دمای محیط بستگی دارد [۷۶]، استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن در ژئوشیمی و رشته‌های وابسته به علوم زمین توسعه پیدا کرده است. عقیده بر این است که از روی اختلاف بین نسبت ایزوتوپ ^{18}O به ^{16}O در رسوبات کربناتی و سیالاتی که در آنها ته نشین می‌شوند، می‌توان پارینه دما را محاسبه کرد [۷۶]. نسبت بین ایزوتوپ‌های اکسیژن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}\} \times 1000}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}} \quad (1)$$

استانداردی که برای نشان دادن ایزوتوپ اکسیژن و کربن در کربنات‌ها به کار

می‌رود استاندارد PDB (استاندارد بلمنیت مربوط به کرتاسه فوقانی) است. ایزوتوپ اکسیژن را نیز می‌توان براساس SMOW (Standard Mean Ocean Water) گزارش کرد.

معادلات متعددی برای محاسبه دمای کربناتها ارائه شده‌اند. در زیر معادله‌ای که از آن برای محاسبه دمای دولومیت در این پژوهش استفاده شده است نشان داده می‌شود. این معادله را Land [۸] در سال ۱۹۸۵ ارائه کرده است.

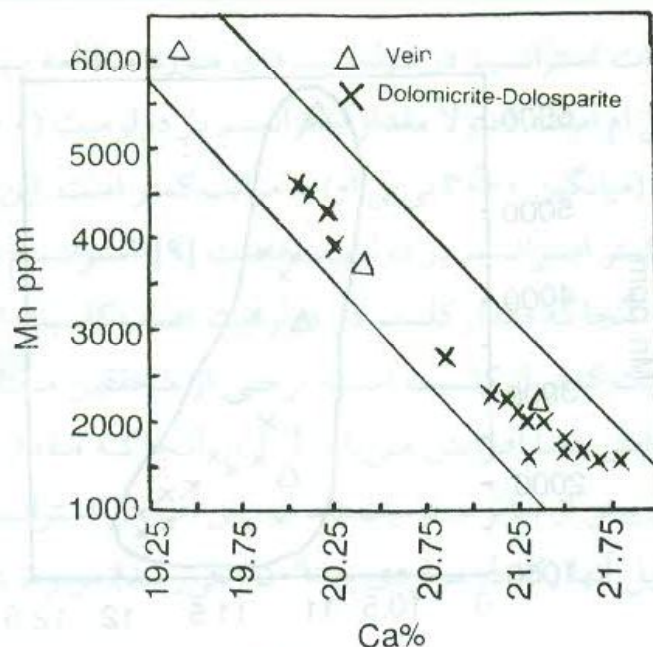
$$T(^{\circ}\text{C}) = 16.4 - 4.3([\delta^{18}\text{O}_{\text{dol.}} - 3.8] - \delta_{\text{water}}) + 0.14([\delta^{18}\text{O}_{\text{dol.}} - 3.8] - \delta_{\text{water}})^2$$

در این معادله ایزوتوپ اکسیژن سنگ دولومیت با علامت $\delta^{18}\text{O}_{\text{dol.}}$ و ایزوتوپ سیالات با δ_{water} نشان داده شده‌اند. برای محاسبه بیشتر دمای دیاژنتیکی حاکم بر محیط از سبکترین ایزوتوپ اکسیژن که معادل PDB 0‰ است استفاده شد. در معادله بالا بجای δ_{w} مقدار ایزوتوپ اکسیژن آبهای گرمابی برابر (SMOW) ۹ قرار داده شد. این عدد براساس میانگین چند صد ایزوتوپ اکسیژن موجود در سیالات درگیر رگه‌های کوارتز تعیین و مورد استفاده قرار گرفتند [۱]. براین اساس بیشینه دمای تخمین زده شده معادل 350°C بوده است. این دما مشابه دماهای محاسبه شده سیالات درگیر است [۱].

عناصر اصلی و فرعی

توزیع عناصر اصلی و فرعی در سنگهای کربناتی به عوامل متعددی نظیر ترکیب کانی شناختی، دما، ترکیب سیالات، و شرایط اکسایش و احیاء بستگی دارد. لذا مطالعه عناصر اصلی و فرعی در سنگهای کربناتی می‌تواند راهنمایی برای شناسایی فرایندهای دیاژنتیکی حاکم بر محیط باشد.

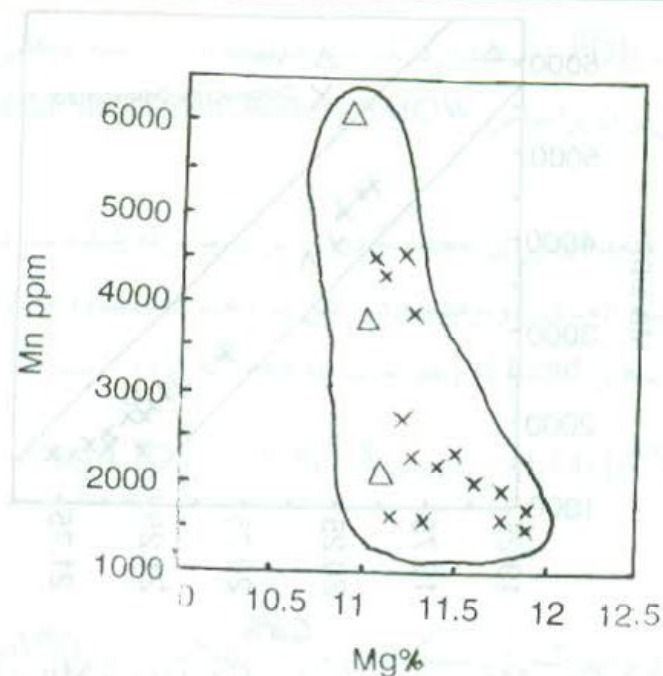
کلسیم: بنا بر استانداردهای بین المللی مقدار کلسیم در دولومیت‌های خالص 21.74% درصد است، در حالی که مقدار کلسیم در دولومیت‌های مورد مطالعه بین 19.40% تا



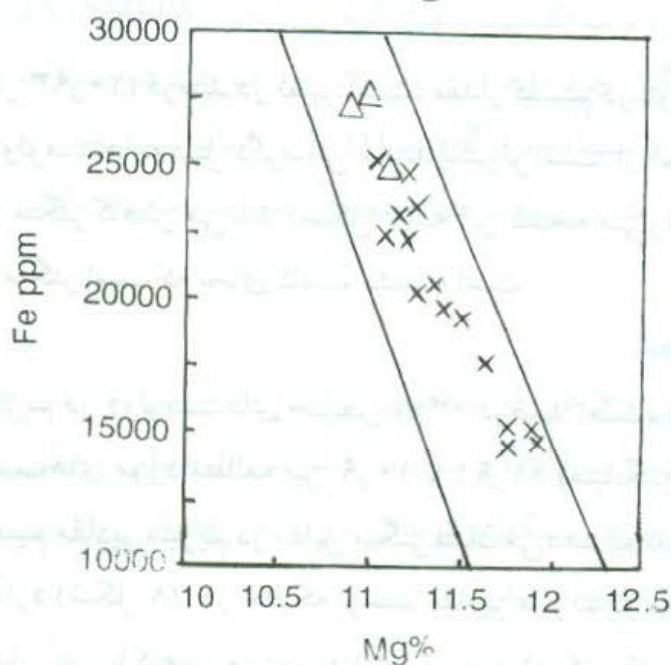
شکل ۷ تغییرات Mn در مقابل Ca. در این نمودار بین Mn و Ca یک رابطه منفی یا معکوس وجود دارد، به طوریکه با کاهش Ca مقدار Mn افزایش می یابد. چنین تغییری به دلیل دگرسانی دیاژنتیکی و جانشینی Mn به جای Ca است.

۲۱٫۸۰ (میانگین ۲۰٫۹۳) درصد در تغییر است. مقدار کلسیم در دولومیت های رگه ای نسبت به سایر دولومیت ها به دلیل دگرسانی شدید پائین تر است. از آنجا که مقدار کلسیم با افزایش مقدار منگنز کاهش می یابد (شکل ۷) به این نتیجه می رسیم که در شبکه دولومیت بیشتر منگنز است که بجای کلسیم نشسته است.

منیزیم: مقدار منیزیم در دولومیت های خالص ۱۳٫۸ درصد است، در حالیکه مقدار منیزیم در دولومیت های مورد مطالعه بین ۱۰٫۹ تا ۱۱٫۹۱ (میانگین ۱۱٫۳۵) درصد تغییر می کند. ترسیم مقادیر منیزیم در مقابل منگنز نشان می دهد که تغییر منیزیم به تغییر منگنز بستگی ندارد (شکل ۸)، در حالیکه ترسیم مقادیر منیزیم در مقابل آهن حاکی از این است که مقدار آهن با کاهش منیزیم افزایش می یابد (شکل ۹). بنابراین در شبکه دولومیت آهن جایگزین منیزیم شده است. کاهش بیشتر مقدار منیزیم در دولومیت های رگه ای نسبت به سایر دولومیت ها به دلیل دگرسانی شدیدتر آنها است.



شکل ۸ تغییرات Mn در مقابل Mg. در این نمودار به دلیل اینکه Mn نمی‌تواند جانشین Mg شود هیچ تغییر منظمی دیده نمی‌شود.



شکل ۹ تغییرات Fe در مقابل Mg. در این نمودار بین Fe و Mg یک رابطه منفی یا معکوس وجود دارد به طوریکه با کاهش Mg مقدار Fe افزایش می‌یابد. چنین تغییری به دلیل تغییرات دیاژنتیکی و نیز جانشینی Fe به جای Mg است.

استرانسیم: دامنه تغییرات استرانسیم در دولومیت‌های مورد مطالعه بین ۱۰۴ تا ۲۹۲ (میانگین ۱۴۳) پی پی ام است. اصولاً مقدار استرانسیم در دولومیت (۱۰۰ تا ۷۰۰ پی پی ام) نسبت به کلسیت (میانگین ۳۰۰۰ پی پی ام) به مراتب کمتر است. این کاهش بیشتر به دلیل ضریب تقسیم کمتر استرانسیم در دولومیت‌هاست [۹]. استرانسیم معمولاً جانشین کلسیم می‌شود، و از آنجا که مقدار کلسیم در دولومیت نصف کلسیت است، لذا مقدار استرانسیم در دولومیت کمتر از کلسیت است. برخی از محققین معتقدند که مقدار استرانسیم با افزایش دما افزایش می‌یابد [۷]. از آنجا که مقدار استرانسیم در دولومیت‌های رگه‌ای بیش از سایر دولومیت‌هاست، این افزایش استرانسیم را می‌توان به بالا بودن دمای تشکیل آنها (که در مواردی به 350°C می‌رسد) مربوط دانست.

سدیم: مقدار سدیم در دولومیت‌ها بین ۱۶ تا ۲۴۳ (میانگین ۶۳) پی پی ام تغییر می‌کند. در دولومیت‌های رگه‌ای مقدار سدیم در مقایسه با سایر دولومیت‌ها به مراتب بیشتر است. این افزایش سدیم در دولومیت‌های رگه‌ای را می‌توان به بالاتر بودن درجه شوری سیالات دولومیت ساز نسبت داد. مقدار سدیم در دولومیت‌ها با افزایش درجه شوری آب افزایش می‌یابد، و لذا در بسیاری از نوشتارها از عنصر سدیم به عنوان عامل تعیین کننده درجه پارینه شوری محیط‌ها یاد شده است [۱۰]. از آنجا که مقدار سدیم در دولومیت‌های مورد مطالعه (به استثنای دولومیت‌های رگه‌ای) بسیار پائین است، این کاهش می‌تواند نتیجه دگرسانی دولومیت‌ها در اثر سیالات دیاژنتیکی با درجه شوری کم باشد. نتیجه اینکه سیالات دیاژنتیکی که عاملی در دگرسانی دولومیت‌ها به شمار می‌آیند از نظر ترکیب شیمیایی به ویژه از نظر درجه شوری متفاوت بوده‌اند.

منگنز و آهن: مقدار منگنز در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱۵۶۰ تا ۶۱۵۸ (میانگین ۲۸۴۵) پی پی ام تغییر می‌کند. دامنه تغییرات آهن در این نمونه‌ها بین ۱۴۲۷۸ تا ۲۷۰۵۸ (میانگین ۲۱۱۰۲) پی پی ام است. معمولاً میانگین آهن در دولومیت‌ها به مراتب بیش از آهک‌هاست زیرا آهن معمولاً جانشین منیزیم می‌شود. بنابراین افزایش قابل ملاحظه آهن در دولومیت‌ها به دلیل حضور فراوان منیزیم در شبکه دولومیت است (شکل ۹).

حضور بیشتر آهن و منگنز در دولومیت‌ها نسبت به استرانسیم و سدیم به دلیل ضریب تقسیم بسیار بالای این عناصر (بیش از ۱۵) است [۹ و ۱۰]. برخی از محققین معتقدند که حضور مقادیر قابل ملاحظه آهن و منگنز در دولومیت‌ها حاکی از شرایط احیایی حاکم بر محیط در طول فرایند دگرسانی است [۹]. معمولاً شرایط غیراحیایی از جانشینی آهن و منگنز در شبکه دولومیت جلوگیری کرده در حالیکه محیط‌های احیایی شرایط مناسبی را برای جایگزینی مقادیر قابل توجهی آهن و منگنز در شبکه دولومیت فراهم می‌آورد. بنابراین مقادیر قابل ملاحظه آهن و منگنز در دولومیت‌های نزدیک به کانسار می‌تواند به دلیل واکنش این سنگها با سیالات غیر دریایی (بیشتر گرمابی) در شرایط احیایی باشد، زیرا مقادیر آهن و منگنز در سیالات دریایی بسیار پائین است.

نتیجه و برداشت

بررسیهای این پژوهش نشان می‌دهد که تغییر ایزوتوپ اکسیژن و کربن و عناصر اصلی و فرعی نظیر Ca ، Mg ، Fe و Mn در سنگهای کربناتی نزدیک به کانسارهای قلع در معدن رنسون بسیار زیاد بوده و لذا می‌تواند به عنوان الگویی برای ردیابی آنها مورد استفاده قرار گیرد.

کاهش تدریجی ایزوتوپ اکسیژن و کربن و افزایش درصد دگرسانی این ایزوتوپها در سنگهای دولومیتی نزدیک به کانسار، که در فاصله یک متری تا ۱۱۰ متری از آن قرار دارند، حاکی از دگرسانی شدید این سنگها در اثر محلولهای گرمابی حاصل از فعالیت توده گرانیته موجود در منطقه است.

درصد دگرسانی ایزوتوپ اکسیژن و کربن در سنگهای دولومیتی نزدیک به کانسار به ترتیب بین ۲۰ تا ۹۷ درصد در تغییر است. هرچه سنگهای کربناتی به کانسار نزدیکتر باشند شدت و درصد دگرسانی در این سنگها بیشتر و ایزوتوپهای اکسیژن و کربن آنها سبکتر است. برعکس سنگهای کربناتی دورتر از کانسار از نظر ایزوتوپ اکسیژن و کربن سنگین‌تر و یا مثبت‌تر هستند. سبک‌ترین ایزوتوپ اکسیژن حاکی از تشکیل آنها در دمایی معادل $350^{\circ}C$ است. این دما مشابه دمای سیالات درگیر در رگه‌های کوارتز نزدیک به توده گرانیته در منطقه است.

مقدار عناصر Ca، Mg، Sr، Na در دولومیت‌های با دگرسانی بالا، که در نزدیک به کانسار قرار دارند کم ولی مقدار عناصری نظیر Fe و Mn بسیار بالاست. کمترین مقدار آهن در این نمونه‌ها در حدود ۱۵ درصد و بیشترین آن در حدود ۳ درصد است. بیشترین مقدار Mn در این نمونه‌ها در حدود ۰٫۶ درصد است. این افزایش قابل ملاحظه عناصر Fe و Mn در این سنگها به فعالیت‌های گرمابی در منطقه که تحت شرایط احیایی صورت گرفته نسبت داده می‌شود. از آنجا که افزایش Fe و Mn به ترتیب با کاهش Mg و Ca همراه است، نتیجه می‌شود که در شبکه دولومیت جایگزینی Fe به جای Mg و Mn به جای Ca صورت گرفته است. پائین بودن مقدار عناصر Na و Sr در دولومیت‌های نزدیک به کانسار نیز دلیلی بر تاثیر سیالات گرمابی بر این سنگهاست. تحقیقات نشان داده است که کاهش مقدار Na و Sr در سنگهای کربناتی که تحت تاثیر فرایندهای متوریتی (آب شیرین) و یا گرمابی قرار گرفته‌اند بسیار پائین است. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان چنین گفت که مطالعات ژئوشیمیایی نیز می‌تواند کارائی مفیدی در ردیابی کانسارهای میزبان در سنگ دولومیت داشته باشد.

قدردانی

بدینوسیله از زحمات مسئولان آزمایشگاه مرکز علوم دانشگاه تاسمانیا به خاطر همکاریهایشان در انجام آزمایشات ژئوشیمیایی در تابستان ۱۳۷۶ و نیز از همکاری سرکار خانم ضیایی به خاطر تایپ و آقای احمد رئوفیان در رسم شکل‌های این مقاله صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- 1 - Kitto, P. A. (1994) Structural and geochemical controls on mineralisation at Renison, Tasmania, Unpub. Ph.D. thesis, Univ. Tasmania, 484.
- 2 - Adabi, M. H., Rao, C. P., and Kitto, P. A. (1996) The source of hydrothermal fluids responsible for carbonate alteration, Renison, Tasmania, Australia, *13th Geol. Conv. Australia*, (abst), 7.

- 3 - Large, R. R. (1992) Tasmanian exploration - the challenge and the opportunity, *Bull. Geol.Surv. Tasmania*.
- 4 - Gao, G., and Land, L. S. (1991) Early Ordovician Cool Creek Dolomite, Middle Arbuckle Group, Slick Hills, SW Oklahoma, USA, *Jour. Sed. Petrology*, **61**, 161 - 173.
- 5 - Robinson, P. (1980) Determination of calcium, magnesium, manganese, strontium, sodium and iron in the carbonate fraction of limestones and dolomites, *Chem. Geology*, **28**, 135 - 146.
- 6 - Moore, C.H. (1989) Carbonate Diagenesis and Porosity, Amsterdam, Elsevier, 338.
- 7 - Morse, J. W., and Mackenzie, F. T. (1990) Geochemistry of Sedimentary Carbonates, New York, Elsevier, 707.
- 8 - Land, L.S. (1985) The origin of massive dolomite, *Jour. Geol. Education*, **33**, 112- 125.
- 9 - Pingitore, N. R. Jr. (1978) The behaviour of Zn and Mn during carbonate diagenesis : theory and applications, *Jour. Sed. Petrology*, **48**, 799 - 814.
- 10 - Veizer, J. (1983) Chemical diagenesis of carbonates, *Soc. Econ. Palaeont. Mineral. Short Course No. 1*, **3** - 100.
- 11 - Land, L. S. (1986) Environments of limestone and dolomite diagenesis : Some geochemical consideration : in Bathurst, R.G.C., and Land, L. S., (eds.), Carbonate Depositional Environments, Modern and Ancient, Diagenesis : *Quart. Colorado School of Mines*, **81**, 26-41.