

## ارزیابی دولومیت های غنی از منیزیم شهرستان اردل

### (استان چهارمحال و بختیاری)

خدیدجه خلیلی<sup>۱\*</sup>، علی خسروی بختیاری<sup>۲</sup>

۱-<sup>\*</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷ [khalilikhadijeh@pnu.ac.ir](mailto:khalilikhadijeh@pnu.ac.ir)

۲- شرکت زمین کاوان بردین، پارک علم و فناوری

### چکیده

شهرستان اردل واقع در بخش مرکزی استان چهارمحال و بختیاری، بخشی از رشته کوههای زاگرس می‌باشد که از نظر زمین‌شناسی، تکتونیکی و چینه‌شناسی از ویژگی‌های ساختاری و زمین‌شناسی زاگرس پیروی می‌کنند. این منطقه به دلیل حضور دولومیت های غنی از منیزیم اهمیت زمین شناسی و اقتصادی دارد. بررسی‌های صحرایی و نتایج حاصل از آنالیز XRF و XRD نمونه های آهکی در منطقه مورد مطالعه نشان داده است که در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های آهکی از نوع کلسیت، کلسیت دولومیتی، دولومیت و دولومیت غنی از منیزیم می باشند. دولومیت‌هایی با میزان ( $28 < \text{Mg} < 21.7 \text{ Wt } \%$ ) در دسته دولومیت‌های غنی از منیزیم تقسیم‌بندی گردید. شواهد صحرایی نشان می دهد که تمرکز آن ها در مجاورت گسل های اصلی بوده و تشکیل آنها بصورت اپی ژنتیک تحت تاثیر سیالات غنی از منیزیم صورت گرفته است. این دولومیت‌های شیری تا سفید رنگ به شکل توده‌ای و یا رگه‌ای سایر سنگ‌های آهکی منطقه را قطع نموده اند. بررسی عناصر اصلی این دولومیت ها بیانگر پتانسیل کاربرد دولومیت های منطقه در صنایع شیشه، سرامیک، داروسازی، کشاورزی و مصالح ساختمانی است. گرچه مقدار بالای  $\text{SO}_3$  استفاده از آنها را در صنعت فولاد محدود می سازد. این مطالعه با بررسی شیمی دولومیت های غنی از منیزیم بر اهمیت اقتصادی این ذخایر تاکید می نماید.

کلیدواژه‌ها: دولومیت، دولومیت های غنی از منیزیم، اردل، استان چهارمحال و بختیاری

### Evaluation of magnesium-rich dolomites in Ardal City (Chaharmahal and Bakhtiari Province)

Khadijeh, Khalili<sup>1\*</sup>; Ali, Khosravi Bakhtiary<sup>2</sup>

<sup>1</sup> \*1 Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Payam Noor University, Tehran, Iran.  
19395-4697 [khalilikhadijeh@pnu.ac.ir](mailto:khalilikhadijeh@pnu.ac.ir)

<sup>2</sup> Kavan Bardin Earth Company, Science and Technology Park

### Abstract

Ardal County, located in the central part of Chaharmahal and Bakhtiari Province, is a part of the Zagros Mountains that follow the structural and geological characteristics of the Zagros in terms of geology, tectonics, and stratigraphy. This area is of geological and economic importance due to the presence of magnesium-rich dolomites. Field surveys and the results of XRF and XRD analysis of limestone samples in the study area have shown that the limestone rocks in the study area are calcite, dolomitic calcite, dolomite, and magnesium-rich dolomite. Dolomites with a content of ( $28 < \text{Mg} < 21.7 \text{ Wt } \%$ ) were classified as magnesium-rich dolomites. Field evidence shows that they are concentrated in the vicinity of major faults and their formation was epigenetically influenced by magnesium-rich fluids. These milky to white dolomites are massive or veined and cut through other limestones in the region. The study of the main elements of these dolomites indicates the potential for the application of dolomites in the glass, ceramic, pharmaceutical, agricultural and construction materials industries. However, the high  $\text{SO}_3$  content limits their use in the steel industry. This study, by examining the chemistry of Mg-dolomites, emphasizes the economic importance of these deposits.

**Keywords:** Dolomite, Magnesium-rich dolomites, Ardal, Chaharmahal and Bakhtiari Province,

#### مقدمه

شهرستان اردل واقع در بخش مرکزی استان چهارمحال و بختیاری، بخشی از رشته کوه‌های زاگرس می‌باشد که از نظر زمین‌شناسی، تکتونیک و چینه‌شناسی از ویژگی‌های ساختاری و زمین‌شناسی زاگرس پیروی می‌کنند. فعالیت‌های تکتونیک، به ویژه گسل‌های امتداد لغز و گسل‌های عادی، نقش مهمی در تکامل زمین‌شناسی این منطقه ایفا نموده است. فعالیت گسلی می‌تواند منجر به افزایش تخلخل و نفوذپذیری، فراهم کردن مسیر برای مهاجرت سیالات، و ایجاد گرادیان‌های فشاری و دمایی مناسب برای واکنش‌های دیاژنزی شود. بررسی‌های صحرایی در این منطقه نشان داده است که میزان قابل توجهی از دولومیت‌های غنی از منیزیم در نزدیکی گسل‌های اصلی و شکستگی‌های منطقه‌ای رخنمون داشته است. این امر نشان‌دهنده نقش سیالات غنی از منیزیم است که از طریق این ساختارهای گسلی به درون رسوبات کربناته نفوذ کرده و فرآیند دولومیتی شدن را تسهیل نموده‌اند. مطالعات قبلی در زاگرس نیز بر اهمیت کنترل زمین‌ساختی در فرآیند دولومیتی شدن تأکید نموده‌اند (Mohajjel *et al.*, 2023). دولومیت‌ها به دلیل اهمیت اقتصادی، پتروفیزیکی و نقش بالقوه آن‌ها در مخازن هیدروکربنی، همواره مورد توجه محققان بوده‌اند. در مناطق مختلف ایران، از جمله زاگرس، سازندهای دولومیتی نقش مهمی در ژئوتوریسم و ذخایر معدنی ایفا می‌کنند. مشکل اصلی در مطالعه این نهشته‌ها، تعیین دقیق محیط تشکیل و منشأ سیالات غنی از منیزیم است که فرآیند دولومیتی شدن را کنترل می‌کند؛ این فرآیند می‌تواند به صورت دیاژنتیک (در حین دفن اولیه) یا اپی‌ژنتیک (در اثر نفوذ سیالات حرارتی-آب گرم پس از دفن) رخ دهد. تشکیل دولومیت‌های ثانویه، که از طریق جایگزینی حجمی کلسیت توسط سیالات غنی از منیزیم صورت می‌گیرد، همچنان یک چالش پتروژنتیک پیچیده است که نیازمند ایزوتوپ‌شناسی دقیق است (Mazzoli *et al.*, 2023). مطالعات جدید نشان می‌دهند که تخلخل اولیه و نرخ نفوذ سیالات ابر اشباع شده از منیزیم در رسوبات کربناته، کنترل‌کننده اصلی در توزیع و کانی‌سازی نهایی دولومیت‌های اپی‌ژنتیک در حوضه‌های رسوبی هستند. (Turner *et al.*, 2024). اهمیت مطالعه منطقه اردل در چهارچوب زمین‌شناسی زاگرس، ناشی از قرارگیری آن در یک حوزه تکتونیک فعال و وجود چندین سازند رسوبی با پتانسیل قابل توجه کربناته است. مطالعاتی که در شهرستان اردل تا کنون انجام گرفته است بر روی گنبد‌های نمکی و همچنین بر روی سنگ‌های تزئینی مرمر بوده است و تاکنون مطالعه‌ای در زمینه این دولومیت‌ها صورت نگرفته است. این مقاله برای اولین بار به بررسی شیمی و ارزیابی کیفی دولومیت‌های غنی از منیزیم در شهرستان اردل پرداخته است.

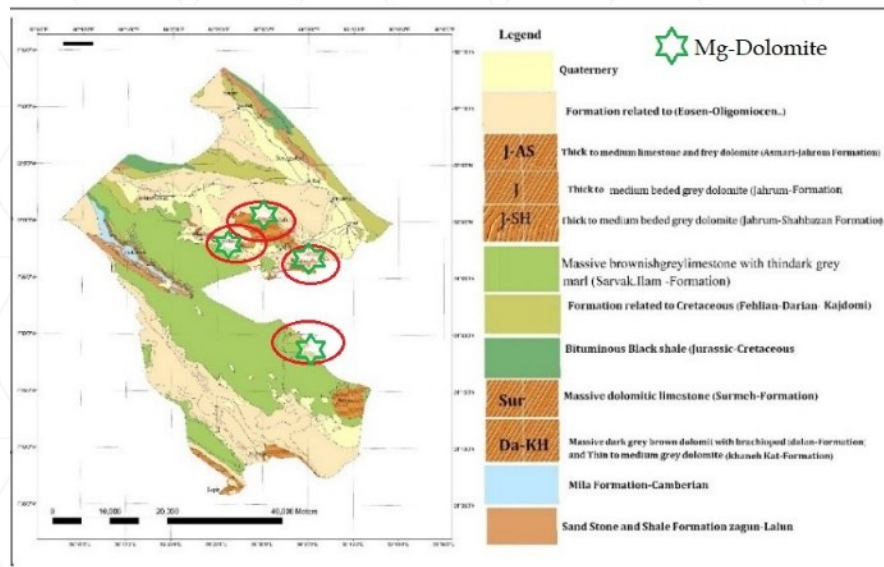
#### مواد و روش‌ها

نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ شهرکرد، ۱/۱۰۰۰۰۰ شهرکرد، دهدز و اردل رقومی شد و بر اساس آن نقشه زمین‌شناسی شهرستان اردل در نرم‌افزار ARC-GIS ترسیم شد و مهم‌ترین منبع اطلاعاتی برای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۱). (دولومیت‌ها با رنگ قهوه‌ای هاشور خورده نمادین شده است). در مرحله نخست بررسی و مطالعات صحرایی به صورت گسترده در منطقه انجام گرفت. طی بازدیدهای صحرایی از منطقه مورد مطالعه، نمونه‌هایی برداشت شد و بعد از مطالعات پتروگرافی توسط میکروسکوپ پلاریزان BX در آزمایشگاه تعداد ۳۰ نمونه جهت انجام آنالیز XRD و XRF به کانساران بینالود ارسال گردید و نتایج مورد بررسی قرار گرفت.

#### بحث:

فرآیند دولومیتی شدن توسط عواملی از جمله محیط تشکیل و منشأ سیالات غنی از منیزیم کنترل می‌شود. این فرآیند می‌تواند به صورت دیاژنتیک (اولیه) یا اپی‌ژنتیک (ثانویه) رخ دهد (Hollis., 2024). تخلخل اولیه و نرخ نفوذ سیالات ابر اشباع شده از

منیزیم در رسوبات کربناته، کنترل‌کننده اصلی در توزیع و کانی‌سازی نهائی دولومیت‌های اپی‌ژنتیک در حوضه‌های رسوبی هستند (Turner et al., 2024). بررسی صحرایی، پتروگرافی و شیمی سنگ‌های کربناته در شهرستان اردل نشان داده است که سنگ‌های آهکی شهرستان اردل شامل: کلسیت، کلسیت دولومیتی، دولومیت خالص و دولومیت‌های غنی از منیزیم می‌باشند. بر اساس نقشه زمین‌شناسی دولومیت‌ها در منطقه مورد مطالعه در سازند دالان، خانه کت، سازند نیریز، سازند جهرم و شهبازان و سازند آسماری تشکیل شده اند (شکل ۱).



شکل (۱): نقشه زمین‌شناسی شهرستان اردل ARC-GIS بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ورقه شهرکرد و ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه شهرکرد، اردل و دهدز

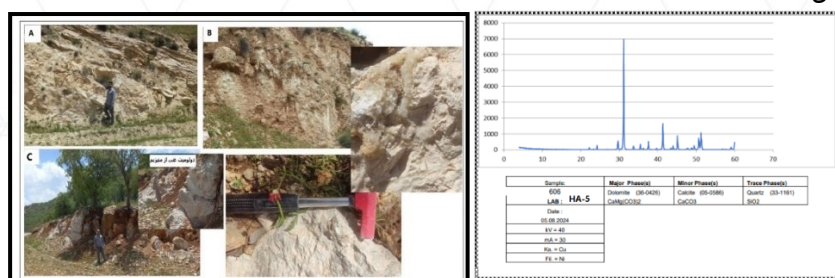
فعالیت‌های تکتونیکی، به ویژه گسل‌های امتداد لغز و گسل‌های عادی، نقش مهمی در تکامل زمین‌شناسی این منطقه ایفا کرده‌اند (آدابی). مطالعات زمین‌شناسی ناحیه اردل نشان می‌دهد که منطقه عمدتاً تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی زاگرس بوده و سازندهای کربناته مزوزوئیک تا سنوزوئیک بخش عمده‌ای از توپوگرافی آن را تشکیل می‌دهند. در بررسی‌های صحرایی و نتایج حاصل از آنالیز XRF و XRD نمونه‌های آهکی در منطقه مورد مطالعه مشخص شد در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های آهکی از نوع دولومیت، دولومیت غنی از منیزیم و دولومیت کلسیتی و کلسیت می‌باشند. دولومیت‌هایی با میزان  $(28 > \text{Mg} > 21.7 \text{ Wt } \%)$  در دسته دولومیت‌های غنی از منیزیم تقسیم‌بندی گردید. براساس بررسی‌های صحرایی و بررسی نتایج حاصل از آنالیز دولومیت‌های مورد مطالعه، مشخص شد که دولومیت‌های غنی از منیزیم در منطقه مورد مطالعه در سازندهای جهرم، سازند جهرم-شهبازان و سازند سورمه تشکیل شده است. در بررسی‌های صحرایی این دولومیت‌ها به رنگ شیری تا سفید رنگ در امتداد گسل‌های اصلی و شکستگی‌ها قرار گرفته‌اند و گاهی این دولومیت‌ها بصورت رگه‌های سفید رنگی سایر دولومیت‌ها و سنگ‌های آهکی را در منطقه قطع نموده‌اند. تجمع قابل توجهی از دولومیت‌های غنی از منیزیم در نزدیکی گسل‌های اصلی و شکستگی‌ها نشان‌دهنده نقش سیالات غنی از منیزیم است که از طریق این ساختارهای گسلی به درون رسوبات کربناته نفوذ کرده و فرآیند دولومیتی شدن را تسهیل نموده‌اند (Warren, 2000). فعالیت گسلی می‌تواند منجر به افزایش تخلخل و نفوذپذیری، فراهم کردن مسیر برای مهاجرت سیالات، و ایجاد گرادیان‌های فشاری و دمایی مناسب برای واکنش‌های دی‌انرژی شود. محجل و همکاران (۲۰۲۳) نیز در مطالعات خود در زاگرس بر اهمیت کنترل زمین‌ساختی در فرآیند دولومیتی شدن تأکید کرده‌اند. مطالعات زهدی و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده است که حضور گسترده دولومیت‌های غنی از منیزیم، می‌تواند حاکی از وجود گنبد‌های نمکی در منطقه و هجوم سیالات غنی از منیزیم به کلسیت‌ها و تشکیل دولومیت‌های ثانویه غنی از منیزیم باشد. همچنین، بالا رفتن میزان منیزیم در دولومیت‌های خالص نشان دهنده وجود رگه‌های منیزیت و



پیشرفت به سمت منیزیته شدن می باشد که در آهک‌های چهارم در منطقه قم نیز چنین پدیده‌ای مشاهده شده است. بررسی و شواهد صحرایی نشان می دهد که در منطقه مورد مطالعه، دولومیت‌های غنی از منیزیم، توسط نفوذ سیالات غنی از منیزیم حاصل از گنبد‌های نمکی اطراف به دولومیت‌های اولیه تشکیل شده اند. بنظر می‌رسد که این پدیده در طی سالیان متمادی تشکیل شده است. وجود بلورهای زیبای ژئوپس در کنار دولومیت‌های غنی از منیزیم شرایط تشکیل این دولومیت‌ها را تایید می نماید.

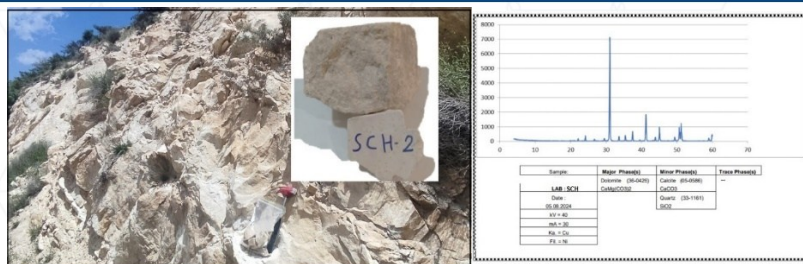
در شهرستان اردل، دولومیت‌های مناطقی از جمله منطقه روستای هفت پیران و پیرامون آن (HA)، محدوده سرچاه (SHA)، محدوده لیرایی و کری (L-K)، منطقه بره مرده (BK)، از نوع دولومیت‌های غنی از منیزیم می باشند (شکل ۱ مناطق ستاره دار) که در ادامه به بررسی این نمونه‌ها می‌پردازیم.

**منطقه هفت پیران:** این منطقه از نظر لیتولوژی شامل دولومیت و سنگ آهک دولومیتی سازند چهارم به سن ائوسن میانی تا پسین می باشد که بصورت دگرشیب بر روی سازند ساچون قرار گرفته است. تماس بالایی این سازند در این منطقه با آهک‌های آسماری با یک ناپیوستگی فرسایشی و یک افق کنگلومرایی قرمز رنگ مشاهده می شود. شواهد صحرایی نشان داد که دو نوع دولومیت در این منطقه دیده می شود. دولومیت‌های کرم‌رنگ و دولومیت‌های شیری تا سفیدرنگ و گاهی این دولومیت‌های شیری تا سفید بصورت رگه‌های دولومیت‌های دیگر را قطع نموده اند (شکل B-۳). بررسی نتایج حاصل از آنالیز XRF این نمونه‌ها نشان می دهد که در نمونه‌های دولومیت‌های شیری تا سفید رنگ، میزان  $Mg = 24.742-25.09$  می باشد، که نشان دهنده میزان بالای منیزیم در این نمونه‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از XRD این نمونه‌ها پیک دولومیت با میزان کمی کلسیت و کوآتز را نشان می دهد (شکل ۲).



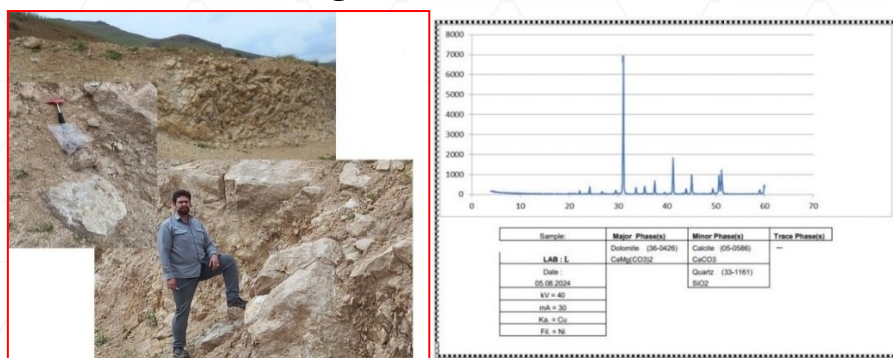
شکل (۲). تصویر نمای کلی واحد دولومیتی منطقه هفت پیران. A. دولومیت‌های خالص منطقه پیرات B. رگه‌های دولومیت‌های غنی از منیزیم در میان دولومیت‌ها. C. دولومیت‌های غنی از منیزیم منطقه پیرات D. بلورهای زیبای ژئوپس که در کنار دولومیت‌های غنی از منیزیم تشکیل شده است. E. نتایج آنالیز XRD محدوده سرچاه

**منطقه غرب سرچاه (SCH):** از نظر لیتولوژی، این منطقه شامل دولومیت‌های به رنگ کرم تا صورتی (واحد  $E_{shj}^d$  سازند شهبازان) (شکل A ۳)، که بصورت بین انگشتی با آهک‌های سازند چهارم دیده می شوند و توسط آهک‌های آسماری پوشیده شده‌اند. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها در این منطقه نشان داد که دولومیت‌ها در این منطقه از نوع دولومیت‌های غنی از منیزیم می‌باشند و برخی از نمونه‌ها نیز از نوع کربنات‌های آهکی می باشند. بررسی نتایج حاصل از آنالیز XRF این نمونه‌ها نشان می دهد که در نمونه‌های دولومیت‌های شیری تا سفید رنگ، میزان  $Mg = 24.742-25.09$  می باشد، که نشان دهنده میزان بالای منیزیم در این نمونه‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از XRD این نمونه‌ها پیک دولومیت با میزان کمی کلسیت و کوآتز را نشان می دهد (شکل B ۳).

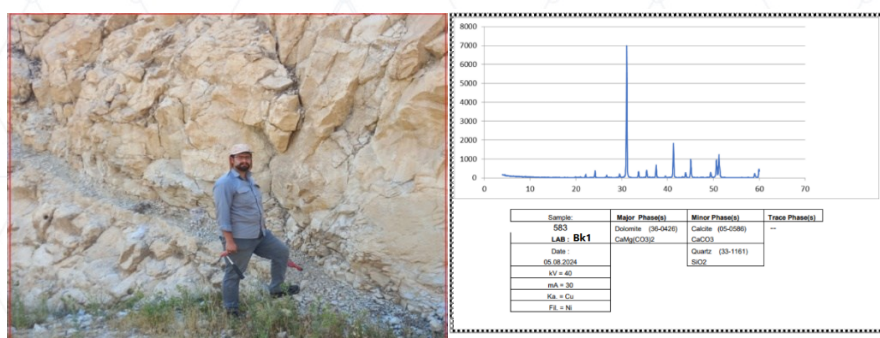


شکل (۳): A. تصویر آهک‌های غنی از منیزیم منطقه سرچاه شکل. B. آنالیز XRD محدوده سرچاه

منطقه شمال غرب تا شمال شرق لیرابی (L) و کری (K): براساس بررسی‌های صحرایی در منطقه مورد مطالعه، لیتولوژی محدوده شامل سنگ‌های آهکی می باشد که بطور دگرشیب بر روی ماسه سنگ‌ها و کنگلومراهای قرمز قرار گرفته است. در این منطقه بلورهای ژپس سازند ساچون به وضوح در لابلای سنگ‌های آهکی قابل مشاهده می باشد (شکل A ۴). بررسی نتایج آنالیزهای XRF در نمونه‌های منطقه لیرابی نشان داد که این نمونه‌ها با میزان ( $MgO=24.986-27.962 \text{ Wt\%}$ ) بالاتر از حد یک دولومیت خالص منیزیم داشته که نشان دهنده تاثیر سیالات غنی از منیزیم بر روی دولومیت‌های منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز XRD نشان داد که این نمونه‌ها دارای دولومیت و میزان کمی کلسیت و کوارتز هستند (شکل B ۴).



شکل (۴): A. تصویر صحرایی دولومیت‌های منیزیتی شده محدوده لیرابی و کری. B. آنالیز XRD منطقه لیرابی و کری. روستای بره مرده (BK1): لیتولوژی این منطقه شامل دولومیت و سنگ آهک دولومیتی سازند جهرم می باشد (شکل A ۵). نتایج حاصل از آنالیزهای XRF در نمونه‌های این منطقه نشان می‌دهد که این نمونه‌ها با میزان ( $MgO=28.2 \text{ Wt\%}$ ) از نوع دولومیت غنی از منیزیم می باشند و نتایج آنالیز XRD این نمونه‌ها پیک دولومیت و میزان کمی کلسیت و کوارتز را نشان داده است (شکل A ۵).



شکل (۵): A. دولومیت‌های محدوده بره مرده. B. آنالیز XRD منطقه بره مرده



کاربرد دولومیت‌ها در صنایع مختلف با توجه به میزان عناصر اصلی می باشد. در جدول (۱) ویژگی‌های ژئوشیمیایی دولومیت‌های کاربردی در صنایع فولاد (Flux, Refiac)، صنایع شیشه و سرامیک ذکر گردیده است.

جدول (۱) میانگین ترکیب شیمیایی دولومیت‌های کاربردی در صنعت (Dickinson 2017)

کاربرد صنعت	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	LOI	MnO	S
Glass	<1	<0.04	<0.06(0.25-0.35)	.....	.....	....	.....	.....
Ceramic	.....	<0.02	<0.03	>0.30	>21.4	.....	...	.....
Flux	<0.75	....	<1-1.5	.....	....	....	....	<0.05
Reflac	0.35	0.23	0.35	30.73	20.8	47.3	....	...

براساس برداشت‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، نمونه سنگ‌های دولومیتی غنی از منیزیم در این منطقه ارزیابی گردید و کاربرد صنعتی این دولومیت‌ها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲).

جدول (۲): کاربرد دولومیت‌های غنی از منیزیم شهرستان اردل در صنعت

سرچاه	بره مرده	کری	لیرایی	هفت پیرات	
*	*		*	*	دی‌رگداز
---	---	---	---	---	صنعت فولاد (Flux)
---	*		*	*	شیشه
---	*		*	*	سرامیک
*	*	*	*	*	تولید هیدروکسید منیزیم

به دلیل میزان بالای آهن و آلومینیوم در نمونه‌های دولومیت‌های غنی از منیزیم منطقه بره مرده، این نمونه‌ها در صنعت سرامیک و شیشه سازی مورد استفاده نمی شود.

### نتیجه‌گیری

بررسی‌های صحرایی، و شیمی سنگ‌های کربناته در شهرستان اردل نشان داده است که این سنگ‌ها شامل کلسیت، کلسیت-دولومیتی، دولومیت خالص و دولومیت‌های با میزان منیزیم بالا می باشند. بررسی‌های صحرایی نشان داده است که دولومیت‌های غنی از منیزیم در امتداد گسل‌های اصلی و شکستگی‌ها در منطقه تشکیل شده اند و نشان دهنده شرایط تشکیل اپی ژنتیک برای این دولومیت‌ها می‌باشد. بنظر می رسد با توجه به وجود گنبد‌های نمکی در مناطق اطراف، نفوذ سیالات غنی از منیزیم در دولومیت‌های اولیه موجب تشکیل و گسترش این دولومیت‌ها گردیده است. بررسی عناصر اصلی این دولومیت‌ها نشان داد که این دولومیت‌ها می‌توانند در صنایع مختلف از جمله در شیشه سازی، سرامیک و تولید هیدروکسید منیزیم نقش بسزایی ایفا نمایند.

### تقدیر و تشکر

با تشکر از اداره صنعت، معدن و تجارت که همکاری‌های لازم را در اجرای این طرح مبذول فرمودند.

### منابع

آدابی، م.ح.، ۱۳۸۳. ژئوشیمی رسوبی، آرین زمین.

Dickinson, J. A., 2017. Industrial minerals and rocks: Commodities, markets, and uses (8th ed.). Society for Mining, Metallurgy & Exploration.  
Mazzoli, S., Środoń, J., & Jarvie, D., 2023. Advances in the genetic models of dolomitization: A review. Earth-Science Reviews, 236, 104289.

- Mohajjel, M., Sari, A., & Fergusson, C. L., 2023. Tectonic control on dolomitization in the Zagros Fold-Thrust Belt: Implications for reservoir distribution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 248, 105654.
- Qian, Y., Zhu, J. and Li, Q., 2009. Using in situ REE analysis to study the origin and diagenesis of dolomite of Lower Paleozoic, *Science in China Series D: Earth Sciences*, v. 52(5), p. 681-693.
- Turner, J. A., Whitaker, F. F., & Hollis, C., 2024. Epigenetic dolomitization in carbonate platforms: The role of early porosity and fluid flux. *Sedimentology*, 71(1), 123-145.
- Warren, J. (2000). Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews*, 52(1-3), 1-81.
- Zohdi, A., Moallemi, S.A., Moussavi- Harami, R. and Mahboubi, A., 2014. Shallow burial dolomitization of an Eocene carbonate platform, Southeast Zagros Basin: *Iran GeoArabia*, v. 19(4), p. 17-54.