

# Application of elemental analysis for determination of dolomitization model of Surmaq and Abadeh formations in the Hambast section, Abadeh region, Iran

Sima Shahinfar<sup>1</sup>, Bizhan Yosefi Yegane<sup>1\*</sup>, Sakineh Arefifard<sup>1</sup>

1- Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University

**Keywords:** Elemental analysis, Dolomitization, Surmaq Formation, Abadeh Formation, Hambast

## 1-Introduction

Dolomite is one of the major constituents of carbonate rocks that have attracted considerably sedimentologists. In this study, a combination of petrographic studies and geochemical methods, such as measurements of major and minor elements, have been used to characterize the dolomites of the Surmaq and Abadeh formations and determination of the source of dolomitizing fluids. The study area is located 60 km southeast of Abadeh city in the northeast part of the Hambast Mountains, which comprises complete outcrops of Permian-Triassic strata in two selected stratigraphic sections. Considering the carbonate facies of Surmaq and Abadeh formations, the determination of the dolomitization model of these deposits using elemental analyses is the main objective of this study.

## 2-Methodology

In this research, petrographic studies were performed by polarizing and electron microscopy (SEM) and geochemical studies based on elemental analysis (EDS) and (EPMA) methods at Lorestan University, Central Laboratory No. 1. Diagrams of these data were plotted by Excel 2010 software. For petrographic studies, 380 thin sections were studied microscopically, and finally the stratigraphic column was drawn by Corel 2018 software. The naming of dolomites was based on a combination of the textural classification of Sibley and Gregg (1987) and Mazzullo (1992). For the size of dolomite crystals, we used the scale presented by Folk (1965) and Adabi (2009).

## 3- Results and discussion

Petrographic studies led to the identification of three groups of dolomites including anhedral very fine crystalline dolomites with mosaic fabric and between 4 and 10 microns in size, subhedral fine crystalline dolomite between 10 and 20 microns in size and subhedral to euhedral medium crystalline dolomites with sizes larger than 20 microns. The composition of dolomitizing fluids can be determined by measurements of elements such as calcium, magnesium, sodium, strontium, manganese and iron in dolomites (Veizer, 1987). Based on petrographic and geochemical evidence, the dolomitization model of the dolomites of the Surmaq and Abadeh formations can be considered in a marine diagenetic setting and in shallow to semi-deep environments. According to the proposed model, it can be inferred that seawater first evaporated in the lagoon environment and primary dolomites of marine origin began to precipitate. Secondary dolomites occurred in a shallow-to-deep burial setting and were changed into dolomicosparite and dolosparite under the influence of diagenetic processes.

## 4-Conclusions

According to the petrographic studies and elemental analyses of major elements including Mg and Ca and minor and trace elements such as Sr, S, Fe, Mo, Zr, K two significant groups of dolomites have been identified in the study area, which include primary dolomites (syn-deposition) and secondary dolomites (post- deposition). Low levels of Fe and high levels of Sr and Na in the dolomicrites, high concentration of Fe in the dolomicosporites

\*Corresponding author: bizhan.yegane@gmail.com

DOI: 10.22055/AAG.2020.29977.2006

Received 2019-06-17

Accepted 2020-02-18

and dolosparites along with some evidence such as presence of interacls, fenestral porosity and lack of evaporite minerals indicate the formation of these dolomites in a sub-tidal setting and in a shallow to semi-deep marine diagenesis environment. Fe content in Abadeh Formation samples varies between 0.02 to 40.19%. This apparent difference in iron content may be due to the presence of oxidic and sulfidic minerals in fine crystalline dolomitic samples. As the depth of diagenesis and dolomitization increased, Mg increased and Ca, Sr and Na decreased. The studied dolomites relatively have a crystalline order which can be justified through the age of the studied sections.

### Acknowledgments

We would like to thank the Lorestan University, which kindly granted the research financial and laboratory supports. The authors of the article are gratefully acknowledged and thanked by the editorial board.

### References

- Adabi., M.H., 2009. Multistage dolomitization of upper Jurassic Muzduran Formation, Kopet-Dagh basin, N.E. Iran. *Carbonates and Evaporites* 24, 16-32.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 108-121.
- Folk, R.L., 1965. Some aspects of recrystallization in ancient limestones. In: Pray, L.C. and Murray, R.C. (eds.): *Dolomitization and limestone diagenesis*. Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication 13, 14-48.
- Gregg, J.M., Shelton, K.L., 1990. Dolomitization and Dolomite Neomorphism in the Back Reef Facies of the Bonnetterre and Davis Formations (Cambrian), Southeastern Missouri. *Journal of Sedimentary Research* 60, 549-562.
- Mazzullo, S.J., 1992. Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: A review. *Carbonates and Evaporites* 7, 21-37.
- Sibley, D.F., Gregg, J.M., 1987. Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Research* 57, 967-975.
- Veizer, J., 1987. Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element techniques. In *Stable Isotopes in Sedimentary Geology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482p.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Shahinfar, S., Yosefi Yegane, B., Arefifard, S., 2021. Application of elemental analysis for determination of dolomitization model of Surmaq and Abadeh formations in the Hambast section, Abadeh region, Iran. *Adv. Appl. Geol.* 10(4), 598-619.  
DOI: 10.22055/AAG.2020.29977.2006  
url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_15496.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_15496.html?lang=en)

## کاربرد آنالیز عنصری در تعیین مدل دولومیتی شدن سازندهای سورمق و آباد در برش همبست، ناحیه آباد، ایران

سیما شاهین فر

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد

بیژن یوسفی یگانه\*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد

سکینه عارفی فرد

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹

\*bizhan.yegane@gmail.com

### چکیده

منطقه مورد مطالعه در ۶۰ کیلومتری جنوب شرق شهر آباد و در بخش شمال شرقی کوه همبست قرار دارد که رخنمون‌های کاملی از پرمین میانی تا پرمین بالایی را شامل می‌شود. بر پایه شواهد صحرایی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی بر مبنای آنالیز عنصری به روش‌های (EDS) و (EPMA)، دو گروه اصلی از دولومیت‌ها شناسایی شدند که شامل دولومیت‌های اولیه و دولومیت‌های ثانویه می‌باشند. دولومیت‌های اولیه شامل دولومیکرایت‌ها با بافت موزائیکی و اغلب فاقد شکل و دولومیت‌های ثانویه شامل دولومیکرواسپارایت‌ها بصورت نیمه شکلدار و دولواسپارایت‌ها اغلب نیمه شکلدار و شکلدار می‌باشند. در دولومیکرایت‌ها کاهش Mg نسبت به دیگر دولومیت‌ها به دلیل بالا بودن مقدار Ca می‌باشد. به طور کلی مقدار Sr در دولومیت‌های مورد مطالعه از دولومیکرایت به سمت دولواسپارایت کاهش را نشان می‌دهد و افزایش استرانسیم در دولومیکرایت به دلیل عملکرد فرایندهای دیاژنزی روی پوسته‌های آراگونیتی است. با افزایش نظم بلوری (استیوکیومتری) دولومیت‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای از Sr کاسته می‌شود. رابطه معکوس بین Fe و Mg در دولومیت‌های عمیق (دولواسپارایت‌ها) دلالت بر جانشینی Fe بجای Mg می‌کند. مطالعات ژئوشیمیایی بر روی عناصر اصلی، عناصر فرعی و ردیاب و همچنین تمرکز بالای Sr در دولومیکرایت‌ها و مقادیر بالای Fe در دولواسپارایت‌ها و پیریت بیانگر تشکیل این دولومیت‌ها در یک محیط کم عمق تا نیمه عمیق دریایی می‌باشد.

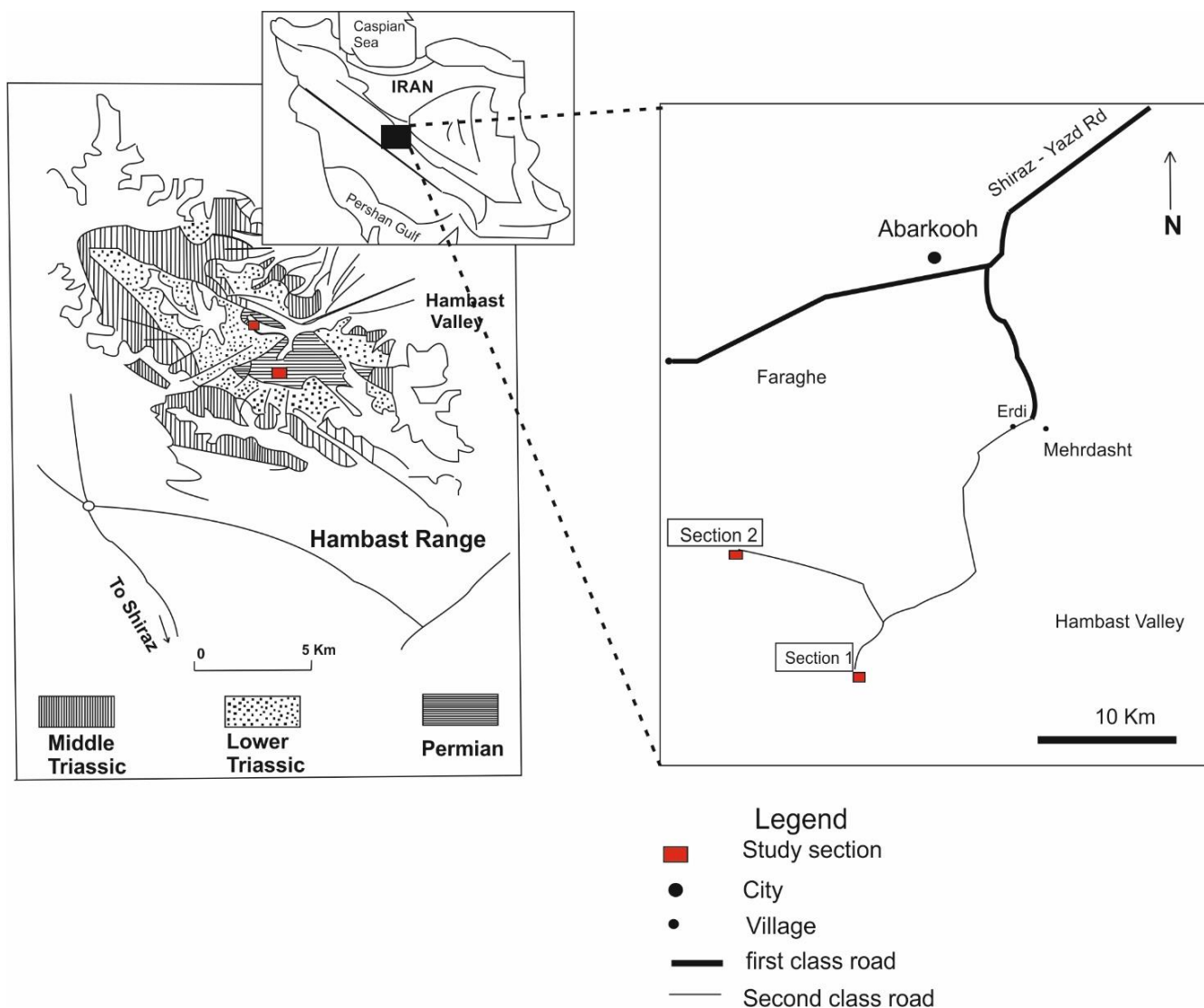
**کلمات کلیدی:** آنالیز عنصری، دولومیتی شدن، سازند سورمق، سازند آباد، همبست

### مقدمه

کانی دولومیت به عنوان یکی از تشکیل دهندگان اصلی سنگ‌های کربناته به شمار می‌رود که بطور قابل ملاحظه‌ای توجه سنگ‌شناسان رسوبی را به خود جلب کرده است، از آن جایی که برخلاف کلسیت، هیچ موجود زنده‌ای دولومیت را ترشح نمی‌کند همیشه نحوه تشکیل آن مورد نظر قرار گرفته است. دولومیت از جنبه‌های مختلف نظیر نظم بلوری، عنصرسنجی، پتروگرافی، رفتار حرارتی، ژئوشیمی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در طی زمان و عملکرد عوامل شیمیایی کربنات‌های قدیمی بیشتر دولومیتی شده‌اند و مدل‌های مختلفی برای دولومیتی شدن ارائه شده است. دولومیت‌ها به طور کلی به دو صورت اولیه و ثانویه تشکیل می‌شوند که نوع ثانویه آن یا بلافاصله پس از ته‌نشینی و یا مدتی پس از رسوب-گذاری تشکیل می‌شود. دولومیت اولیه به طور مستقیم از آب دریا

رسوب می‌کند. در این پژوهش، برای توصیف بافتی دولومیت‌های سازندهای سورمق و آباد، تفکیک انواع آن‌ها و تعیین منشأ سیالات دولومیت‌ساز از تلفیق مطالعات سنگ‌نگاری و روش‌های ژئوشیمیایی، مانند عناصر اصلی و فرعی استفاده شده است. همانطور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، برش‌های مورد مطالعه در دره همبست در ۶۰ کیلومتری جنوب شرق شهر آباد قرار دارند. برای رسیدن به برش‌های مورد نظر از مسیر جاده آسفالتی شهرستان ابرکوه به دره همبست و پس از طی مسافت ۱۰ کیلومتری از طریق یک جاده خاکی و بعد از طی ۲ کیلومتر پیاده روی در جهت جنوب غرب به محل برش اول دست می‌یابیم. برش دوم نیز در فاصله ۳ کیلومتری برش اول قرار دارد.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی ساده شده کوه‌های همبست و راه‌های دسترسی به منطقه. مستطیل قرمز نشان‌دهنده برش‌های مورد مطالعه می‌باشد.

Fig.1. Simplified geological map of the Hambast Mountains and available roads. The red rectangular represents the study sections.

آهک‌های دولومیتی با فوزولینید فراوان به ضخامت ۷۵ متر و ندول چرتی در قسمت انتهایی و به سن کاپیتانین زیرین است و سازند آباده (شامل دو واحد چینه‌شناسی است که واحد یک (a۴) از تناوب سنگ آهک، آهک دولومیتی و شیل تشکیل شده که ضخامت شیل‌ها به سمت بالای واحد افزایش می‌یابد. کل ضخامت واحد a۴ سازند آباده ۱۳۵ متر می‌باشد و دارای سن کاپیتانین میانی است. واحد b۴ شامل حدود ۱۰۰ متر سنگ آهک‌های ضخیم لایه با میان لایه ندول چرتی به سن کاپیتانین است. واحد ۲ این سازند (۵) شامل حدود ۴۵ متر تناوب سن آهک و شیل با میان لایه ندول‌های چرتی به سن کاپیتانین بالایی می‌باشد. قسمت انتهایی برش شامل واحد یک سازند همبست است که متشکل از آهک‌های نازک لایه به سن وچیاپینگین می‌باشد. مرز زیرین برش با واحد ۲ سازند سورمق و مرز بالایی آن با واحد ۷ سازند همبست هر دو به صورت همشیب است. برش دوم نیز شامل واحد b۴ سازند

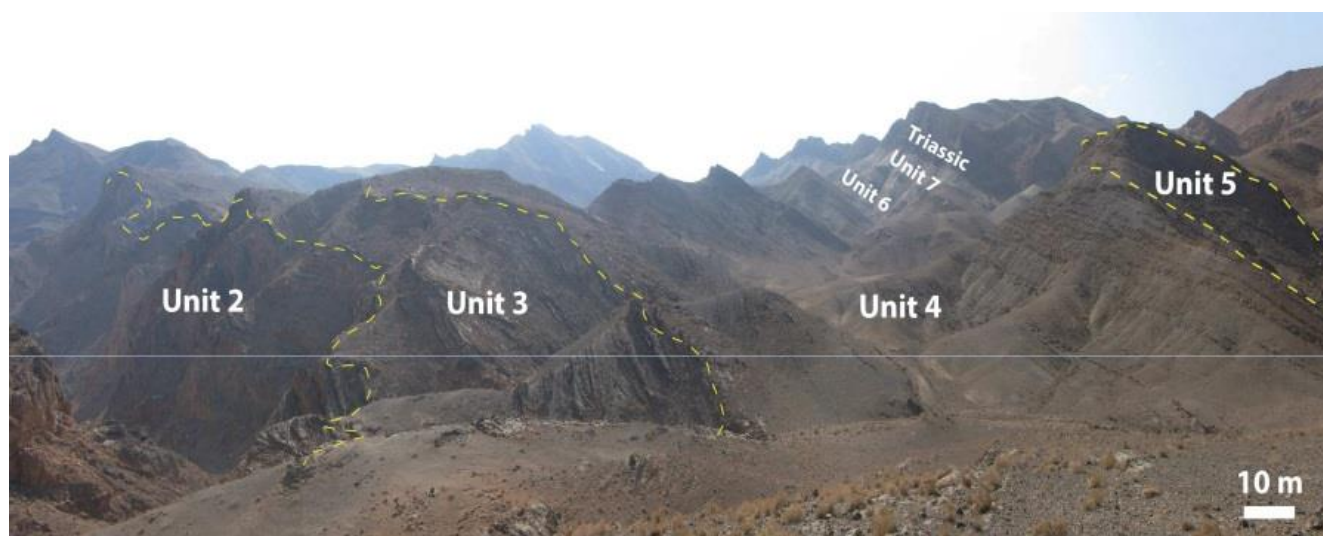
مختصات جغرافیایی برش اول با طول جغرافیایی  $E 53^{\circ} 12' "$  و عرض جغرافیایی  $N 30^{\circ} 55' 58.5''$  و برش دوم به ترتیب دارای طول و عرض جغرافیایی  $E 53^{\circ} 12' 21.8''$  و  $N 30^{\circ} 53' "$  می‌باشد. با توجه به رخساره‌های کربناته سازندهای سورمق و آباده، تعیین مدل دولومیتی شدن نهشته‌های پرمین بالایی در ناحیه مورد مطالعه با استفاده از آنالیز عنصری هدف اصلی این پژوهش است.

### زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

ناحیه آباده از لحاظ ساختاری بر اساس مطالعات (1993) Baghbani بخش جنوبی بلوک ایران مرکزی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه شامل دو مقطع چینه‌شناسی در دره همبست در ۶۰ کیلومتری جنوب شرق شهر آباده می‌باشد. همانطور که در اشکال ۳ تا ۵ نمایش داده شده است، در برش اول رسوبات کاپیتانین متشکل از واحد ۳ سازند سورمق (سنگ

است که به سن کاپیتانین می‌باشد. قسمت انتهایی نیز شامل ۱۰ متر سنگ آهک نازک لایه سازند همبست به سن وچیاپینگین می‌باشد. مرز بالایی آن با واحد ۷ سازند همبست بصورت همشیب می‌باشد.

آباده متشکل از سنگ آهک، آهک دولومیتی و شیل به سن کاپیتانین است و کل ضخامت این واحد حدود ۶۰ متر می‌باشد. واحد ۵ سازند آباده با ضخامت تقریبی ۳۰ متر از آهک و آهک دولومیتی تشکیل شده



شکل ۲- واحدهای ۲ و ۳ سازند سورمق (رودین تا کاپیتانین زیرین)، واحد ۴ سازند آباده (کاپیتانین)، واحد ۵ سازند آباده (کاپیتانین)، واحدهای ۶ و ۷ سازند همبست (پرمین بالایی) و نهشته‌های تریاس در برش اول (دید به سمت جنوب غرب)، ناحیه آباده.

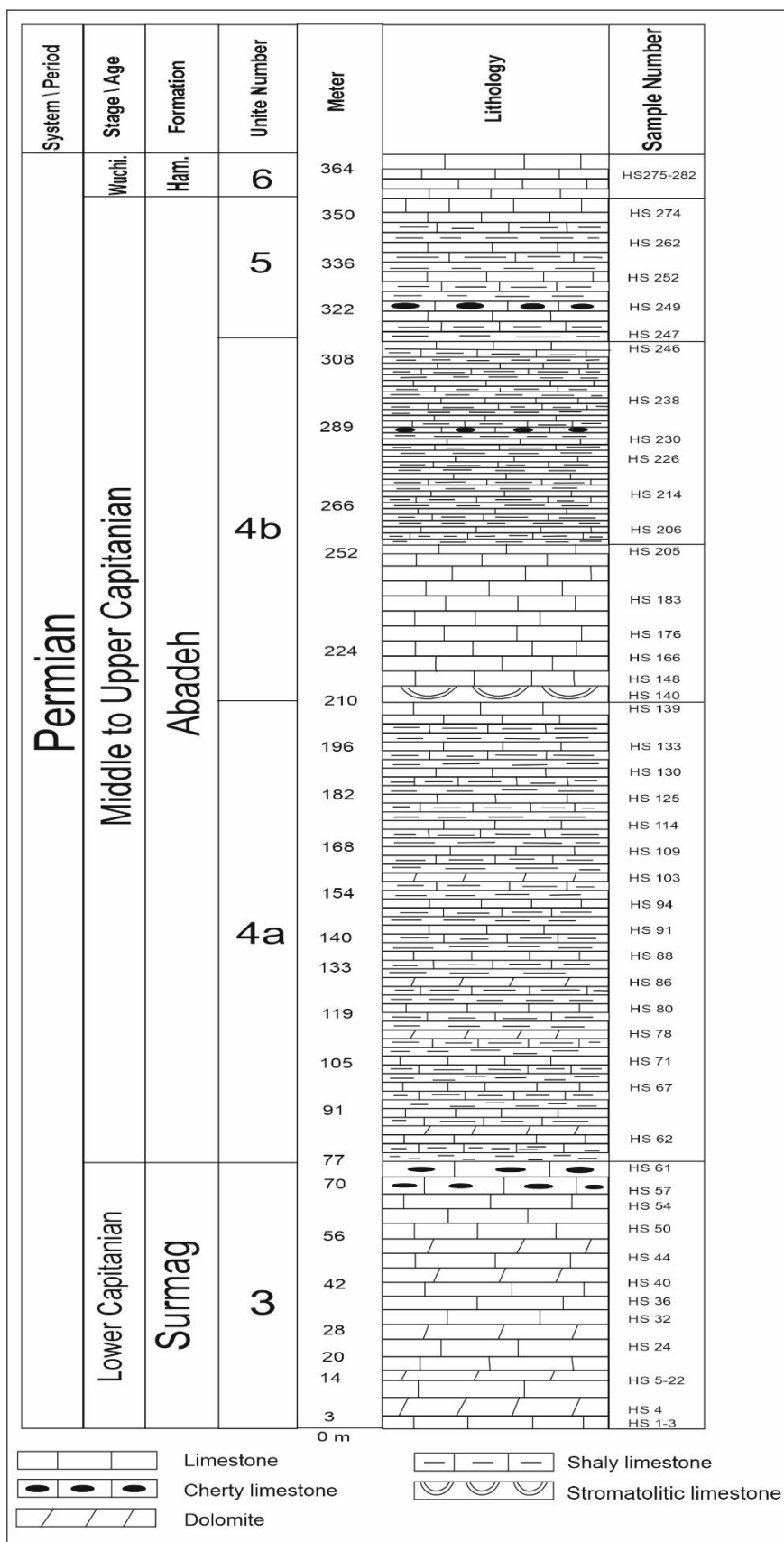
Fig. 2. Units 2 and 3 of the Surmogh Formation (Rodian to Lower Capitanian), unit 4 of the Abadeh Formation (Capitanian), unit 5 of the Abadeh Formation (Capitanian), units 6 and 7 of the Hambast Formation (Upper Permian) and Triassic deposits in the first section (view to Southwest), Abadeh area.

## روش کار

گرفت و در نهایت توسط نرم افزار کورل ۲۰۱۸ به ترسیم ستون سنگ چینه ای آن پرداخته شد.

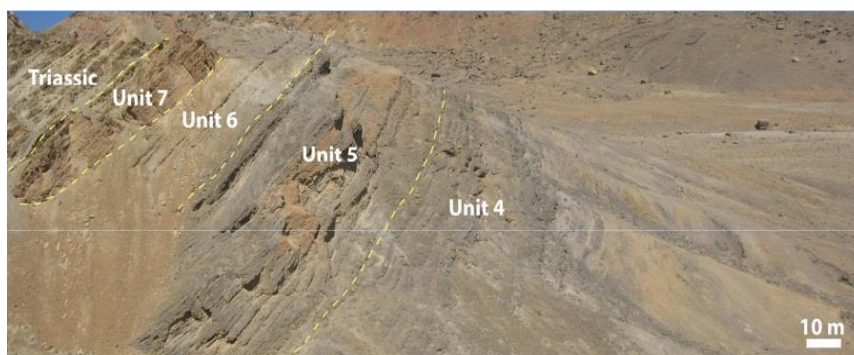
مقاطع نازک به روش Dickson (1965) توسط محلول آلزیرین قرمز (ARS) برای تشخیص کانی‌های کلسیت از دولومیت و محلول فروسیانید پتاسیم برای تشخیص دولومیت‌های آهن‌دار رنگ آمیزی شده است. در نام‌گذاری سنگ‌های کربناته از رده‌بندی Dunham (1962) و Folk (1959) استفاده شد. نام‌گذاری دولومیت‌ها بر پایه تلفیقی از رده‌بندی بافتی Sibley and Gregg (1987) و Mazzullo (1992) صورت گرفت. برای اندازه بلورهای دولومیت از مقیاس ارائه شده توسط Folk (1965) و Adabi (2009) استفاده شد.

در این پژوهش، برای تفکیک انواع دولومیت‌های سازندهای سورمق و آباده از تلفیق مطالعات سنگ‌نگاری و روش‌های ژئوشیمیایی، مانند عناصر اصلی و فرعی استفاده شده است. این مطالعات در پایان به تعیین منشأ سیالات دولومیت ساز کمک فراوانی می‌کند. (Sibley and Gregg, 1987; Lee and Friedman, 1987; Amthor and Friedman, 1992; Ye and Mazzullo, 1993; Adabi, 2009). مطالعات پتروگرافی توسط میکروسکوپ پلاریزان و میکروسکوپ الکترونی (SEM) و مطالعات ژئوشیمیایی بر مبنای آنالیز عنصری به روش‌های (EDS) و (EPMA) در آزمایشگاه مرکزی شماره ۱ دانشگاه لرستان صورت گرفت و دیاگرام‌های این داده‌ها توسط نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ ترسیم شد. برای انجام مطالعات پتروگرافی برش‌های مورد مطالعه ۳۸۰ مقطع نازک مورد مطالعه میکروسکوپی قرار



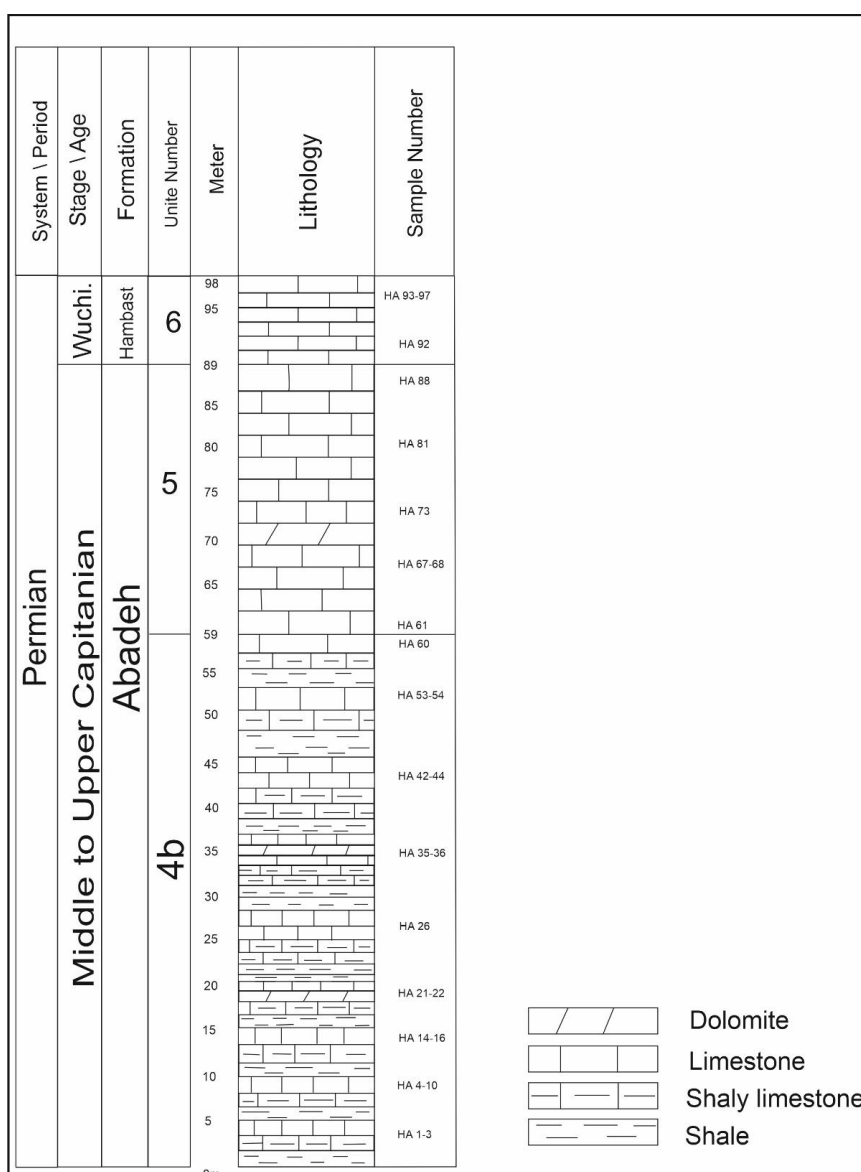
شکل ۳- ستون چینه‌شناسی برش اول.

Fig. 3. Stratigraphic column of the first section.



شکل ۴- واحد 4b سازند آباده (کاپیتانین)، واحد ۵ سازند آباده (کاپیتانین بالایی)، واحد ۶ و ۷ سازند همبست (پرمین بالایی) و نهشته های تریاس در برش دوم (دید به سمت غرب)، ناحیه آباده.

Fig. 4. Unit 4b of the Abadeh Formation (Capitanian), unit 5 of the Abadeh Formation (Upper Capitanian), units 6 and 7 of the Hambast Formation (Upper Permian) and Triassic deposits in the second section (view to west), Abadeh area.



شکل ۵- ستون چینه شناسی برش دوم.

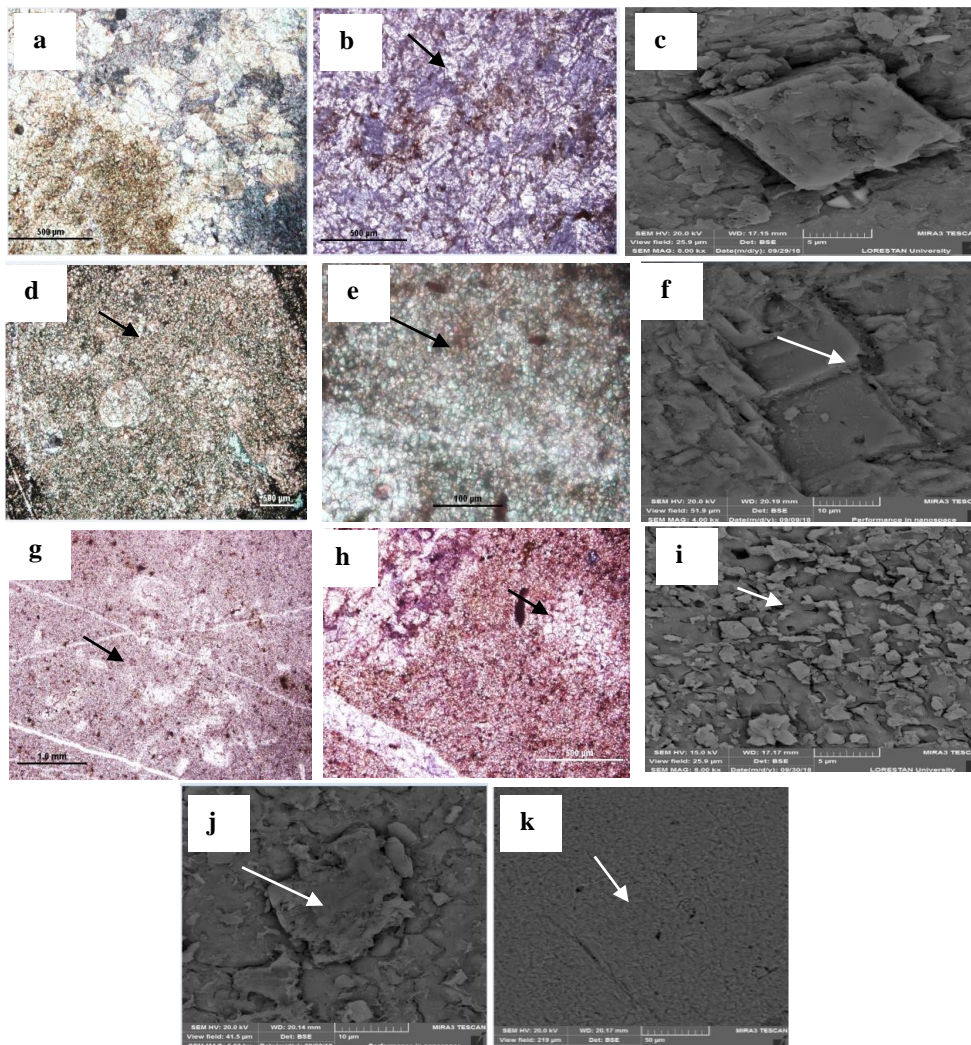
Fig. 5. Stratigraphic column of the second section.

## بحث

## توصیف پتروگرافی دولومیت‌ها

اندازه‌های بین ۴ تا ۱۰ میکرون، دولومیت‌های ریز بلور بصورت نیمه شکل‌دار در اندازه‌های بین ۱۰ تا ۲۰ میکرون و دولومیت‌های متوسط بلور اغلب نیمه شکل‌دار و شکل‌دار و در اندازه‌های بزرگتر از ۲۰ میکرون می‌باشند.

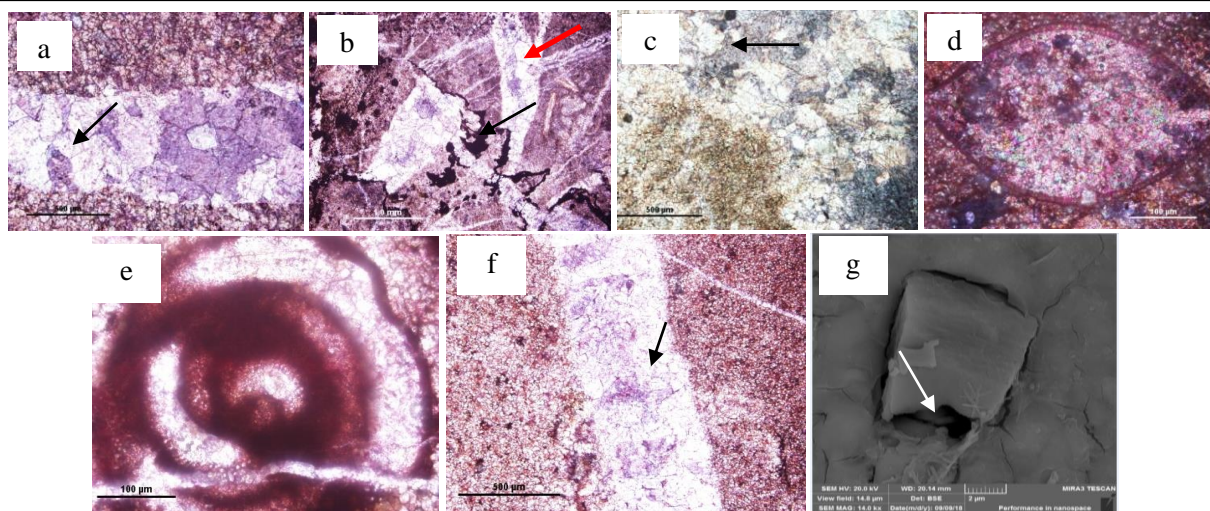
همانطور که در اشکال ۶ و ۷ و ۸ نمایش داده شده است، مطالعات پتروگرافی منجر به شناسایی سه گروه از دولومیت‌ها تحت عنوان دولومیت‌های خیلی ریز بلور با بافت موزائیکی و اغلب بی‌شکل در



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی انواع دولومیت‌های سازنده در برش مورد مطالعه؛ (a) دولواسپارایت در نور پلاریزان (پیکان سیاه)، (b) دولواسپارایت آهن‌دار که با فروسیانید پتاسیم رنگ آمیزی شده است (پیکان سفید)، (c) تصویر میکروسکوپ الکترونی دولواسپارایت با قطری بیش از ۱۰ میکرون، (d) دولومیکروسپارایت (پیکان سیاه)، (e) دولومیکروسپارایت حاصل از تبلور مجدد (پیکان سیاه)، (f) تصویر میکروسکوپ الکترونی دولواسپارایت حاصل از تبلور مجدد دولومیکروسپار و دولومیکریت (پیکان سیاه)، (g) دولومیکریت (پیکان سیاه)، (h) دولومیکروسپارایت حاصل از تبلور دولومیکریت در نور پلاریزان (پیکان سیاه)، (i) تصویر الکترونی دولومیکریت متبلور (پیکان سفید)، (j) تصویر میکروسکوپ الکترونی دولواسپارایت انحلال یافته (پیکان سفید) و (k) تصویر میکروسکوپ الکترونی دولومیکریت (پیکان سفید).

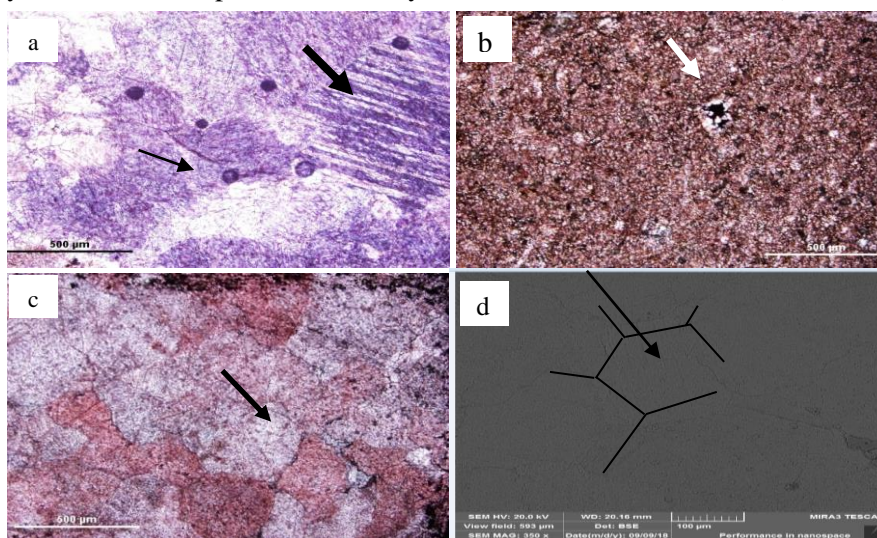
Fig. 6. Microscopic images of different types of dolomites of the Abadeh Formation in study section; (a) Dolosparite in XPL light (black arrow), (b) Iron-bearing dolosparite colored with potassium ferrocyanide (white arrow), (c) SEM image of dolosparite with a diameter greater than 10 microns, (d) Dolomicrosparite (black arrow), (e) Dolomicrosparite from recrystallization (black arrow), (f) SEM image of dolosparite from recrystallization of dolomicrospar and dolomicrite (white arrow), (g) Dolomicrite (black arrow), (h) Dolomicrosparite from crystallization of dolomicrite in XPL light (black arrow), (i) SEM image of crystallized dolomicrite (white arrow), (j) SEM image of dissolved dolosparite (white arrow), and (k) SEM image of dolomicrite (white arrow).





شکل ۷- (a) دولواسپارایت ساب‌هدرال دانه شکر همراه با کلسیت اسپارایت هم بعد تخلخل حاصل از شکستگی را پر نموده (مقطع با فروسیانید پتاسیم رنگ آمیزی شده) (پیکان سیاه)، (b) تجمع اکسیدهای آهن در اطراف رگه های استیلولیتی (پیکان سیاه)، رگچه‌های انحلالی که باعث جابجایی در سنگ شده است (گسل کاذب، پیکان قرمز)، (c) دولواسپارایت یوهدرال در داخل شکستگی‌ها (پیکان سیاه)، (d) پرشدگی تخلخل درون دانه‌ای با بلورهای دولومیت، (e) انحلال در دانه‌های آلوکم، دیواره صدف با دولومیت و کلسیت جانشین شده است، مقطع با آلزارین قرمز رنگ آمیزی شده است (کلسیت صورتی رنگ و دولومیت بدون رنگ باقی مانده است)، (f) دولواسپارایت‌های پرکننده شکستگی‌ها (پیکان سیاه) و (g) تخلخل ثانویه اطراف بلورهای اتومورف دولومیت که ناشی از انحلال است (پیکان سفید).

Fig. 7. (a) Sucrose subhedral dolosparite of together with isopachous calcite sparite, filling the porosity resulting from fracture (thin section colored with potassium ferrocyanide) (black arrow), (b) Accumulation of iron oxides around the stylolite veins (Black arrow), dissolved veins that cause to displacement in the rock (false fault, red arrow), (c) Euhedral dolosparite inside fractures (black arrow), (d) Intragranular porosity filled with dolomite crystals, (e) Dissolution in allochem, the shell wall is replaced by dolomite and calcite, thin section is colored with red alizarin (calcite in pink and dolomite remained colorless), (f) Dolosparites filling fractures (black arrow), and (g) Secondary porosity around automorphic dolomite crystals that result of dissolution (white arrow).



شکل ۸- (a) بلورهای درشت و هم بعد کلسیت اسپارایت (تشکیل دولومیت در مرز بلورهای کلسیت) (پیکان پررنگ‌تر کلسیت و پیکان کم رنگ‌تر دولومیت می‌باشد)، (b) تشکیل بلورهای دولومیت در حفرات (پیکان سفید)، (c) بلورهای درشت و هم بعد سیمان کلسیتی به صورت چند ضلعی (پیکان سیاه) و (d) تصویر میکروسکوپ الکترونی از بلورهای کلسیت اسپارایت هم بعد با مرزهای سازشی (پیکان سیاه).

Fig. 8. (a) Large crystals and isopachous calcite sparite (formation of dolomite crystals at the boundary of calcite crystals); the thick arrow shows to calcite and the lighter arrow to dolomite, (b) Formation of dolomite crystals in cavities (white arrow), (c) Polygons of large and isopachous calcite cement (black arrow), and (d) SEM image of isopachous calcite sparite crystals with conformational boundaries (black arrow).

جدول ۱- توزیع عناصر اصلی و فرعی در انواع دولومیت‌های برش‌های مورد مطالعه (مقادیر برحسب درصد وزنی).

Table 1. Distribution of principal and minor elements in different types of dolomites in study section (values in weight percent).

Number	Formation	Sample N.	C (w%)	O (w%)	Na (w%)	Mg (w%)	Al (w%)	Si (w%)	Ca (w%)	Fe (w%)	Sr (w%)	K (w%)	Zr (w%)	Mo (w%)	S (w%)	Ti (w%)
1	Surmagh	HS 4-1	19.77	47.8	0.23	0.39			24.8	4.63	2.37					
2	Surmagh	HS 4-2	17.71	58.5	0.16	0.21	0.11		20.2	0.14	3.01					
3	Surmagh	HS 22-1	26.27	49.6	0.22	6.52			9.63	7.39	0.33					
4	Surmagh	HS 22-2	23.86	52.9	0.19	8.42			14.4	0.09	0.18					
5	Surmagh	/ HS 22-3	18.57	50.3	0.94	9.92			17.5	2.01	0.77					
6	Surmagh	HS-4- 3	23.71	53	0.32	7.55			14.7	0.27	0.44					
7	Surmagh	/ HS-4-4	18.68	51.4	1.16	4.05			20.8	2.68	1.29					
8	Surmagh	HS-43-1	27.05	54.8		0.44	1.02	2.48	6.25	7.96						
9	Surmagh	HS-45-1	26.05	46.6	0.16	0.22			17.4		8.5				1.11	
10	Surmagh	HS-45-2	52.74	29	0.11	0.19	0.55		11.1	0.99	5.29					
11	Surmagh	• HS-45-3	44.44	38.2	0.69	0.53	2.12		5.24	4.27	4.53					
12	Surmagh	HS-45-4	25.57	52.7	0.33	4.94			16.4	0.09	0.07					
13	Surmagh	HS-45-5	25.54	53.8	0.35	5.76			14.4	0.02	0.02					
14	Surmagh	/ HS-45-6	20.46	44.8	1.13	2.55			28.3	2.05	0.69					
15	Surmagh	HS 11- 1	25.94	54.7	0.37	6.77			12	0.1	0.1					
16	Surmagh	HS 11- 2	24.13	56.8	0.42	3.71			14.7	0.11	0.18					
17	Surmagh	/ HS 11- 3	17.59	51.6	0.98	1.57			25.8	1.74	0.6					
18	Abadeh	HA-70-1	29.22	55.6	0.79	2.96	0.55	1.12	9.68	0.07	0					
19	Abadeh	/ HA-70-2	31.36	53.8	0.71	2.56	0.35	0.18	9.45	1.23	0.34					
20	Abadeh	HA-70-3	31.68	53.1		1.75			13		0.46					
21	Abadeh	HA-70-4	31.21	56.5		2.98			9.03		0.3					
22	Abadeh	/ HA-70-5	32.01	52.5		1.21			13.7		0.56					
23	Abadeh	HS 145-1	22.7	51.8	0.13	3.23			18.8	3.24	0.1					
24	Abadeh	HS 145-2	23.57	53.2	0.25	5.59			17	0.27	0.12					
25	Abadeh	/ HS 145-3	19.99	47.4	1.1	4.37			24.2	2.2	0.16					
26	Abadeh	HS 145-4	22.32	54.1	0.22	9.03			14	0.29	0.11					
27	Abadeh	• HS 145-5	19.22	55.9	0.82	5.96			6.35	0.75	0.25					
28	Abadeh	HS 203(3)-1	22.48	49.2	0.49	0.41	0.29		16.5	0.2	0.13	0.06	2.64			7.39
29	Abadeh	• HS 203(3)-2	21.03	48.3	0.99	0.73	0.88		10.2	1.53	0.64	0.49	2.58			12.6
30	Abadeh	HS 203(3)-3	31.44	50.3	0.15	6.29	0.64		10.7	0.1	0.33					
31	Abadeh	/ HS 203(3)-4	24.71	47.6	0.99	7.51	0.64		15.7	2.11	0.77					
32	Abadeh	HS- 215-3	23.76	54		6.57		0.37	15.1		0.2					
33	Abadeh	• HS- 215-4	22.67	49.3		3.46		0.34	23.8		0.49					
34	Abadeh	HS-84-1	26.99	55.1				5.96	11.8	0.13						
35	Abadeh	HS113-1	28.52	43.2	0.33	0.42			21.7	5.39	0.47					
36	Abadeh	HS113-4	29.2	46.3	0.34	0.35			22.4	0.2	1.23					
37	Abadeh	/ HS113-4-1	23.22	48.3	1.07	0.67			24.1	1.75	0.9					
38	Abadeh	HS-122-1	26.08	42.3			1.85	1.8	18.7	7.41	1.33				1.8	
39	Abadeh	• HS-122-2	24.11	24.9			2.07	4.07	3.42	40.19	0.53					
40	Abadeh	HS-140-1	20.37	53.5	0.12	6.83	0.44	0.96	16.1	1.69	0					
41	Abadeh	HS-140-2	21.77	53.1	0.14	8.18	0.14	0.18	16.1		0.15					
42	Abadeh	/ HS-140-3	18.47	50.1	0.9	8.37	0.67	0.98	20		0.48					
43	Abadeh	HS-190-1	36.97	18.9			0.08		11.2	13.61	0.2			2.26	16.8	
44	Abadeh	• HS-190-2	32.18	12.9			0.41		11.9	16.23	0.58			1.46	24.3	
45	Abadeh	HS-203	22.18	51.3		0.41		2.08	24.1							
46	Abadeh	HS-215-1	25.25	52.3		5.46		1.23	15.4		0.39					
47	Abadeh	/ HS-215-2	18.04	45.8		3.57		1.45	30.6		0.62					

درصد و در دولومیکرایت‌ها بین ۵/۲۴ تا ۲۸/۲۸ درصد و مقادیر Mg در دولواسپارایت‌ها بین ۰/۴۱ تا ۹/۰۳ درصد دولومیکرواسپارایت‌ها بین ۰/۲۱ تا ۹/۹۲ درصد و در دولومیکرایت‌ها بین ۰/۱۹ تا ۶/۷۷ درصد در تغییر است. کاهش مقدار منیزیم (Mg) در دولومیکرایت‌ها نسبت به دیگر انواع دولومیت‌ها به دلیل بالاتر بودن مقدار کلسیم (Ca) در این نوع از دولومیت است. همانطور که در اشکال ۹، ۱۰ و ۱۱ نمایش داده شده است، مقادیر منیزیم (Mg) در برش‌های مورد مطالعه با نسبت (Mg/Ca) ارتباط مثبتی دارد ( $R^2=0.743$ ) از آنجایی که نسبت (Mg/Ca) در دولومیت‌های خالص حدود ۶۵ درصد می‌باشد، کاهش مقادیر Mg از ۹/۹۲ به ۰/۱۹ درصد به علت دگرسانی این دولومیت‌ها می‌باشد (Blatt et al., 1980). بیشترین میزان Mg در دولومیت‌های خالص ۱۳ درصد می‌باشد (Blatt et al., 1980).

### توصیف ژئوشیمیایی دولومیت‌های برش مورد مطالعه

با شناسایی ترکیب عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم، استرانسیم، منگنز و آهن در دولومیت‌ها می‌توان ترکیب سیال‌های دولومیت ساز را مشخص کرد (Veizer, 1987). همانطور که در جداول ۱ و ۲ نمایش داده شده است، تمرکز عناصر اصلی و فرعی در کربنات‌ها و دولومیت‌های سازنده آباده مشخص شده است.

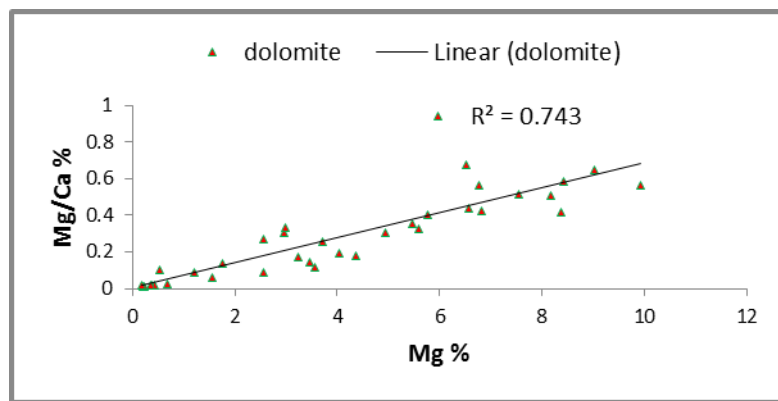
### عناصر اصلی

**کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg):** به طور کلی میزان کلسیم (Ca) در دولومیت‌های برش مورد مطالعه از ۵/۲۴ تا ۳۰/۵۷ درصد تغییر می‌کند. میزان منیزیم (Mg) در این دولومیت‌ها از ۰/۱۹ تا ۹/۹۲ درصد در تغییر است. مقدار Ca در نمونه‌های مورد مطالعه، در دولواسپارایت‌ها بین ۳/۴۲ تا ۳۰/۵۷ درصد در دولومیکرواسپارایت‌ها بین ۶/۲۵ تا ۲۴/۸۴

جدول ۲- توزیع عناصر مختلف در انواع دولومیت‌های سازنده‌های سورمق و آباده در برش مورد مطالعه (مقادیر بر حسب درصد وزنی).

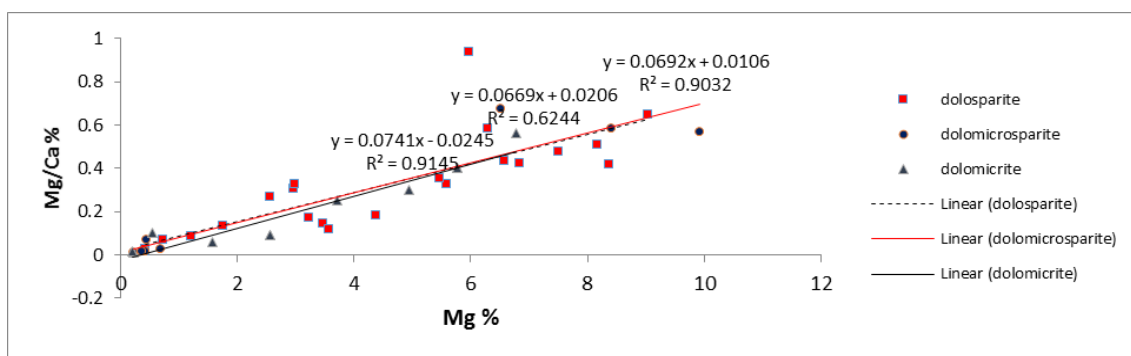
Table 2. Distribution of different elements in the types of dolomites of the Sormagh and Abadeh Formations in the study section (values in weight percent).

Elements	Dolosparite		Dolomicrosparite		Dolomicrite	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
C (w%)	32.01	18.04	29.2	17.71	52.74	17.59
O (w%)	56.47	24.88	58.5	43.22	56.8	12.9
Na (w%)	1.1	0.12	1.07	0.16	1.13	0.11
Mg (w%)	9.03	0.41	9.92	0.21	6.77	0.19
Al (w%)	2.07	0.14	1.02	0.11	2.12	0.08
Si (w%)	5.96	0.18	2.48	2.48	-----	-----
Ca (w%)	30.57	3.42	24.8	6.25	28.28	5.24
Fe (w%)	40.19	0.07	7.96	0.09	16.23	0.02
Sr (w%)	1.33	0.1	3.01	0.18	8.5	0.02
K (w%)	0.49	0.06	-----	-----	-----	-----
Zr (w%)	2.64	2.58	-----	-----	-----	-----
Mo (w%)	0	0	-----	-----	2.26	1.46
S (w%)	1.08	1.08	-----	-----	24.3	1.11
Ti (w%)	12.6	7.39	-----	-----	-----	-----



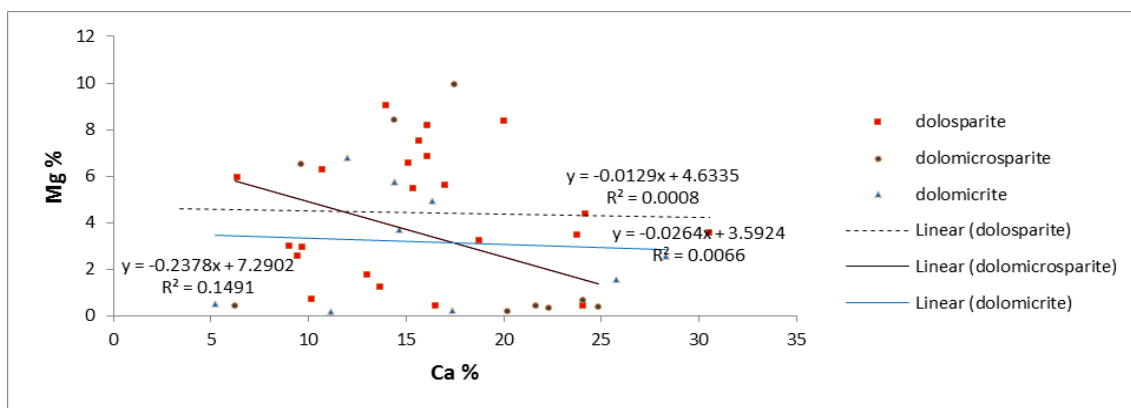
شکل ۹- روند کلی تغییرات نسبت Mg/Ca به Mg در نمونه‌های دولومیتی برش مورد مطالعه.

Fig. 9. General trend of alternation in Mg/Ca to Mg ratio in dolomitic samples in study section.



شکل ۱۰- مقادیر Mg/Ca در برابر Mg در انواع مختلف دولومیت های برش مورد مطالعه.

Fig. 10. Mg / Ca values against to Mg in different types of dolomites in study section.



شکل ۱۱- تغییرات مقادیر Mg در برابر Ca در انواع مختلف دولومیت های برش مورد مطالعه.

Fig. 11. Alternations of Mg values against to Ca in different types of dolomites in study section.

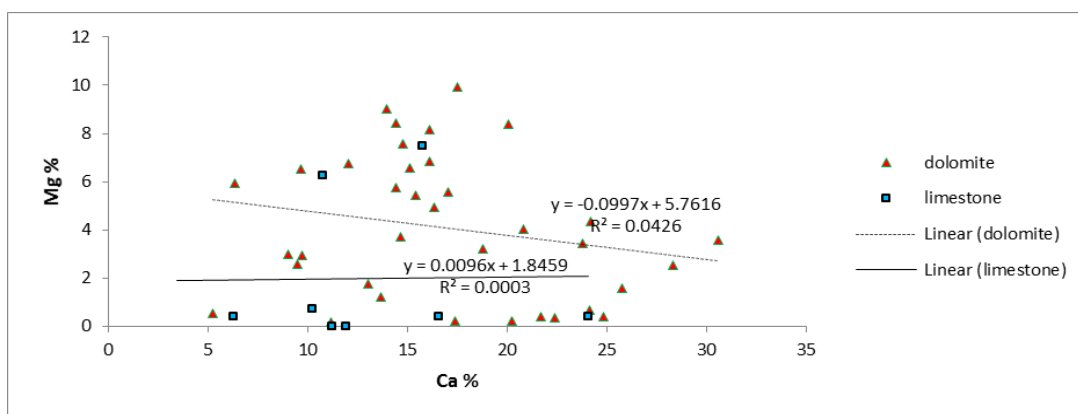
میزان این دو نوع عنصر وابسته به نسبت Mg/Ca سیال منشا و سنگ آهک و دولومیت اولیه می باشد. همچنین وجود دولومیت های انحلال یافته (شکل ۷ تصویر C) در نمونه های مورد مطالعه را می توان به سیالات دیاژنزی غنی از یون کلسیم  $Ca^{+2}$  در محیط دیاژنزی نسبت داد.

همانطور که در شکل ۱۲ نمایش داده شده است با توجه به نمودار کلسیم (Ca) در برابر منیزیم (Mg) در دولومیت های برش های مورد مطالعه تقریباً با افزایش مقدار کلسیم (Ca) مقدار منیزیم (Mg) نیز افزایش می یابد (خلاف روند معمول) که احتمالاً به دلیل جریان دایم و مکرر سیال دولومیت سازی می باشد که با تشکیل دولومیت (با توجه به باز بودن سیستم) میزان منیزیم (Mg) کاهش نیافته بلکه

## عناصر فرعی

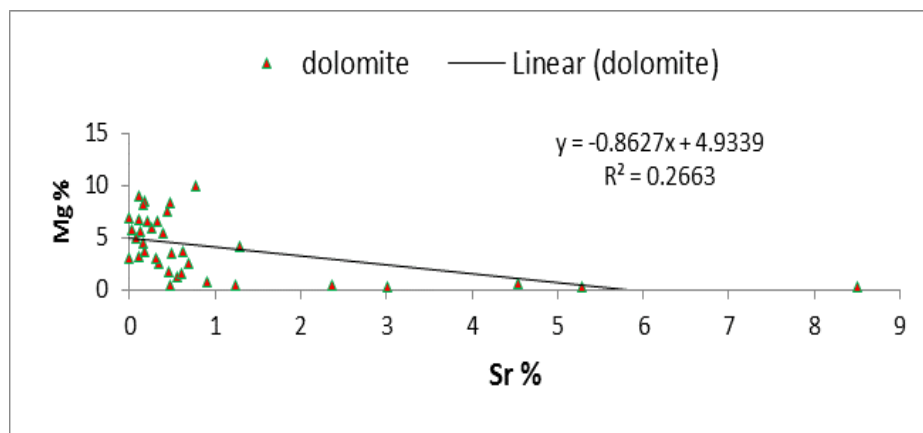
**استرانسیم (Sr):** استرانسیم یکی از مهمترین عناصر ردیاب تجمع یافته در دولومیت‌ها می‌باشد، که به کریستالی شدن دولومیت‌ها، ویژگی سیالات دیاژنتیکی (مانند شوری) و مواد متشکله آن وابسته است. دولومیت‌های اولیه دارای مقدار استرانسیم بیشتری از دولومیت‌های ثانویه یا دیاژنتزی دارند (Shunli et al., 2018). تمرکز استرانسیم Sr در نمونه‌های برش‌های مورد مطالعه، در دولواسپارایت‌ها بین ۰/۱ تا ۱/۳۲ درصد در دولومیکرواسپارایت‌ها بین ۰/۱۸ تا ۳/۰۱ و در دولومیکرایت‌ها ۰/۰۲ تا ۸/۵ درصد در تغییر است. همانطور که در اشکال ۱۳ تا ۱۷ نمایش داده شده است به طور کلی مقادیر Sr در دولومیت‌های مورد مطالعه از دولومیکرایت‌ها به سمت دولواسپارایت‌ها کاهش پیدا می‌کند تمرکز بالای استرانسیم در دولومیکرایت‌ها می‌تواند به دلیل فرایندهای دیاژنتزی باشد که بر روی پوسته‌های آراگونیتی برخی دوکفه‌ای‌ها، فرامینفرهای بنتیک و برخی جلبک‌های سبز در نمونه‌های مورد مطالعه نظر گرفته شود. به طور کلی دولومیت‌هایی که جایگزین آراگونیت می‌شوند نسبت به آنهایی که جانشین کلسیت می‌شوند مقدار

Sr بالاتری دارند. (Humphrey 1988) بر این باور است که مقادیر بالای Sr در دولومیت‌ها نشان از دولومیتی شدن آهک‌های آراگونیتی در محیط‌های به نسبت بسته دیاژنتزی دارد. تمرکز استرانسیم (Sr) به طور میانگین در دولومیت‌هایی که در محیط‌های تیخیری و یا مستقیماً از آب دریا تشکیل می‌شوند، به ترتیب ۶۰۰ و ۴۰۰ پی‌پی‌ام است. مقادیر پایین این عنصر می‌تواند به دلیل تبلور مجدد در طی دیاژنتز تدفینی باشد (Veizer, 1987; Land, 1991; Geske et al., 2012). رسم مقادیر Sr در برابر Mg در نمونه‌های مورد مطالعه یک روند کاهشی را نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل استوکیومتری (نظم بلوری) بلورهای دولومیت باشد. همچنین نسبت Ca/Mg در دولومیت‌های ایده آل برابر ۱/۶ می‌باشد این نسبت برای فازهای مختلف آنالیز شده برای دولواسپارایت‌ها، دولومیکرواسپارایت‌ها و دولومیکرایت‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه به ترتیب برابر ۱/۲۶، ۱/۳۰، ۱/۲۵ می‌باشد. همانطور که مشخص است هر سه نوع دولومیت تقریباً استوکیومتری (نظم بلوری) دارند.



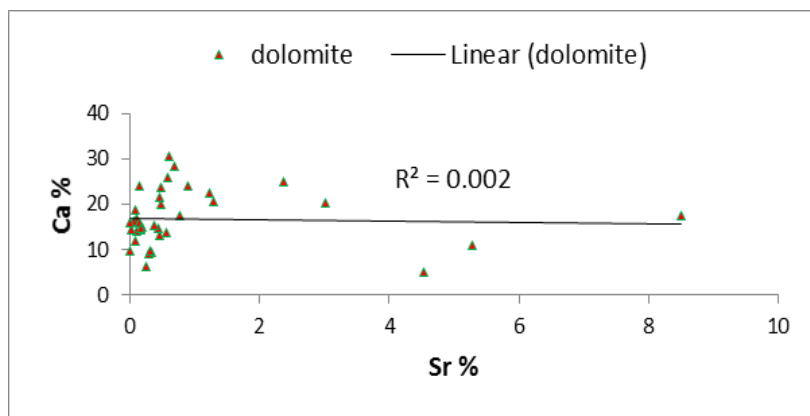
شکل ۱۲- روند تغییرات نسبت Ca به Mg در نمونه‌های دولومیتی و کربناته برش مورد مطالعه.

Fig. 12. Trend of alternations Ca/Mg ratio in dolomitic and carbonate samples in study section.

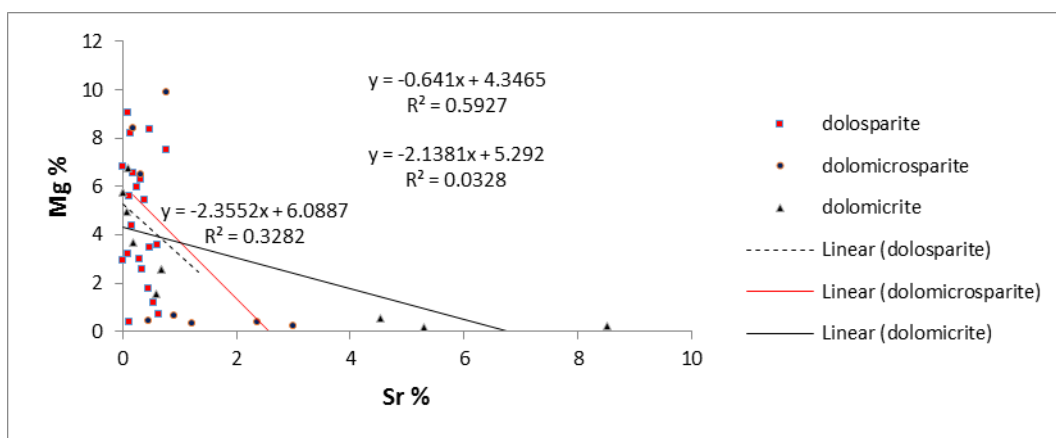


شکل ۱۳- وجود همبستگی منفی بین عناصر Sr و Mg در نمونه‌های دولومیتی برش مورد مطالعه.

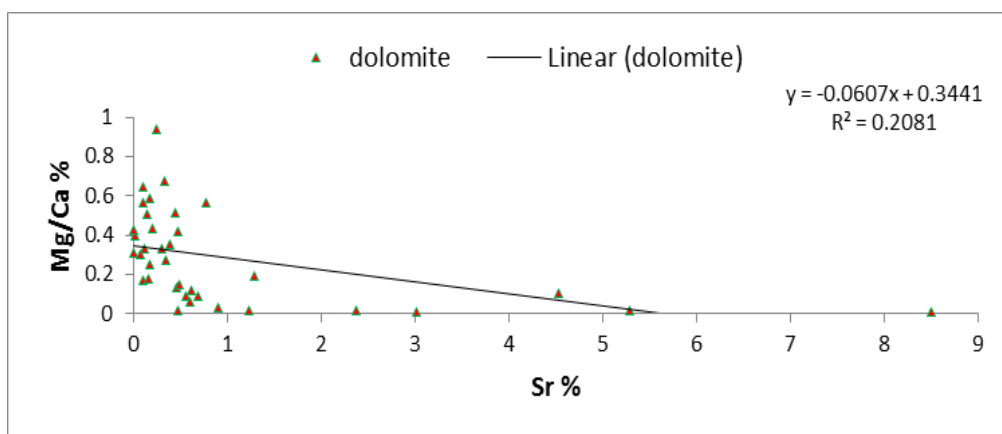
Fig. 13. Negative correlation between Sr and Mg in dolomitic samples in study section.



شکل ۱۴- همانگونه که در شکل پیداست کاهش مقدار Ca در نمونه‌های دولومیتی به معنای کاهش مقدار Sr می باشد.  
 Fig. 14. As shown in the figure, decreasing in Ca in dolomitic samples means decreasing in Sr value.

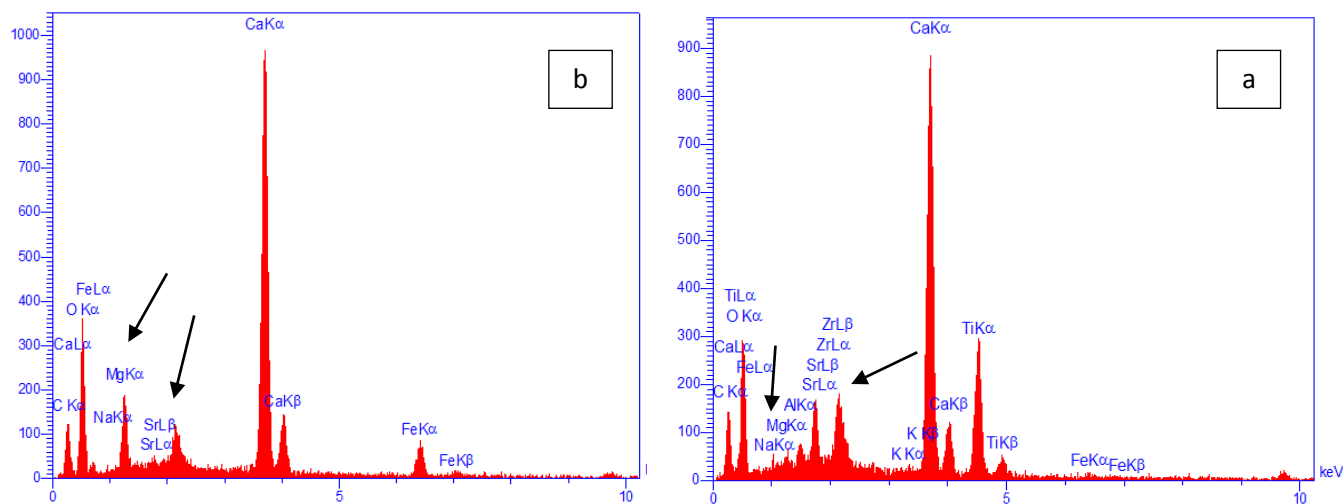


شکل ۱۵- مقادیر Sr در برابر Mg در انواع مختلف دولومیت‌های برش مورد مطالعه، به همبستگی منفی این دو عنصر در شکل توجه شود.  
 Fig. 15. Sr values against to Mg in different types of dolomites in study section, note the negative correlation between two elements.



شکل ۱۶- وجود همبستگی منفی بین نسبت Mg/Ca و Sr (افزایش نسبت Mg/Ca به معنای کاهش مقدار Sr در دولومیت‌ها می باشد).

Fig. 16. Negative correlation between Mg/Ca and Sr ratio (increasing in Mg / Ca ratio means decreasing in Sr content in dolomites).



شکل ۱۷- (a) کربنات کلسیم، (b) دولومیت؛ همانگونه که در پیک‌های آنالیز مشاهده می‌شود جایی که مقدار منیزیم افزایش می‌یابد مقدار استرانسیم کاهش می‌یابد (شکل b برای دولومیت‌ها) و جایی که مقدار منیزیم کاهش می‌یابد مقدار استرانسیم افزایش می‌یابد (شکل a برای کربنات‌ها).

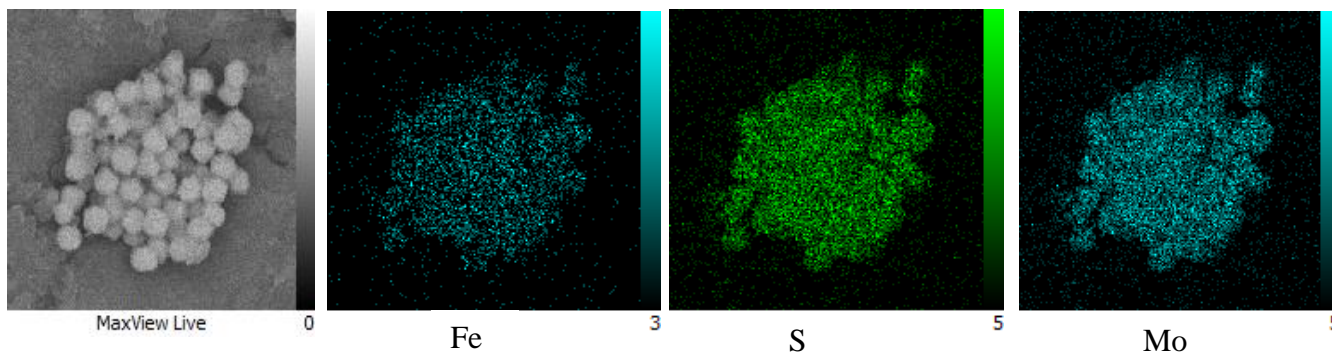
Fig. 17. (a) Calcium carbonate and (b) Dolomite. As seen in the analysis peaks, where magnesium content is increasing, the amount of strontium is decreasing (Figure b for dolomites), and where magnesium content is decreasing, the amount of strontium is increasing (Figure a for carbonates).

**آهن (Fe) و منگنز (Mn):** مقادیر آهن Fe در نمونه‌های مورد مطالعه، در دولواسپارایت‌ها بین ۰/۰۷ تا ۴۰/۱۹ درصد در دولومیکرواسپارایت‌ها بین ۰/۰۹ تا ۷/۹۶ درصد و در دولومیکرایت‌ها بین ۰/۰۲ تا ۱۶/۲۳ درصد در تغییر است. مقدار بالای این عناصر (آهن و منگنز) در دولومیت‌ها بیانگر تحت تأثیر قرار گرفتن دولومیت‌ها توسط سیال‌های غنی از منگنز در شرایط احیاء می‌باشد. یکسان نبودن مقادیر آهن و دیگر عناصر فرعی در انواع مختلف دولومیت‌ها نیز به دلیل ترکیب به نسبت متفاوت سیال‌های تشکیل دهنده دولومیت‌ها است. توزیع این دو عنصر اغلب نسبت به تغییرات pH و Eh سیال حساس می‌باشند، در سیالات اکسیدان با Eh مثبت،  $Fe^{+2}$  و  $Mn^{+2}$  بیشتر به صورت اکسید می‌باشند و برای مشارکت در ساختار کربنات‌ها (برای مثال سیدریت) حضور ندارند (Tucker and Wright, 1991). میزان Fe و Mn در طی تبلور مجدد به تناوب افزایش می‌یابند (Tucker and Wright, 1991).

از دیگر نقاط قابل تامل در آنالیز نمونه‌های سازند آباده اینکه عنصر Fe معمولاً در شبکه بلور جانشین Mg می‌گردد بنابراین باید رابطه‌ی معکوسی بین میزان Mg با Fe وجود داشته باشد که این رابطه برای دولومیت‌های تدفینی عمیق (دولواسپارایت‌ها) صادق می‌باشد ولی برای دولومیکرایت‌ها و دولومیکرواسپارایت‌ها چندان صادق نمی‌باشد که یک دلیل آن می‌تواند به علت حضور این عنصر به صورت اکسید و سولفید به شکل پراکنده در بین و درون این نوع دولومیت‌ها باشد (شکل‌های ۱۸ تا ۲۱) و نه به صورت جانشینی با Mg در دولومیت‌ها، همانطور که در اشکال ۱۸ تا ۲۱ نمایش داده شده است، این موضوع باعث افزایش مقدار آهن Fe در آنالیز نمونه‌ها می‌شود، بدین معنی که احتمالاً مقداری از این عنصر به صورت فرعی ساختار بلور قرار نداشته، بلکه به شکل ناخالصی همراه نمونه وجود دارد. مقدار Fe در نمونه‌های سازند آباده بین ۰/۰۲ تا ۴۰/۱۹ درصد در تغییر است این اختلاف واضح در مقدار آهن می‌تواند به علت حضور کانی‌های اکسیدی و سولفیدی در نمونه‌های دولومیتی ریزبلور باشد.

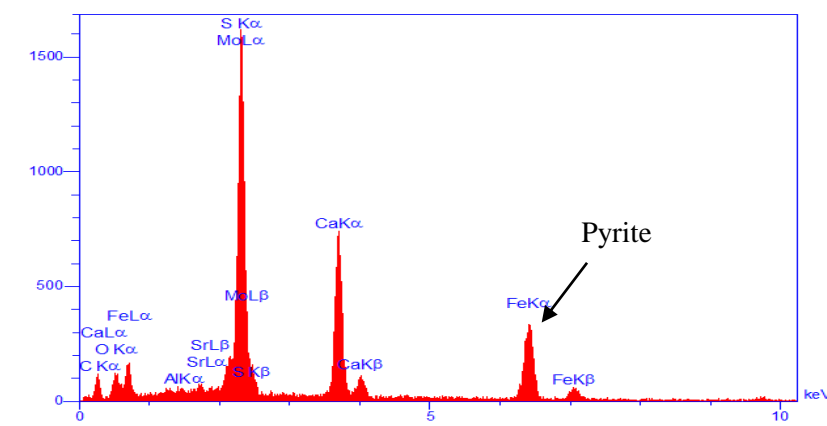
دولوستون‌ها معمولاً با میزان بالایی از Fe, Na, و میزان کمتری Sr, Mn مشخص می‌شوند و تنها یک بخشی از دولوستون‌ها میزان Mn بالایی دارند (Ying Ren et al., 2017). از آنجایی که مقادیر آهن و منیزیم در آب دریا بسیار پایین‌تر از آب درون سازندی است، یک محیط کاهشی برای آهن و منگنز با کلسیم و منیزیم در شبکه دولومیت به صورت جانشینی را مساعد می‌سازد. در مقایسه با استرانسیم و سدیم، مقادیر آهن و منگنز در دولومیت‌های دیاژنتیکی بالاتر از دولومیت‌های اولیه است (Shunli et al., 2018).

**سدیم (Na):** تمرکز Na در دولومیت‌های برش مورد مطالعه، در دولواسپارایت‌ها بین ۰/۱۲ تا ۱/۱ درصد در دولومیکرواسپارایت‌ها بین ۰/۱۶ تا ۱/۰۷ درصد و در دولومیکرایت‌ها بین ۰/۱۱ تا ۱/۱۳ درصد در تغییر است. تمرکز این عنصر در بیشتر انواع مختلف دولومیت‌ها نزدیک به یکدیگر است. این مقادیر بیش از مقدار سدیم موجود در دولومیت‌هایی است که در محیط دریایی عادی شکل می‌گیرند و به طور تپیک ۱۱۰ تا ۱۶۰ پی‌پی‌ام سدیم Na دارند (Veizer, 1987).



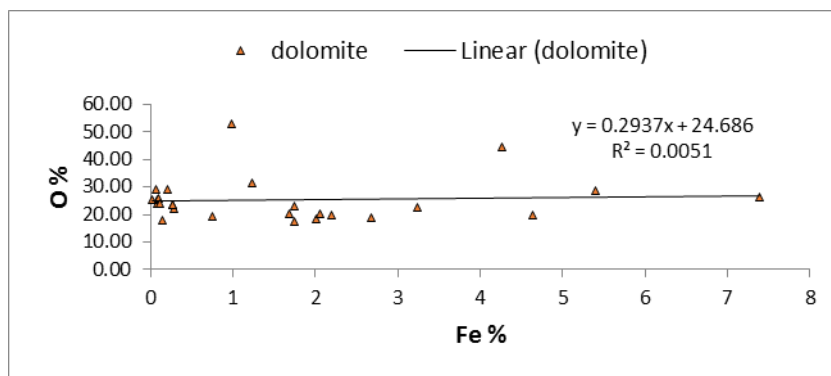
شکل ۱۸- تصاویر نموده رقومی (Digi maps) معرف توزیع عناصر S, Fe و Mo در بلورهای پیریت (نمونه HS190-1). تشابه پراکندگی نشانگر وابسته بودن عناصر در بلور پیریت می باشد.

Fig. 18. Digi maps illustrating the distribution of S, Fe and Mo elements in pyrite crystals (sample HS190-1). The similarity of the scattering indicates the dependence of the elements on the pyrite crystal.



شکل ۱۹- تصاویر مربوط به پیکهای عناصر مختلف در نمونه‌های مورد مطالعه (نمونه شماره HS190-1) (پیکهای مربوط به کانی سولفیدی پیریت  $FeS_2$  با  $2\theta$  تقریباً 6.5) به خوبی نمایان است.

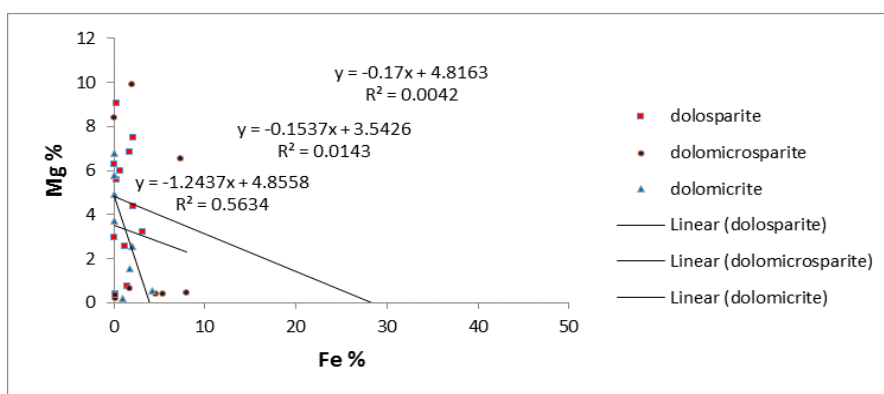
Fig. 19. Pictures of the different element peaks in the studied samples (sample No. HS190-1; picks of pyrite sulfide mineral  $FeS_2$  with  $2\theta$  approx 6.5).



شکل ۲۰- همبستگی مثبت بین عناصر آهن (Fe) و اکسیژن (O) در نمونه های دولومیتی. همانگونه که مشاهده می شود وجود کانی های اکسیدی در نمونه ها بیانگر محیط اکسیدان است.

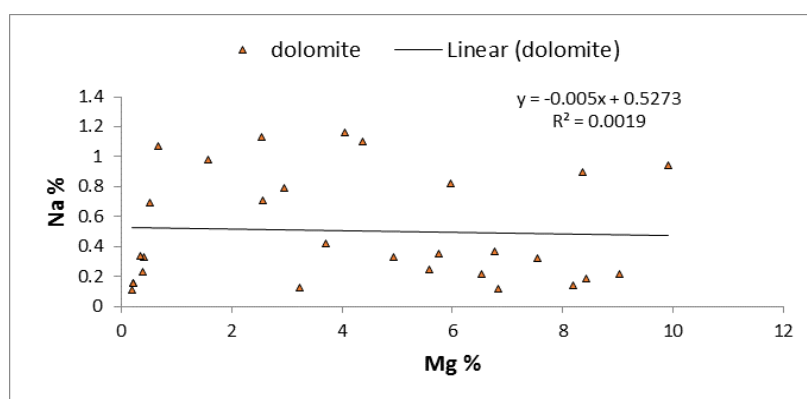
Fig. 20. Positive correlation between Fe (Fe) and oxygen (O) in dolomitic samples. As seen, the presence of oxide minerals in the samples indicates the oxidant environment.





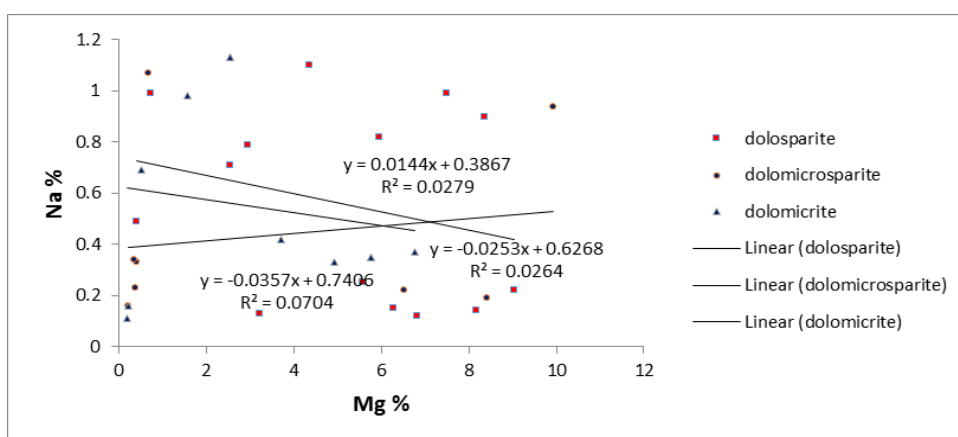
شکل ۲۱- مقادیر Fe در برابر Mg در انواع دولومیت‌های سازند آباده (Fe به مرور جایگزین Mg می شود) وجود Fe در دولومیکرایت‌ها به دلیل شرایط اکسیدی بوده در صورتی که در دولومیکرواسپارایت‌ها و دولواسپارایت‌ها به دلیل شرایط نیمه احیا تا احیاء بوده است.

Fig. 21. Fe versus Mg dolomites in the Abadeh Formation (replacement Mg by Fe), the presence of Fe in the dolomicrites is due to oxide conditions whereas in dolomicrosparites and dolosparites is due to semi-reduction to reduction conditions.



شکل ۲۲- وجود همبستگی منفی بین مقادیر Na در برابر Mg برای دولومیت‌های برش مورد مطالعه.

Fig. 22. Negative correlation between Na versus Mg values for the dolomites in study section.



شکل ۲۳- مقادیر Na در برابر Mg برای انواع دولومیت‌های برش مورد مطالعه.

Fig. 23. Na values against Mg for the types of dolomites in study section.

محلول حاصل از دید  $\text{CaCO}_3$  حالت غیراشباع ولی برای دولومیت حالت فوق اشباع دارد. در تشخیص دولومیت‌های پهنه مخلوط با توجه به بافت‌ها و ساخت‌های سنگ‌شناسی می‌توان به تخلخل قالبی و سیمان کلسیتی هم بعد آب شیرین اشاره کرد. مدل دولومیتی شدن دولومیکرواسپارایت‌ها و دولومیت‌های دانه شکری به این مدل نسبت داده می‌شود (Rahimi and Adabi, 2010, 2016; Rahimi et al., 2016; Adabi, 2009).

#### مدل تدفینی (Burial Model)

دولومیت‌های نوع رگه‌ای (Vein) و نوع زین اسبی (Saddle) طی مدل تدفینی تشکیل می‌شوند. سه منشأ اصلی برای منیزیم مورد نیاز در فرایند دولومیتی شدن تدفینی وجود دارد که شامل تلخابه‌های شور (Bittern Salts) (پلی هالیت، کارنالیت)، منیزیوم منشأ گرفته از تبدیل کانی‌های رسی و نیز آب‌های درون منفذی (Interstitial waters) (شامل آب‌های دریایی و شورابه‌های تبخیری محبوس شده Connate marine waters) موثرترین عامل برای تامین منیزیم مورد نیاز فرایند دولومیتی شدن در زمان تدفین متوسط و ژرف باشد (Moore, 1989). دولومیت‌های تدفینی به صورت جانشینی در زیر منطقه فریاتیکی فعال در فواصل نفوذپذیر رسوبات که تحت نفوذ آب‌های گرم غنی از منیزیم حوضه‌ای و یا گرمایی هستند، تشکیل و سپس در ژرفا توسط دولومیت‌های مراحل پایانی پوشیده می‌شوند و از بین می‌روند (Warren, 2000). دولومیت‌ها در این مدل می‌توانند حفره پر کن و بصورت زین اسبی باشند و از نظر ژئوشیمی می‌توانند حاوی آهن باشند (Rahimi and Adabi, 2010, 2016; Rahimi et al., 2016; Adabi, 2009).

#### مدل رفلکس (Seepage Reflux Model)

این مدل از فرایندهای دولومیتی شدن در ارتباط با محیط‌های سبخایی می‌باشد. دولومیت‌های مدل رفلکس دارای مقادیر  $\text{Mg}/\text{Ca}$  بالا و منشأ آن‌ها سیالات هیپرسالین غنی از یون منیزیم  $\text{Mg}^{+2}$  می‌باشند که از محیط‌هایی با شوری بالا وارد کربنات‌های زیرین می‌شوند و سبب تشکیل این نوع از دولومیت‌ها می‌شوند. این مدل برای سکوهای کربناته و محیط‌های لاگونی به کار برده می‌شود. دولومیت‌های نوع رفلکس از سیالات دولومیت‌ساز در طی تبخیر آب دریا یا آب‌های حفره‌ای پهنه‌های جزر و مدی حاصل می‌شوند (Rahimi et al., 2016; Adabi, 2009) (Adams and Rhodes 1960).

#### تعیین محیط دولومیتی شدن با منشأ سیالات دولومیت‌ساز در منطقه مورد مطالعه

به طور کلی سه نوع دولومیت، در سازند آواده تشخیص داده شده است، که عبارتند از دولومیت‌های خیلی ریزبلور یا دلمیکرایت، دولومیت‌های ریز بلور یا دولومیکرواسپارایت‌ها و دولومیت‌های متوسط بلور یا دولواسپارایت‌ها. با توجه به فابریک و اندازه خیلی ریز بلورها،

همانطور که در شکل‌های ۲۲ و ۲۳ نمایش داده شده است رسم نمودار Na در برابر Mg نمونه‌های برش مورد مطالعه نشان می‌دهد که تمرکز Na با افزایش مقادیر Mg کاهش می‌یابد که می‌تواند شاهدهی برای استوکیومتری بودن بلورهای دولومیت باشد. مقدار Na همانند Sr در دولومیت‌های استوکیومتری (دارای نظم بلوری) بسیار پایین است در نتیجه می‌توان گفت دولومیت‌های برش مورد مطالعه به نظم بلوری (استوکیومتری) رسیده‌اند.

**سیلیسیوم ( $\text{Si}^{+4}$ ):** این عنصر طی دیاژنز شیل‌ها آزاد می‌شود (Mattes and Mountjoy, 1980). بالا بودن میزان Mg در دولومیت‌ها را به چرخش سیالات از میان رسوبات سیلیسی - آواری نسبت داده‌اند (Azmy et al., McHargue, and Price, 1982). معمولاً شیل‌های حوضه‌ای از مواد آلی غنی هستند و دیاژنز مواد آلی به ایجاد یون  $\text{CO}_3^{2-}$  کمک می‌نماید. فرایند دولومیتی شدن ظاهراً توسط محلول‌هایی با قلیابیت بالا (یون فراوان) تسریع می‌شود (Tucker and Wright, 1991).

با توجه به آنالیزهای ژئوشیمیایی انجام گرفته در برش‌های مورد مطالعه، بیشترین مقدار Mg در واحدهای سازندهای سورمق و آواده به ترتیب 9.92 و 9.03، بیشترین مقدار سدیم به ترتیب 1.16 و 1.1، بیشترین مقدار آهن به ترتیب 7.96 و 40.19، بیشترین مقدار Ca به ترتیب 28.3 و 30.6 و بیشترین مقدار Sr به ترتیب 8.5 و 1.33 می‌باشد.

#### تقسیم‌بندی انواع مدل‌های دولومیتی شدن

##### مدل سبک (Sabkha Model)

دولومیت‌های نوع اول (Dolomicrite) به عنوان دولومیت‌های تقریباً همزمان با رسوب‌گذاری یا دولومیت‌های دیاژنزی اولیه (Very early diagenesis) در نظر گرفته می‌شوند. این نوع دولومیت‌ها همراه با توالی‌هایی هستند که از دید رخساره‌های سنگی ویژگی‌های مدل سبک را نشان می‌دهند. از جمله این شواهد می‌توان به همراهی با رخساره‌های منطقه بالای جزر و مدی (سوپراتیدال) و داشتن لامیناسیون، ساخت‌هایی چون فنسترال و بلورهای تبخیری اشاره کرد (Warren, 2000, 2006). افزون بر این، ریز بلور بودن دولومیت‌ها بیانگر زیاد بودن مکان‌های مناسب برای هسته‌سازی بلورهای دولومیت در رسوبات دانه ریز (میکرایتی) سبخایی است (Rahimi and Adabi, 2010, 2016; Rahimi et al., 2016; Adabi, 2009).

##### مدل مخلوط آب شیرین و شور دریا (Mixing Zone Model)

این مدل مربوط به دولومیکرواسپارایت‌ها (Dolomicrosparite) و دولواسپارایت‌ها (Dolosparite) می‌باشد. در این مدل سیالات دولومیت‌ساز از آمیختگی آب دریا با آب‌های جوی زیرسطحی نتیجه شده‌اند (Hanshow et al., 1971; Badiozamani, 1973). آب-های زیرزمینی جوی اشباع از  $\text{CO}_2$  با آب دریا مخلوط می‌شوند و

همزمان با رسوب گذاری، تنها منشأ منیزیم، آب دریا است (Land, 1985). این منشا تنها برای دولومیت‌های نوع ۱ در نظر گرفته می‌شوند که در نزدیک سطح و تحت شرایط دمایی پایین در یک پهنه جزر و مدی و احتمالاً در اثر پمپاژ آب دریا به این پهنه تشکیل شده‌اند. اما منیزیم مورد نیاز برای دولومیت‌های نوع ۲ و نوع ۳ از منابع مختلفی قابل تامین می‌باشد که از میان آنها می‌توان به آب‌های دریایی محبوس یا آب‌های درون روزنه‌ای و یا دیاژنز شیل‌های بخش پایینی سازند آباده در نظر گرفت. در نهایت با توجه به شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی همانطور که در شکل ۲۴ نمایش داده شده است، مدل دولومیتی شدن دولومیت‌های سازندهای همبست و آباده را می‌توان در یک محیط دیاژنزی دریایی و محیط کم‌عمق تا نیمه عمیق در نظر گرفت. با توجه به مدل شماتیک ارائه شده می‌توان گفت که آب دریا ابتدا در محیط لاگون شروع به تبخیر نموده و دولومیت‌های اولیه با منشا دریایی که عمدتاً دولومیکرایت‌ها می‌باشند شروع به رسوب گذاری نموده‌اند و در مرحله بعدی این دولومیت‌ها در یک محیط تدفینی کم‌عمق تا عمیق قرار گرفته‌اند و تحت تاثیر فرایندهای دیاژنزی به انواع دولومیکرواسپار و دولواسپارها تبدیل شده‌اند.

#### نتیجه گیری

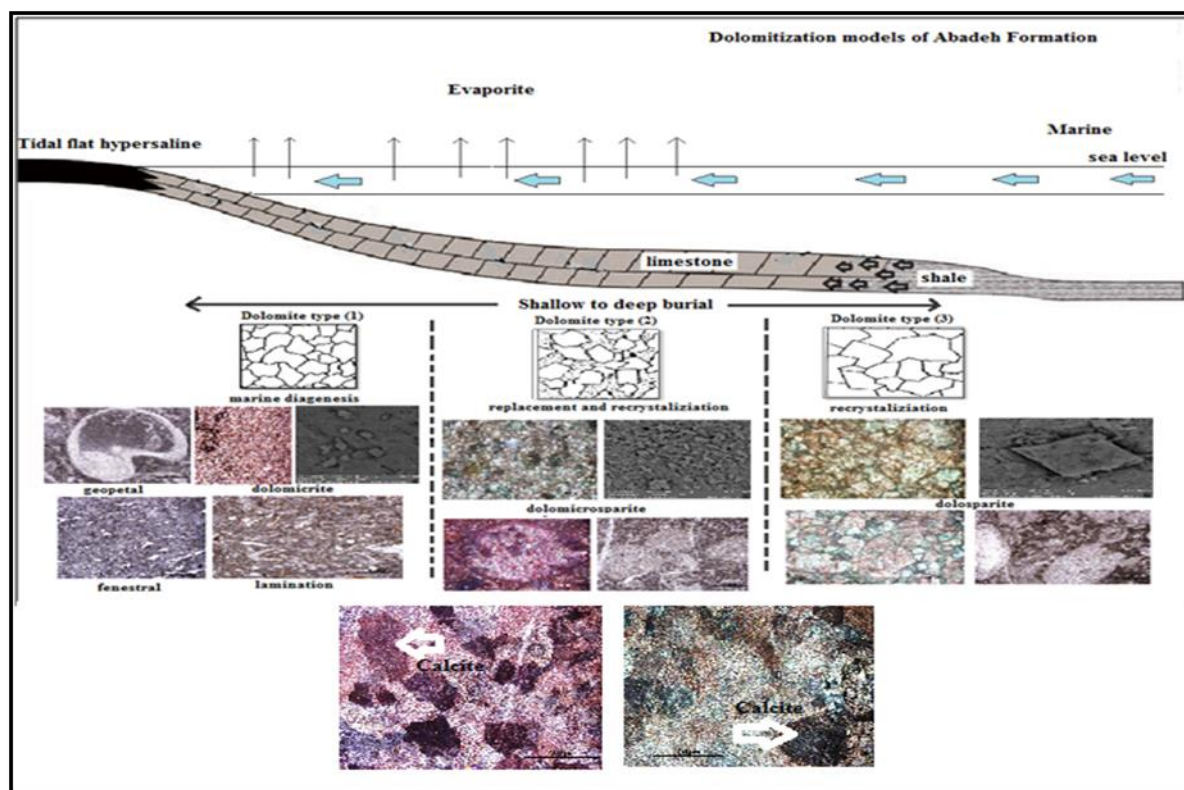
با توجه به مطالعات پتروگرافی و آنالیز عنصری و با توجه به روند تغییرات عناصر اصلی نظیر Mg و Ca و عناصر فرعی و ردیاب نظیر Sr, S, Fe, Mo, Zr, K دو گروه اصلی از دولومیت‌ها در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است که شامل دولومیت‌های اولیه (هم‌زمان با رسوب گذاری) و دولومیت‌های ثانویه (پس از رسوب گذاری) می‌باشند. دولومیت‌های اولیه شامل دولومیکرایت‌ها (خیلی ریز بلور) با بافت موزائیکی و اغلب بی‌شکل در اندازه‌های بین ۴ تا ۱۰ میکرون، و دولومیت‌های ثانویه شامل دولومیکرواسپارایت‌ها (ریز بلور) بصورت نیمه شکل‌دار در اندازه‌های بین ۱۰ تا ۲۰ میکرون و دولواسپارایت‌ها (متوسط بلور) اغلب نیمه شکل‌دار و شکل‌دار و در اندازه‌های بزرگتر از ۲۰ میکرون می‌باشند. نتایج بررسی‌های سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی دولومیت‌های این بخش نشان می‌دهد که این دولومیت‌ها شامل دولومیکرایت، دولومیکرواسپارایت و دولواسپارایت هستند مقادیر پایین Fe و مقادیر بالای Sr و Na در دولومیکرایت‌ها و تمرکز بالای Fe در دولومیکرواسپارایت‌ها و دولواسپارایت‌ها به همراه وجود برخی شواهد مانند اینتراکلاست، تخلخل فنسترال و نبود کانی‌های تبخیری نشان دهنده تشکیل این دولومیت‌ها در محیط ساب تایدال و در یک محیط دیاژنزی کم‌عمق دریایی تا نیمه عمیق دریایی می‌باشند. مقدار Fe در نمونه‌های سازند آباده بین ۰/۰۲ تا ۴۰/۱۹ درصد در تغییر است این اختلاف واضح در مقدار آهن می‌تواند به علت حضور کانی‌های اکسیدی و سولفیدی در نمونه‌های دولومیتی ریزبلور باشد. وجود عناصر ردیاب نظیر سیلیس Si، تیتانیوم Ti، مولیبدن Mo، گوگرد S، پتاسیم K، زیرکن Zr و آلومنیوم Al در برخی از نمونه‌های مورد آنالیز می‌تواند محصول دیاژنز شیل‌های بخش پایینی سازند آباده در نظر گرفته شوند

وجود کوارتز پراکنده در حد سیلت، حفظ بافت‌های اولیه رسوبی، نظیر اینتراکلاست‌ها، لامینه‌های جلبکی و ساخت‌های استروماتولیتی و فابریک فنسترال، عدم وجود فسیل و کانی‌های تبخیری و همچنین نبود شواهدی که نشان دهنده تشکیل آن‌ها تحت تاثیر فرایندهای دیاژنتیکی تاخیری باشد به نظر می‌رسد که دولومیت‌های نوع اول (دولومیکرایت‌ها) تحت شرایط سطحی، دمایی پایین و در محیط بین جزر و مدی تشکیل شده باشند (Gregg and Shelton, 1990) دولومیت‌های نوع دوم و سوم بر اثر تبلور مجدد و یا جانشینی دولومیت‌های خیلی ریز بلور تشکیل شده‌اند. دولومیکرواسپارایت‌ها و دولواسپارایت‌ها عمدتاً به همراه استیلولیت‌ها مشاهده می‌شوند. دولومیت‌هایی که در طول استیلولیت‌ها رشد کرده‌اند توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است (Mattes and Mountjoy, 1980; Zenger, 1983; Miller and Folk, 1994). هر چند در خیلی از موارد شکل‌گیری دولومیت‌ها ارتباطی به فرایند انحلال فشاری نداشته و صفحات استیلولیتی را به عنوان مجرای برای هدایت سیالات دولومیت‌ساز در نظر می‌گیرند (Zenger, 1983; Miller and Folk, 1994). به علاوه دولومیت‌هایی که بر اثر فرایند انحلال فشاری شکل می‌گیرند منحصراً لوزوجهی و آهن‌دار می‌باشند (Wanless, 1979). با توجه به اینکه دولواسپارایت‌ها و دولومیکرواسپارایت‌های مورد مطالعه هیچ یک از این خصوصیات را دارا نمی‌باشند و آثاری از بافت اولیه (دولومیکرایت‌ها) در آن‌ها مشاهده می‌شود نمی‌توان آن‌ها را مرتبط با فرایند انحلال فشاری در نظر گرفت بلکه بیشتر بر اثر جانشینی و تبلور مجدد حاصل شده‌اند. مقادیر پایین استرانسیم (میانگین ۰/۹۹ درصد) و به نسبت بالاتر آهن (میانگین ۱/۶۷ درصد) در دولومیت‌های درشت بلورتر، احتمالاً بیانگر افزایش اندازه بلورهای دولومیت و تبلور دوباره بلورهای دولومیت در طی تدفین است. در طی دیاژنز تدفینی تبلور مجدد در بلورهای دولومیت مشاهده می‌شود همچنین انحلال در پوسته‌ی آلومک‌ها و جانشینی آن‌ها توسط کلسیت و دولومیت رخ داده است. در برخی نمونه‌ها فضای حاصل از شکستگی‌ها و حفرات توسط کلسیت اسپارایت و دولواسپارایت‌ها پر شده است، اندازه این بلورها در حد چند ده میکرون می‌باشد که حاصل دیاژنز تدفینی بوده و در آن‌ها با توجه به نتایج آنالیز ژئوشیمیایی و رنگ آمیزی با محلول فروسیانید پتاسیم عنصر آهن یافت می‌شود. به نظر می‌رسد این نوع از دولومیت‌ها آخرین نسل از دولومیت‌ها باشند که در نمونه‌های سازند آباده شکل گرفته‌اند و تخلخل حاصل از شکستگی‌ها را پر کرده‌اند. دولومیت نوع یک (دولومیکرایت‌ها) به عنوان دولومیت تقریباً هم‌زمان با رسوب گذاری در نظر گرفته شده است. دولومیت نوع دوم (دولومیکرواسپارایت‌ها) و دولومیت نوع سوم (دولواسپارایت‌ها) از تبلور دوباره دولومیت‌های پیشین به وجود می‌آیند. دولواسپارایت‌ها به سه شکل در نمونه‌ها قابل مشاهده می‌باشند، به صورت جانشینی در دانه‌های آلومک‌ی، تبلور مجدد از دولومیت‌های ریز بلورتر و به صورت سیمان همراه با کلسیت هم بعد پرکننده شکستگی‌ها و حفرات سنگ. وجود سیمان کلسیت هم بعد در داخل شکستگی‌ها می‌تواند تائید کننده دیاژنز تدفینی باشد. به نظر می‌رسد که برای دولومیتی شدن اولیه و یا

### قردانی

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه لرستان نوشته شده و از آزمایشگاه مرکزی شماره ۱ دانشگاه لرستان بخاطر انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی تشکر و قدردانی بعمل می آید. نویسندگان مقاله از هیئت تحریر مجله کمال قدردانی و تشکر را دارند.

که به صورت اکسیدی و سولفیدی در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده شده‌اند. با افزایش عمق دیاژنز و دولومیتی شدن Mg افزایش و Sr, Ca و Na کاهش می‌یابد. دولومیت‌هایی با Mg بیشتر و Na کمتر یعنی دیاژنز دفنی عمیق‌تر را متحمل شده‌اند. دولومیت‌های مورد مطالعه در این پژوهش تقریباً حالت نظم بلوری دارند که این روند را می‌توان با توجه به سن برش مورد مطالعه توجیه نمود.



شکل ۲۴- مدل دولومیتی شدن نوع تدفینی در برش مورد مطالعه (بدون مقیاس).

Fig. 24. Dolomitization model (burial type) in the study section (without scale).

### منابع

- Adabi, M.H., 2009. Multistage dolomitization of upper Jurassic Muzduran Formation, Kopet-Dagh basin, NE Iran. *Carbonates and Evaporites* 24, 16-32.
- Adams, A.E., Rhodes, M.L., 1960. Dolomitization by seepage refluxion; *Bull. American Association of Petroleum Geologist* 44, 1912-1920.
- Baghbani, D., 1993. The Permian sequence in the Abadeh region, Central IRAN, *Contribution to Eurasian Geology, International Congress on the Permian System of the World, Russia*.
- Amthor, J.E., Friedman G.M., 1992. Early to late-diagenetic dolomitization of platform carbonates: Lower Ordovician Ellenburger Group, Permian Basin, West Texas. *Journal of Sedimentary Petrology* 62, 1023-1043.
- Azmy, K.D., Lavoie, Z., Wang, U., Brand, I., Al-Aasm, S., Jackson, I., Girard., 2013. Magnesium-isotope and REE compositions of Lower Ordovician carbonates from eastern Laurentia: Implications for the origin of dolomites and limestones. *Chemical Geology* 356, 64-75.
- Badiozamani, K., 1973. The Dorag dolomitization model application to the middle Ordovician of Wisconsin. *Journal of Sedimentary Research* 423, 965-984.
- Blatt, H., G.V., Middleton, R.C., Murray., 1980. *Origin of Sedimentary Rocks: 2nd ed.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ P.514.
- Dickson, J.A.D., 1965. A modified staining technique for carbonate in the thin section. *Nature* 205, 587.

- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists* 108-121.
- Folk, R.L., 1959. Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 3, 1-38.
- Folk, R.L., 1965. Some aspects of recrystallization in ancient limestones. In: Pray, L.C., Murray, R.C. (eds.): *Dolomitization and limestone diagenesis*. Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication 13, 14-48.
- Geske, A., Zorlu, J., Richter, D.K., Buhl, D., Niedermayr, A., Immenhauser, A., 2012. Impact of diagenesis and low grade metamorphism on isotope ( $\delta^{26}\text{Mg}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  and  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ) and elemental (Ca, Mg, Mn, Fe and Sr) signatures of Triassic sabkha dolomites. *Chemical Geology* 332-333, 45-64.
- Gregg, J.M., Shelton, K.L., 1990. Dolomitization and Dolomite Neomorphism in the Back Reef Facies of the Bonnetterre and Davis Formations (Cambrian), Southeastern Missouri. *Journal of Sedimentary Research* 60, 549-562.
- Hanshaw, B.B., Back, W.E., Deike, R.G., 1971. A geochemical hypothesis for dolomitization by groundwater: Economic. *Geology* 66, 710-724.
- Humphrey, J.D., 1988. Late Pleistocene mixing zone dolomitization, south-eastern Barbados, West Indies *Sedimentology* 35, 327-348.
- Land, L.S., 1985. The origin of massive dolomite. *Journal of Geological Education* 33, 112-125.
- Land, L.S., 1991. Dolomitization of the Hope Gate Formation (north Jamaica) by seawater: reassessment of mixing zone dolomite. In: Taylor, H. P., O'Neil, J. R., Kaplan, I. R. (Eds.), *Stable Isotope Geochemistry: A Tribute to Samuel Epstein*. Geochemical Society, Special Publications 3, 121-133.
- Lee, Y.I., Friedman, G.M., 1987. Deep-burial dolomitization in the Lower Ordovician Ellen Burger Group carbonates in west Texas and south-eastern New Mexico. *Journal of Sedimentary Research* 57, 544-557.
- Mattes, B.W., E.W., Mountjoy., 1980. Burial dolomitisation of the Upper Devonian Miette buildup, Jasper National Park, Alberta. In: *Concepts and Models of Dolomitization* (Eds. D.H. Zenger, J.B. Dunham and R.L. Ethington), SEPM Special Publication 28, 259-297.
- Mazzullo, S.J., 1992. Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: A review. *Carbonates and Evaporites* 7, 21-37.
- McHargue, T.R., Price, R.C., 1982. Dolomite from day in argillaceous or shale-associated marine carbonates. *Sedimentary Geology* 52, 873-886.
- Miller, J.K., Folk, R.L., 1994. Petrographic, geochemical and structural constraints on the timing and distribution of postlithification dolomite in the Rhaetian Portoro (Calcarea nerol) of the Portovenere Area, La Spezia, Italy. In: B.H., Purser, M.E., Tucker., D.H., Zenger (Eds.), *Dolomites – A volume in Honor of Dolomieu: International Association of Sedimentologists* 21, 187-202.
- Moore, C.H., 1989. Carbonate Diagenesis and Porosity. In: *Developments in Sedimentology* 46, 338 p.
- Rahimi, A., Adabi, M.H., 2010. The effect of original carbonate mineralogy on diagenetic and porosity evolution in the Kangan, South Pars Field, Persian Gulf. *The First international, Applied Geological Congress, Mashhad, Iran*.
- Rahimi, A., Adabi, M.H., 2016. The effect of original carbonate mineralogy on diagenetic and porosity evolution in the Early Triassic, Central Iran. *The Second international, Applied Geological Congress, Tehran, Iran*.
- Rahimi, A., Adabi, M.H., Aghanabati, A., Majidifard, M.R., Jamali, A.M., 2016. Dolomitization mechanism based on petrography and geochemistry in the Shotori Formation (Middle Triassic), Central Iran. *Open Journal of Geology* 6, 1149-1168.
- Shunli, Zh., Zhengxiang, L.V., Yi, W., Sibing, L., 2018. Origins and Geochemistry of Dolomites and Their Dissolution in the Middle Triassic Leikoupo Formation, Western Sichuan Basin, China. *Minerals* 8, 289.
- Sibley, D.F., Gregg, J.M., 1987. Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Petrology* 57, 967-975.
- Tucker, M.E., Wright, V.P., 1991. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482p.
- Veizer, J., 1987. Chemical diagenesis of carbonates: Theory and application of trace element techniques. In *Stable isotopes in sedimentary geology: Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482p*.
- Wanless, H.R., 1979. Limestone response to stress: pressure solution and dolomitization: *Journal of Sedimentary Petrology* 49, 437-462.
- Warren, J.K., 2000. Dolomite: occurrence, evolution and economically important association. *Earth Science Reviews* 52, 1-81.

- Warren, J.K., 2006. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*, Springer, Berlin, 1036p.
- Ye, Q., Mazzullo, S.J., 1993. Dolomitization of Lower Permian platform facies, Wichita Formation, North Platform, Middle Basin, Texas. *Carbonates and Evaporites* 8, 55-70.
- Ying, R., Dakang, Z., Chonglong, G., Queqi, Y., Ru, X., Langbo, J., Yangjinfeng, J., Ningcong, Zh., 2017. Dolomite geochemistry of the Cambrian Longwangmiao Formation, eastern Sichuan Basin: Implication for dolomitization and reservoir prediction. *Petroleum Research* 2, 64e76.
- Zenger, D.H., 1983. Burial dolomitization in the Lost Burro Formation/Devonian, east central California and the significance of late diagenetic dolomitization. *Geology* 11, 519-522.

