



Textural study, elemental analysis and model of dolomitization in the Shahbazan Formation (Eocene) in a section of the northern ridge of the Kabirkoh anticline, southwest of Dareh Shahr

Yaghub Nasiri¹ and Samira Taghdisi Nikbakht^{2*}

1, 2- Assist. Prof., Dept. of Geology, Faculty of Sciences, University of Gonabad, Gonabad, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article type: Original Research	In order to investigate and understand the dolomitization model of Shahbazan Formation in the south-west Dareh Shahr, a 65-meter-thick stratigraphic section located in the Kabir Kuh anticline has been selected and studied and sampled. The lithology of this formation is mostly dolomite and dolomitic limestone. Petrological studies on the texture of dolomites led to the identification of four groups of dolomites: (very fine crystal dolomites, medium crystal dolomites, coarse crystal dolomites, and very coarse crystal dolomites in fracture and pores filling). Preservation of primary sedimentary textures, such as intraclasts, algal laminae and fenestral fabric, absence of fossils and evaporite minerals, and absence of delayed diagenetic processes, indicate the tidal model for primary very microcrystalline dolomites. The concentration of minor elements (Fe and Mn) in primary dolomites is the lowest, while the concentration of these elements is the highest in secondary dolomites. Also, the concentration of other secondary elements such as (Sr and Na) is the highest in primary dolomites, while the concentration of these elements in secondary dolomites is the lowest, which indicates a shallow to medium and deep burial diagenesis environment. Based on elemental geochemical studies on the main elements Ca and Mg and secondary elements Na, Sr, Fe, Mn for the studied dolomites as well as textural studies on the identified dolomites, it is possible to model the dolomitization of the formation attributed to seepage and then shallow to medium and deep burial to the dolomitization model.
Article history: Received: 2025 January 5 Accepted: 2025 May 4	
Keywords: Shahbazan Formation Elemental analysis Dolomite Tidal flat model Zagros	

DOI: <https://doi.org/10.22084/NFAG.2025.30374.1652>

Corresponding author: Samira Taghdisi Nikbakht, **E-mail:** samirataghdisi@gmail.com

Cite this article: Yaghub Nasiri and Samira Taghdisi Nikbakht (2026). Textural study, elemental analysis and model of dolomitization in the Shahbazan Formation (Eocene) in a section of the northern ridge of the Kabirkoh anticline, southwest of Dareh Shahr, New Findings of Applied Geology, Vol. 20, No. 39, pp: 178-200.



Journal of New Findings of Applied Geology by Bu-Ali Sina University Press is licensed under CC BY-NC 4.0

Web Site: <https://nfag.basu.ac.ir> **E-mail:** nfag@basu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The origin of dolomites can be interpreted based on mineralogy, crystal size and fabric, sedimentological features, elemental and isotopic fractionation, salinity, temperature, composition of fluids and diagnostic and regeneration conditions. By adding geochemical data to petrographic data, the program can provide a better understanding of the origin, time of formation, composition of dolomitizing fluids, dolomitization model, and diagenesis process. Eocene-aged carbonate sediments of the Shahbazan formation are exposed in Lorestan and parts of the high Zagros. The sample section of this formation in the southeast of Lorestan basin (northeast of Khuzestan province) at a close distance from the southeast of Talehzang railway station along with the sample section of Talehzang Formation for the first time by James and Wynd (1965) was selected, size has been taken and introduced. The most important feature of the Shahbazan Formation in the Zagros sedimentary basin is the diagenesis process of dolomitization, according to which, this formation is characterized by a creamy white color and regular layering in terms of thickness (James and Wind, 1965). The investigated area is located 8 kilometers southwest of Darehshahr city, which is accessible to Abdanan through the asphalted road of Darehshahr. This section has the geographical coordinates of "E 47° 35' 20" east longitude and N 32° 24' 25" north latitude. According to the geological map of 1/100000 of Ilam and Darehshahr city, Mesozoic and Cenozoic units are exposed. From the units of the Mesozoic Era, the formations of the Bangestan Group include the Sarvak Formation (shale- carbonate lithology), Surgah (shale lithology), Ilam (shale and carbonate mudstone lithology) and Gurpi Formation (shale - mudstone lithology), Cenozoic units include Pabdeh Formation (shale- mudstone carbonate), Asmari (carbonate) and Shahbazan (dolomite) formations, and Gachsaran formation (carbonate-evaporite). The lower boundary of Shahbazan Formation with the shale and marl units of Pabdeh Formation is distinct and its upper boundary with the carbonate units of Asmari Formation is gradual.

Material and Methods

Based on the geological map of Darehshahr city with a scale of 1/100000, the desired section was selected and sampled on the southern edge of this anticline. Easy navigation, high thickness,

lack of covering, and facies changes were among the things that were considered in the selection of the study section. Based on lithological and facies changes, 65 samples were taken from the strata units of this formation to prepare thin sections. (Thin sections were prepared at Ferdowsi University of Mashhad). Petrological studies were carried out by Olympus-BH2 polarizing microscope with XPL and PPL light at Ferdowsi University of Mashhad. Naming carbonate rocks according to the method (Dunham, 1962) and in order to identify calcite mineral from dolomite, and iron-bearing dolomites, calcite cements and dolomite cements, staining with a mixture of alizarin red and potassium ferrocyanide was done by the method (Dickson, 1965). The nomenclature of dolomites was based on the textural classification of Sibley and Gregg (1987) and Mazallo (1992). For the size of dolomite crystals, the criterion provided by (Folk, 1965) and Adabi (2009) was used. In this study, 13 samples of dolomites (5 samples of primary dolomites and 8 samples of secondary dolomites) were analyzed by EDX method. (EDX analysis and SEM imaging of dolomites have been done in the central laboratory of Lorestan University). Electron imaging of microcrystalline dolomites and other dolomites has also been done in Lorestan University. The position of the samples taken on the layered rock column of Shahbazan Formation in the section in question is shown.

Results and Discussion

Very fine crystal dolomites (dolomicrite):

This type of dolomites with a mosaic texture of one size (unimodal) in sizes between 10 and 40 microns was identified in the studied sections. This type of dolomites has semi-shaped planar borders, which is equivalent to the Planar-S texture of Mazallo (1992) and Sibley and Gregg (1987) and the Idiomatic-S texture of Greg and Sibley (1984) and (Adabi, 2009). The dense, dark-colored and fossil-free fabric of this type of dolomites and the presence of early sedimentary textural evidence such as algal lamination, intraclastic fragments, scattered grains of quartz debris, and fenestral fabric in them seem to be under the surface conditions and temperature that probably formed simultaneously with sedimentation or in the early stages of diagenesis in the upper tidal or intertidal environment. Both nucleation factor and crystal growth rate increase with increasing temperature. Granular particles have very large surfaces compared to their volume, and therefore the nucleation rate in

them is high. If the rate of nucleation is higher than the rate of crystal growth, even at a higher temperature, relatively microcrystalline dolomites are formed (Sibley and Gregg, 1987).

Medium crystal dolomites (dolomicrosparte)

Medium crystal dolomites were identified as shaped to semi-shaped in sizes between 40 and 100 microns in the studied sections (Figure 8). This type of dolomites is equivalent to the Idiopic-P fabric of Sibley and Gregg (1987) and the Planar-P dolomites of Mazallo (1992) (Adabi, 2009). Medium crystal dolomites are usually created from the recrystallization of fine crystal dolomites. This type of dolomites is abundant in limestone facies. Since the fossil fragments in these facies are less affected by dolomitization, it is a reason that rhomboidal dolomite crystals have started to grow preferentially in the fine-grained mud matrix.

Coarse crystal dolomites (Dolosparite): This type of dolomites was identified as semi-shaped and shaped mosaics with sizes between 100 and 250 microns and an average of 150 microns in the studied sections. This type of dolomite is equivalent to the Idiopic-S fabric of Greg and Sibley (1984) and Planar-P dolomites of Mazallo (1992). In many crystals of this type of dolomite, the common boundaries between the crystals are straight and in some of them, the interface of the crystal surfaces is well preserved.

Very coarse crystal dolomites filling fractures and pores: In the studied sections, this type of dolomites was observed in the form of shaped to semi-shaped and in the sizes of several crystals (larger than 250 microns) as filling of fractures and holes in the rock. This type of dolomites is the result of the last stages of diagenetic processes. The staining of this group of dolomites with potassium ferrocyanide indicates the distribution of iron element in coarse crystals and burial in this group of dolomites, which can be due to the restoration of the diagenetic environment of dolomites.

Elemental geochemistry of the studied dolomites:

The concentration of major and minor elements in Shahbazan Formation dolomites is listed in Table 1. The total values of other secondary elements are less than 0.5% and they are not included in the analysis table. Samples 1 to 5 are related to primary microcrystalline dolomites (dolomicrites), samples 6 to 9 are related to medium crystal dolomites (dolomicrospartes) and samples No. 10 to 13 are related to dolomites. They are coarse crystals (dolosparites). In the analysis table, the values of maximum, minimum and average

concentration of main and secondary elements for each group of dolomites are also mentioned. Dolomite type 1 (sedimentary type): The fabric and very small size of the crystals of this group of dolomites, preservation of primary sedimentary textures, such as intraclasts, algal laminae and fenestral fabric, absence of fossils and evaporite minerals and also the lack of evidence that shows their formation under the influence of delayed diagenetic processes, it seems that this type of dolomites under surface conditions, low temperature and in intertidal environment is formed.

Dolomite type 2 and 3 (diagenesis type): This type of dolomite is mostly formed by recrystallization or replacement of very fine crystal dolomites. The magnesium required for this group of dolomites is supplied from trapped seawater or intra-pore water and diagenesis of clay minerals during burial. According to the petrographic studies and elemental analysis studies, it can be concluded that the dolomitization model of the formation in connection with the tidal flat model, seepage and then shallow to medium and deep burial.

Conclusion

Petrographic studies on the texture of dolomites led to the identification of four groups of dolomites (very fine crystal dolomites, medium crystal dolomites, coarse crystal dolomites and fracture filling very coarse crystal dolomites). Microcrystalline dolomites are in the group of primary dolomites and other dolomites are in the group of secondary dolomites. Preservation of primary sedimentary textures, such as intraclasts, algal laminae and fenestral fabric, absence of fossils and evaporite minerals, and absence of delayed diagenetic processes, indicate the tidal model for primary very microcrystalline dolomites. The concentration of minor elements (Fe and Mn) in primary dolomites is the lowest and while the concentration of these elements is the highest in secondary dolomites. Based on elemental geochemical studies on the main elements Ca and Mg and secondary elements Na, Sr, Fe, Mn for the studied dolomites as well as textural studies on the identified dolomites, it is possible to model the dolomitization of the formation attributed to seepage and then shallow to medium and deep burial to the tidal model. Considering the young age of Shahbazan Formation (Eocene), it can be said that the studied dolomites in this formation have not yet reached the crystalline order (stable).



مطالعات بافتی، تجزیه عنصری و مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان (اوسن) در یک برش از یال شمالی تاقدیس کبیرکوه، جنوب باختر دره‌شهر

یعقوب نصیری^۱ و سمیرا تقدیسی نیک‌بخت^{۲*}

۱ و ۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	به منظور بررسی و درک مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان در جنوب‌باختر دره‌شهر یک برش
تاریخچه مقاله:	چینه‌شناسی به ضخامت ۶۵ متر، واقع در یال شمالی تاقدیس کبیرکوه انتخاب و مورد مطالعه و
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶	نمونه‌برداری قرار گرفت. سنگ‌شناسی این سازند دولومیت و سنگ‌آهک دولومیتی است. مطالعات سنگ-
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۱۴	شناسی بر روی بافت دولومیت‌ها منجر به شناسایی چهار گروه از دولومیت‌ها (دولومیت‌های خیلی ریزبلور،
	دولومیت‌های متوسط بلور، دولومیت‌های درشت‌بلور و دولومیت‌های بسیار درشت‌بلور) پر کننده
	شکستگی‌ها و حفرات سنگ) گردید. حفظ بافت‌های اولیه رسوبی، نظیر اینتراکلیست‌ها، لامینه‌های جلبیکی
کلیدواژه‌ها:	و فابریک فنسترال، عدم فسیل و کانی‌های تبخیری و همچنین نبود فرآیندهای دیاژنتیکی تأخیری،
سازند شهبازان	بیانگر مدل جزرومدی برای دولومیت‌های خیلی ریزبلور اولیه است. تمرکز عناصر فرعی آهن و منگنز در
تجزیه عنصری	دولومیت‌های اولیه کمترین مقدار را دارد، در حالی که تمرکز این عناصر در دولومیت‌های ثانویه بیشترین
دولومیت	مقدار را دارد. همچنین تمرکز عناصر فرعی دیگر نظیر استرانسیم و سدیم در دولومیت‌های اولیه بیشترین
مدل جزرومدی	مقدار می‌باشد در صورتی که تمرکز این عناصر در دولومیت‌های ثانویه کم‌ترین مقدار است که این موضوع
زاگرس	دلالت بر محیط دیاژنزی تدفینی کم عمق تا متوسط و عمیق برای دولومیت‌های ثانویه دارد. بر پایه
	مطالعات زمین‌شیمی عنصری بر روی عناصر اصلی کلسیم و منیزیم و عناصر فرعی آهن، منگنز، سدیم
	و استرانسیم برای دولومیت‌های مورد مطالعه و همچنین مطالعات بافتی بر روی دولومیت‌های شناسایی
	شده، می‌توان مدل دولومیتی شدن سازند را به مدل جزرومدی، تراوش و سپس دفن کم عمق تا متوسط
	و عمیق نسبت داد.

DOI: <https://doi.org/10.22084/NFAG.2025.30374.1652>

* نویسنده مسئول: سمیرا تقدیسی نیک‌بخت، E-mail: samirataghdisi@gmail.com

استناد: یعقوب نصیری و سمیرا تقدیسی نیک‌بخت (۱۴۰۵). مطالعات بافتی، تجزیه عنصری و مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان (اوسن) در یک برش از یال شمالی تاقدیس کبیرکوه، جنوب باختر دره‌شهر، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۲۰، شماره ۳۹، صفحه ۱۷۸ تا ۲۰۰.

این نشریه علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را براساس لایسنس کپی‌رایت کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.



آدرس وبسایت نشریه: <https://nfag.basu.ac.ir> ایمیل نشریه: nfag@basu.ac.ir

۱- پیشگفتار

در توالی‌های رسوبی امروزی، دولومیت‌ها در مقایسه با سنگ‌های آهکی فراوانی کمتری دارند، در حالی که در گذشته دولومیت‌ها، یا به دلیل زمان طولانی که برای تشکیل داشته‌اند و یا به علت بالا بودن نسبت Mg/Ca در آب دریا و یا تفاوت در میزان گاز کربنیک (CO_2) اتمسفر، به مراتب گسترده‌تر هستند (آدابی، ۲۰۰۹). از آنجایی که ساختن دولومیت در شرایط آزمایشگاهی، در شرایط دما و فشار حاکم بر محیط‌های رسوبی عهد حاضر به راحتی امکان پذیر نیست، لذا نحوه تشکیل دولومیت هنوز با ابهاماتی روبه‌رو است (مولر و همکاران، ۲۰۱۷). مدل‌های مختلفی در رابطه با تشکیل دولومیت‌ها ارائه شده است که عبارتند از: مدل دریایی، مدل مخلوط (نوع دورگ)، مدل رفت و برگشتی، مدل احیای سولفات‌ها، مدل کانیبالیزاسیون، مدل دریاچه‌ای و مدل دولومیت‌های تدفینی کم‌عمق تا عمیق (آدابی، ۲۰۰۹). مطالعات عنصری و ایزوتوپی برای درک ترکیب سیالات، شرایط اکسیداسیون و احیاء و دمای دولومیتی شدن مفید است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ هو و همکاران، ۲۰۱۶؛ ژاو و همکاران، ۲۰۱۲). منشأ دولومیت‌ها را از روی کانی‌شناسی، اندازه بلورها و فابریک، ویژگی‌های رسوب‌شناسی، تفریق عنصری و ایزوتوپی، شوری، دما، ترکیب سیالات و شرایط اکسیداسیونی و احیا می‌توان تعبیر و تفسیر نمود (راو، ۱۹۹۶). امروزه با اضافه کردن داده‌های زمین‌شیمیایی به داده‌های سنگ‌نگاری می‌توان درک بهتری از منشأ، زمان تشکیل، ترکیب سیالات دولومیت‌ساز، مدل دولومیتی شدن و روند دیاژنز فراهم نمود (ازمی و همکاران، ۲۰۰۱؛ آرومانی و همکاران، ۲۰۱۳؛ کالن، ۲۰۱۶). رسوبات کربناته سازند شهبازان به سن ائوسن در نواحی لرستان و بخش‌های زاگرس مرتفع رخنمون دارند (مطیعی، ۱۳۷۲؛ عبدل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶). برش نمونه این سازند در جنوب خاوری حوضه لرستان (شمال خاور استان خوزستان) در فاصله نزدیکی از جنوب خاوری ایستگاه راه‌آهن تله‌زنگ به همراه برش نمونه سازند تله‌زنگ برای اولین بار توسط جیمز و واین (۱۹۶۵) انتخاب، اندازه‌گیری و معرفی شده است. مهمترین ویژگی سازند شهبازان در حوضه رسوبی زاگرس، فرآیند دیاژنزی دولومیتی شدن است که بر اساس آن، این سازند با رنگ سفید متمایل به کرم و لایه‌بندی منظم از نظر ضخامت، مشخص می‌گردد (جیمز و واین،

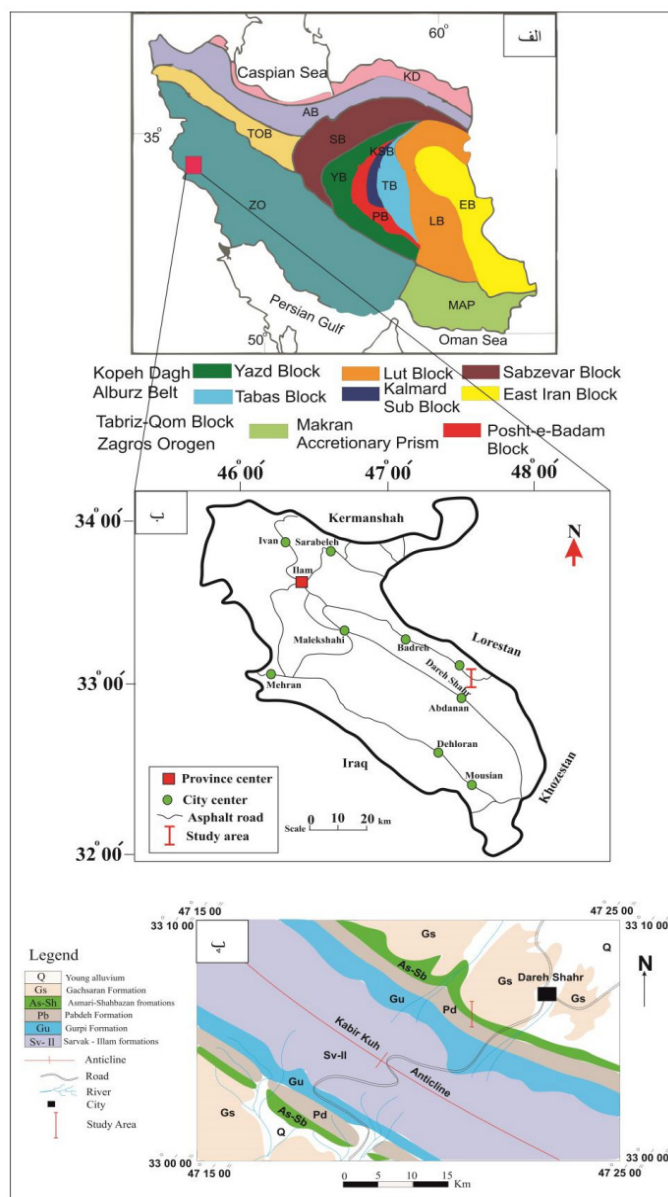
۱۹۶۵). ناحیه مورد بررسی در ۸ کیلومتری جنوب‌باختری شهرستان دره‌شهر واقع شده است که از طریق جاده آسفالت دره‌شهر به آبدانان قابل دسترسی می‌باشد. این برش دارای مختصات جغرافیایی به طول خاوری $20^{\circ} 35' E$ و عرض شمالی $32^{\circ} 24' 25'' N$ است (شکل ۱). از جمله پژوهش‌هایی که بر روی سازند شهبازان از دیدگاه دیاژنز و زمین‌شیمی عنصری به منظور بررسی دولومیت‌ها و مدل دولومیتی شدن آن صورت گرفته است می‌توان به سنگ‌نگاری و مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان در تاق‌دیس ماله کوه توسط سبزواری و صداقت‌نیا (۱۴۰۱)، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی واحدهای کربناته-دولومیتی سازند شهبازان در شمال خاوری کوه‌دشت (حوضه رسوبی لرستان) توسط سبزواری و صداقت‌نیا (۱۴۰۱)، روند دولومیتی شدن سازند شهبازان در تاق‌دیس امیران توسط جمشیدی و صداقت‌نیا (۱۴۰۳) اشاره کرد. در تمام برش‌های مورد مطالعه مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان به مدل جزرومدی، تراوش و سپس دفن کم‌عمق تا متوسط نسبت داده شده است. لذا، تلفیق نتایج پژوهش‌های پیشین انجام گرفته بر روی سازند شهبازان و مطالعه حاضر، با توجه به اینکه این پژوهش‌ها مختص به حوضه رسوبی لرستان می‌باشند و برش تاق‌دیس کبیرکوه در بخش انتهایی و جنوب‌غرب حوضه رسوبی لرستان (پهنه زمین‌شناسی لرستان) واقع شده است، لذا می‌توان گفت شرایط نهشته‌شدن واحدهای سنگ‌چینه‌ای سازند شهبازان در پهنه زمین‌شناسی لرستان در بازه زمان ائوسن تقریباً یکسان و یکنواخت بوده است.

۲- جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساختاری منطقه

نقشه‌های زمین‌شناسی ساختاری منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد که زون چین‌خورده زاگرس در اثر برخورد ورقه عربی از جنوب، با ورقه‌ی ایران مرکزی از شمال به وجود آمده است (کونرت و همکاران، ۲۰۰۱). این منطقه بخش شمالی و چین‌خورده ورقه‌ی عربی و بخشی از کوهزایی آلپ-هیمالیا است که از شمال‌باختری تا جنوب‌خاوری ایران امتداد دارد (حیدری، ۲۰۰۸). در طی پالئوسن پسین تا ائوسن، رسوبات زاگرس در یک حوضه‌ی پیش‌گودال باقیمانده در امتداد حاشیه شرقی صفحه عربی نهشته شده‌اند (موریس، ۱۹۸۰؛ زیگلر، ۲۰۰۱؛ علوی، ۲۰۰۴؛ آگارد و همکاران، ۲۰۱۱؛ ورجس و همکاران، ۲۰۱۹).

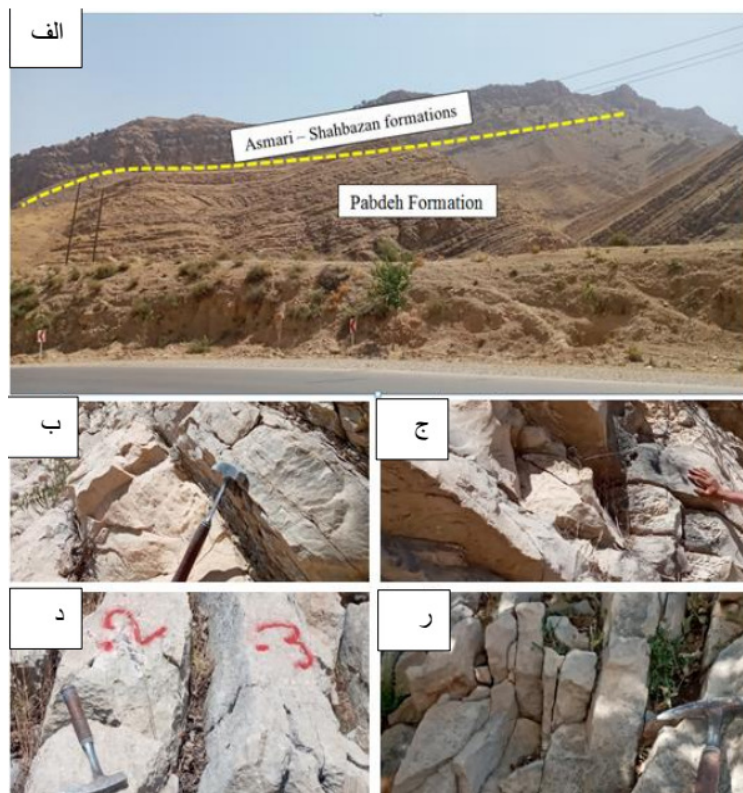
(لیتولوژی شیلی)، ایلام (لیتولوژی شیلی و مارنی) و سازند گورپی (لیتولوژی شیلی - مارنی) دیده می‌شوند. واحدهای دوران نوزیستی شامل سازندهای پابده (شیلی - مارنی)، سازندهای آسماری (کربناته) و شهبازان (دولومیتی) و سازند گچساران (کربناته - تبخیری) می‌باشند (شکل‌های ۱ و ۲). مرز زیرین سازند شهبازان با واحدهای شیلی و مارنی سازند پابده به صورت ناپیوستگی همشیب و مرز بالایی آن با واحدهای کربناته سازند آسماری به صورت ناپیوستگی فرسایشی با حفرات انحلالی می‌باشد.

گسترش حوضه پیش‌گودال در زمان انوسن کاهش یافته و در نهایت با یک سکوی کربناته جایگزین شده است (پیریایی و همکاران، ۱۳۹۳). ناحیه مورد مطالعه بر اساس نقشه پهنه‌های ساختاری زاگرس، در بخش زاگرس چین‌خورده واقع شده است (فخاری، ۱۹۸۵). بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ایلام و دره‌شهر، واحدهای دوران میان‌زیستی و نوزیستی در ناحیه مورد نظر رخنمون دارند. از این واحدهای سنگ‌چینه‌ای سازندهای گروه بنگستان، سازند سروک (لیتولوژی کربناته - شیلی)، سورگاه



شکل ۱. الف) نمایی از زون‌های ساختاری در نقشه ایران (علوی، ۱۹۹۱). ب) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به برش مورد مطالعه. پ) گسترش سازندهای منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان ایلام.

Fig. 1. a) View of structural zones on the map of Iran, b) Geographical location and ways of access to the section under study. c) Expansion of formations in the studied area based on geological map 1/100000 of Ilam city.



شکل ۲. الف: نمایی از سازند شهبازان و دیگر سازندهای رخنمون یافته در ناحیه مورد مطالعه (دید به سمت شمال خاور). ب: واحد سنگ آهک دولومیتی متوسط لایه. ج: واحد سنگ آهک دولومیتی نازک تا متوسط لایه. د: واحد دولومیت متوسط لایه. ر: واحد دولومیت نازک لایه.

Fig. 2. a) A view of the Shahbazan Formation and other outcropping formations in the study area (view to the northeast). b) Unit of medium bedding dolomitic limestone. c) Unit of thin to medium bedding dolomitic limestone. d) Unit of medium bedding dolomite. e) Unit of thin bedding dolomite.

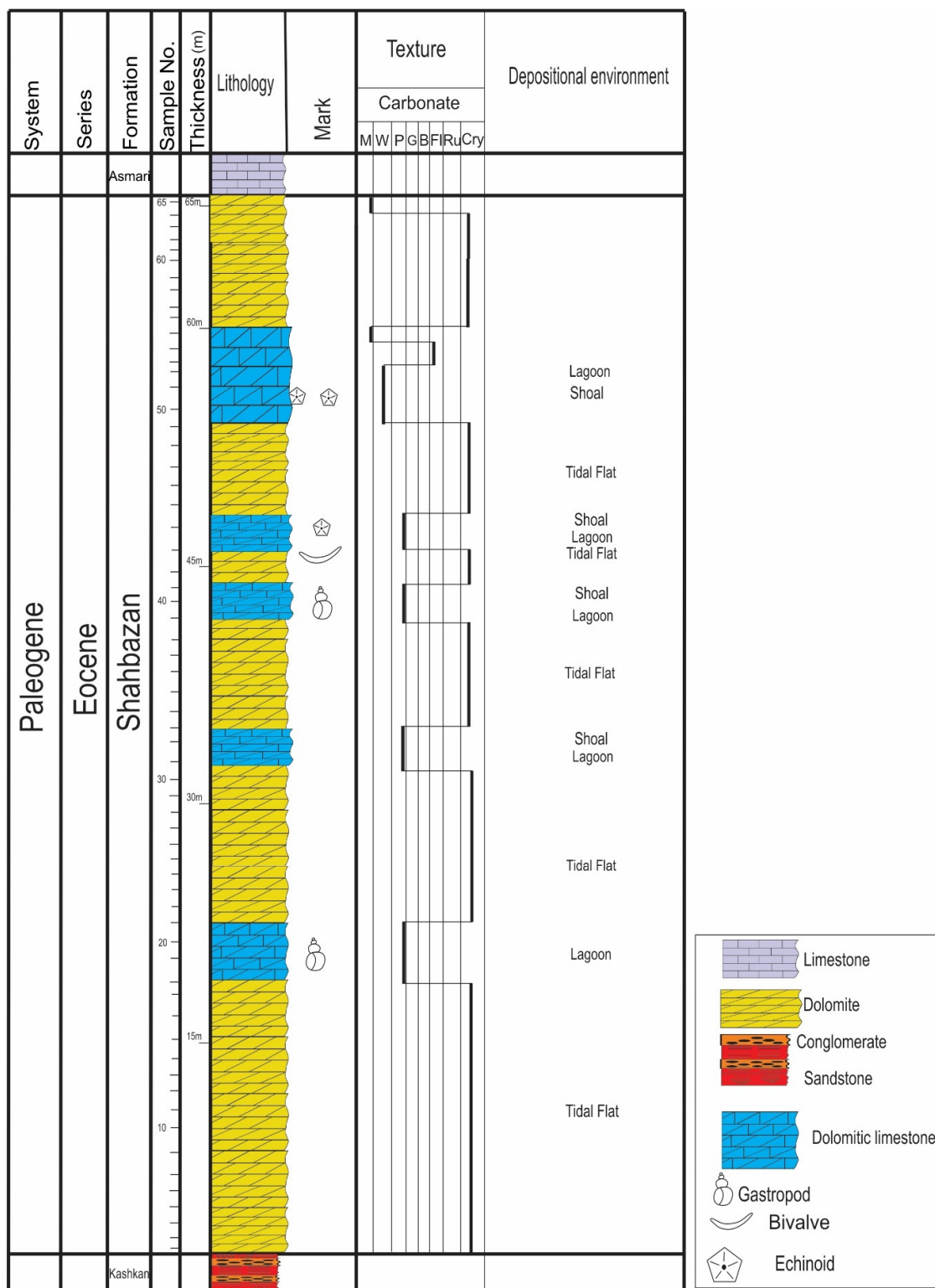
۳- روش مطالعه

بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دره شهر، برش مورد نظر در یال شمالی تاقدیس کبیرکوه انتخاب و نمونه‌برداری شده است. پیمایش آسان، ضخامت زیاد، نداشتن پوشیدگی و تغییرات رخساره‌ای از جمله مواردی بوده‌اند که در انتخاب برش مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. براساس تغییرات سنگ‌شناسی و رخساره‌ای، تعداد ۶۵ نمونه از واحدهای سنگ‌چینه‌ای این سازند جهت تهیه مقاطع نازک جمع‌آوری گردید. مقاطع نازک در دانشگاه گناباد تهیه شده است. مطالعات سنگ‌شناسی توسط میکروسکوپ پلاریزان نوع Olympus- BH2 با نور XPL و PPL در دانشگاه گناباد صورت گرفته است. نام‌گذاری سنگ‌های کربناته به روش (دانهام، ۱۹۶۲) و به‌منظور شناسایی کانی کلسیت از دولومیت و دولومیت‌های آهن‌دار، سیمان‌های کلسیتی و سیمان‌های دولومیتی، رنگ‌آمیزی با

مخلوط آلیزارین قرمز و فروسیانیدپتاسیم به روش (دیکسون، ۱۹۶۵) انجام شد. نام‌گذاری دولومیت‌ها بر اساس رده‌بندی بافتی سیبلی و گرک (۱۹۸۷) و مازالو (۱۹۹۲) صورت گرفت. برای اندازه بلورهای دولومیت از معیار ارائه شده توسط فولک (۱۹۶۵) و آدابی (۲۰۰۹) استفاده شده است. در این مطالعه، ۱۳ نمونه از انواع دولومیت‌ها (۵ نمونه دولومیت‌های اولیه و ۸ نمونه دولومیت‌های ثانویه)، با استفاده از روش طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX)^۱ مورد آنالیز قرار گرفتند. تجزیه EDX و تصویربرداری SEM^۲ از دولومیت‌ها در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان انجام شد. از دولومیت‌های ریزبلور و سایر دولومیت‌ها تصویربرداری الکترونی در دانشگاه لرستان نیز صورت گرفته است. موقعیت نمونه‌های برداشت شده بر روی ستون سنگ‌چینه‌ای سازند شهبازان در برش مورد نظر نشان داده شده است (شکل ۳).

^۲ Scanning electron microscope

^۱ Energy Dispersive X ray



شکل ۳. ستون سنگ‌چینه‌ای سازند شهبازان در برش مورد مطالعه به همراه موقعیت نمونه‌های برداشت شده. (سن ذکر شده سازند شهبازان در ستون سنگ‌چینه‌ای، بر اساس توضیحات ارائه شده در نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌باشد).

Fig. 3. Lithostratigraphic column of Shahbazan Formation in the study section along with the location of the collected samples. (The mentioned age of Shahbazan Formation in the stratigraphic column is based on the explanation provided in the geological map of the region).

۴- سنگ‌نگاری دولومیت‌های مورد مطالعه

دولومیت از اجزای اصلی بسیاری از سنگ‌های رسوبی است که مورد توجه سنگ‌شناسان کربناته بوده است، زیرا مقادیر قابل توجهی نفت، گاز و کانسارهای فلزی پایه (نظیر سرب، روی و قلع) در سنگ میزبان دولومیتی جای دارند. از آنجایی که در طبیعت انواع مختلف دولومیت وجود دارد، بنابراین یک فرآیند مستقل نمی‌تواند عاملی برای دولومیتیزاسیون باشد (آمتور و فریدمن، ۱۹۹۲؛ گابلون و ویتاکر، ۲۰۱۶؛ والاس و هود، ۲۰۱۸). مطالعاتی که اخیراً بر روی دولومیت‌های دیرینه با ضخامت و گسترش زیاد صورت گرفته است، حاکی از این است که فرآیندهای دیاژنتیکی پیچیده عامل دولومیتی شدن اولیه و دولومیتی شدن تأخیری هستند (گرگ و سیبلی، ۱۹۸۴؛ گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ آدابی، ۲۰۰۹؛ مولر و همکاران، ۲۰۱۷؛ لوکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰). این مطالعات نشان داده است که اگر زمان، دما و میزان سیالات دولومیت‌ساز کافی و مناسب باشد، یک طیف وسیعی از انواع دولومیت‌ها تشکیل می‌شود (بارگومانو و همکاران، ۲۰۲۰؛ آرگنتینو و همکاران، ۲۰۲۱). به‌طور کلی، از طریق اندازه بلورهای دولومیت برای تشخیص دولومیت‌های اولیه از ثانویه استفاده می‌شود (آمتور و فریدمن، ۱۹۹۲). طبقه‌بندی بافتی ارائه شده برای دولومیت‌ها توسط (گرگ و سیبلی، ۱۹۸۴؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲)، یک طبقه‌بندی توصیفی است، اما کاربردهای ژنتیکی نیز دارد. به گونه‌ای که دولومیت‌هایی که دارای یک اندازه هستند (یونی‌مدال) در نتیجه رخداد یک مرحله‌ای هسته‌زایی و توزیع هموزن مکان‌های هسته‌زایی به همراه رشد یکنواخت بلورها حاصل شده است. در صورتی که بلورهایی با اندازه متفاوت (پلی‌مدال) به توزیع ناهمگن مکان‌های هسته‌زایی، هسته‌زایی چندمرحله‌ای و یا تغییر در میزان رشد بلورها نسبت داده شده است (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷). به‌طور کلی، در دمای پایین یا درجه اشباع پایین، سطوح بلوری صاف و بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در دولومیت توسعه می‌یابد. در درجه اشباع بالا، که به اشباع بحرانی مرسوم است، سطوح بلوری غیرمسطح و بلورهای بی‌شکل دولومیت تشکیل می‌گردد (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷؛ گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰؛ لوکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات سنگ‌نگاری بر روی دولومیت‌های سازند شهبازان منجر به شناسایی چهار نوع از این دولومیت‌ها گردید.

۱- دولومیت‌های ریزبلور (دولومیکرایت): این نوع از

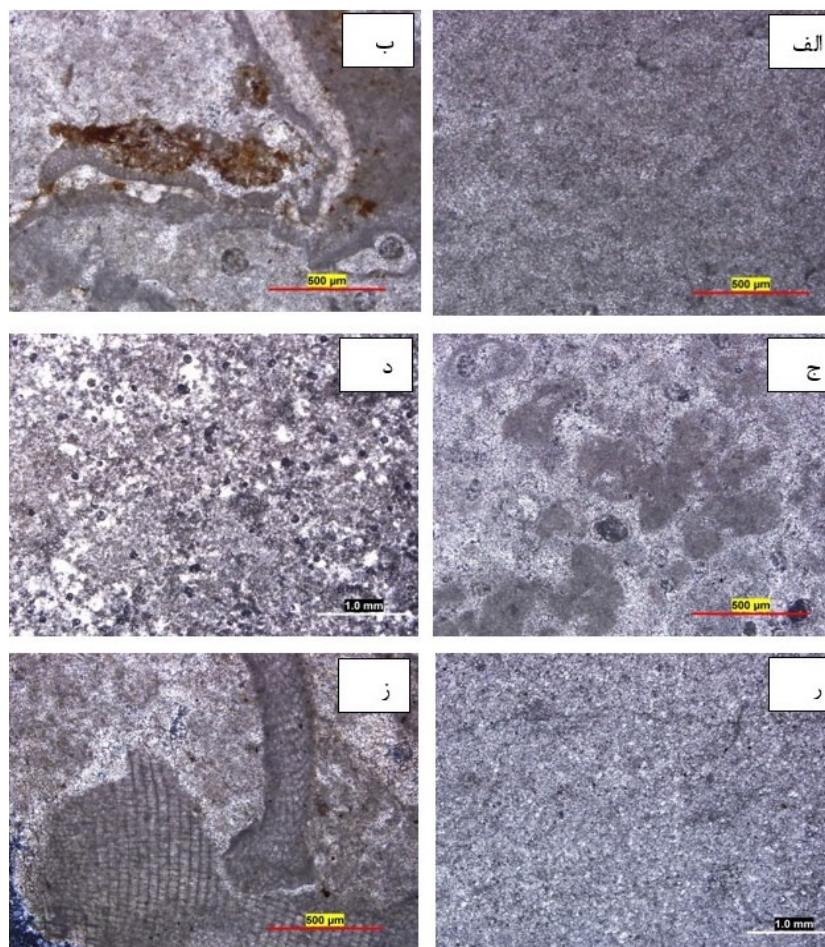
دولومیت‌ها با بافت موزائیکی یک اندازه (یونی‌مدال) در اندازه‌های بین ۱۰ تا ۴۰ میکرون در مقاطع مورد مطالعه شناسایی گردید (شکل ۴). این نوع از دولومیت‌ها دارای مرزهای مسطح شکل‌دار می‌باشند که این بافت معادل بافت S-Planar مازالو (۱۹۹۲) و سیبلی و گرگ (۱۹۸۷) و بافت Idiopic - S گرگ و سیبلی (۱۹۸۴) و (آدابی، ۲۰۰۹) است. فابریک متراکم، تیره رنگ و فاقد فسیل این نوع از دولومیت‌ها و وجود شواهد بافتی رسوبی اولیه نظیر لامیناسیون جلبکی، قطعات اینتراکلاستی گلی و جلبکی، دانه‌های پراکنده کوارتز آواری در اندازه سیلت و فابریک فنسترال در آن‌ها، به نظر می‌رسد تحت شرایط سطحی و دمای پایین و احتمالاً همزمان با رسوب‌گذاری یا در مراحل اولیه دیاژنز در محیط بالای جزرومدی یا بین جزرومدی تشکیل شده‌اند و آب دریا و یا محلول‌های بین ذره‌ای غنی از منیزیم احتمالاً عامل دولومیتی شدن بوده‌اند (لند، ۱۹۸۵؛ گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ آل - آسام و پاکارد، ۲۰۰۰؛ والاس و هو، ۲۰۱۸؛ بارگومانو و همکاران، ۲۰۲۰). اگرچه سرعت واکنش در این دولومیت‌ها کم بوده است، اما این نشان می‌دهد که تشکیل دولومیت می‌تواند در شرایط سطح زمین در سیستم‌های جزرومدی (پری‌تایدال) رخ دهد (لوکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ آرگنتینو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲). اندازه بلورها توسط تأثیر متقابل بین هسته‌زایی و سرعت رشد بلورها کنترل می‌شود (آدابی، ۲۰۰۹). هر دو فاکتور هسته‌زایی و سرعت رشد بلورها با ازدیاد دما افزایش می‌یابد. ذرات دانه‌ریز نسبت به حجمی که دارند دارای سطوح خیلی وسیعی بوده و لذا سرعت هسته‌زایی در آن‌ها بالا است. اگر سرعت هسته‌زایی بیش از سرعت رشد بلور باشد، حتی در دمای بالاتر، دولومیت‌های نسبتاً ریزبلور تشکیل می‌شود (لوکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰). به دلیل بافت خیلی ریزبلور این گروه از دولومیت‌ها، اغلب به وسیله میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار می‌گیرند (شکل ۵). این دولومیت‌ها اغلب غنی از منیزیم و استرانسیم و فقیر از آهن و منگنز می‌باشند (شکل ۶).

۲- دولومیت‌های متوسط بلور (دولومیکرواسپارایت):

دولومیت‌های متوسط بلور به‌صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار در اندازه‌های بین ۴۰ تا ۱۰۰ میکرون در مقاطع مورد مطالعه شناسایی گردید (شکل ۷). این نوع از

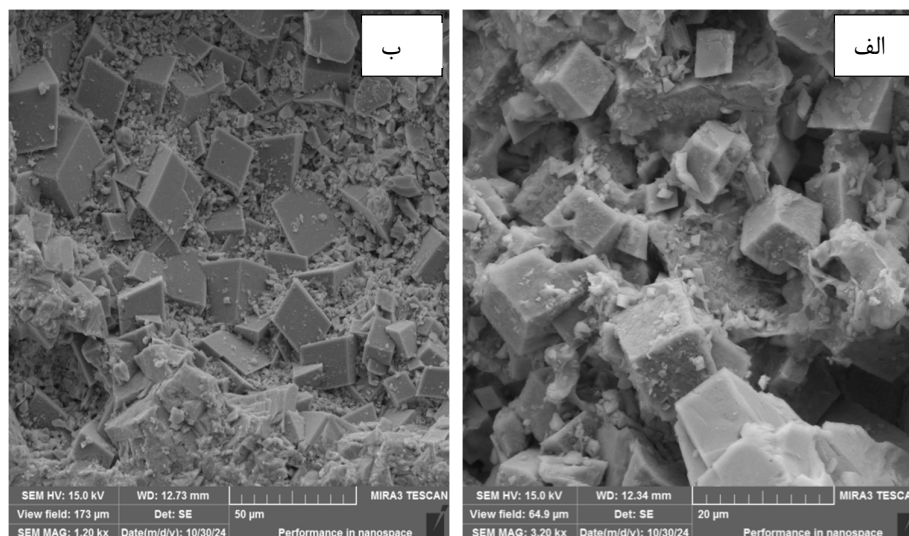
دارد. فابریک مسطح نیمه‌شکل‌دار، نتیجه رشد آرام بلورها تحت جریان پیوسته‌ای از سیالات دولومیت‌ساز در دمای پایین می‌باشد (گرگ و سیبلی، ۱۹۸۷؛ آرگیننتو و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، دولومیت‌های متوسط بلور بیانگر جانشینی دیاژنتیکی سنگ‌آهک‌های قبلی و یا تبلور مجدد دولومیت‌های تشکیل شده اولیه، یا جانشینی سایر رخساره‌ها زیر دمای بحرانی، یعنی کمتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد، می‌باشد (گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ مازالو، ۱۹۹۲، والاس و هود، ۲۰۱۸؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲).

دولومیت‌ها معادل فابریک Idiomatic – P – سیبلی و گرگ (۱۹۸۷) و دولومیت‌های Planar – P مازالو (۱۹۹۲) می‌باشد (آدابی، ۲۰۰۹). دولومیت‌های متوسط بلور معمولاً از تبلور مجدد دولومیت‌های ریز بلور ایجاد می‌شوند (راو و آدابی، ۱۹۹۲؛ ویتاکر و همکاران، ۲۰۰۴؛ آدابی، ۲۰۰۹؛ والاس و هود، ۲۰۱۸). این نوع از دولومیت‌ها در رخساره‌های گل آهکی، فراوان است. از آنجایی که قطعات فسیلی در این رخساره‌ها کمتر تحت تأثیر دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند، دلیلی است بر اینکه بلورهای رومبوئدر دولومیت ترجیحاً در ماتریکس دانه‌ریز گلی شروع به رشد کرده‌اند (شکل ۷ ب). این نتیجه‌گیری با نتایج گرگ و سیبلی (۱۹۸۷) مطابقت

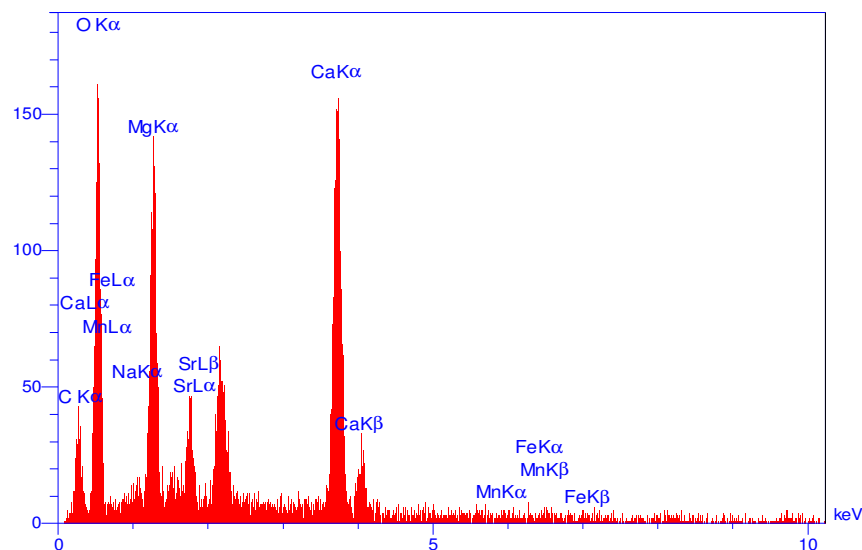


شکل ۴. الف: رخساره دولومیت ریز بلور با بافت متراکم و تیره رنگ. ب: لامینه‌های جلبکی در رخساره دولومیت ریز بلور. ج: قطعات اینتراکلاستی گلی در رخساره دولومیت ریز بلور (به گرد شدگی قطعات توجه شود). د: تخلخل فنسترال در رخساره دولومیت ریز بلور. ر: دولومیکرایت با قطعات کوارتز آواری در اندازه سیلت. ز: اینتراکلاست‌های جلبکی در رخساره دولومیکرایتی.

Fig. 4. a: Fine dolomite facies with dense fabric and dark color. **b)** Algal lamina in the facies of fine crystal dolomite. **c:** Muddy intraclasts fragments in the dolomite facies are very fine (pay attention to the roundness of the fragments). **d:** Fenestral porosity in very fine-grained dolomite facies. **e:** Dolomicrite with detrital quartz in size of silt. **f:** Algal intraclasts in the dolomicrite facies.



شکل ۵. الف و ب: تصاویر SEM از دولومیت‌های ریزبلور. به بلورهای خودشکل دولومیت در زمینه میکرایتی توجه شود.
Fig. 5. a and b: SEM images of very fine crystalline dolomites. Note to euhedral dolomite crystals in micrite matrix.

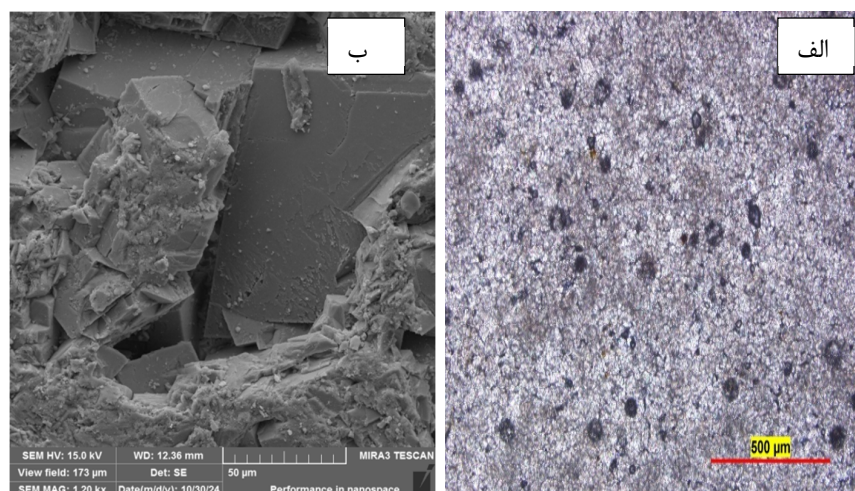


شکل ۶. طیف تجزیه EDX مربوط به دولومیت‌های ریزبلور. به فراوانی عنصر منیزیم و استرانسیم و کمبود عنصر آهن و منگنز در این دولومیت‌ها توجه شود. وجود عنصر آهن در این دولومیت‌ها به دلیل وجود اکسیدهای آهن در نمونه‌ها در طی آنالیز می‌باشد و ارتباطی با آهن موجود در شبکه دولومیت ندارند.

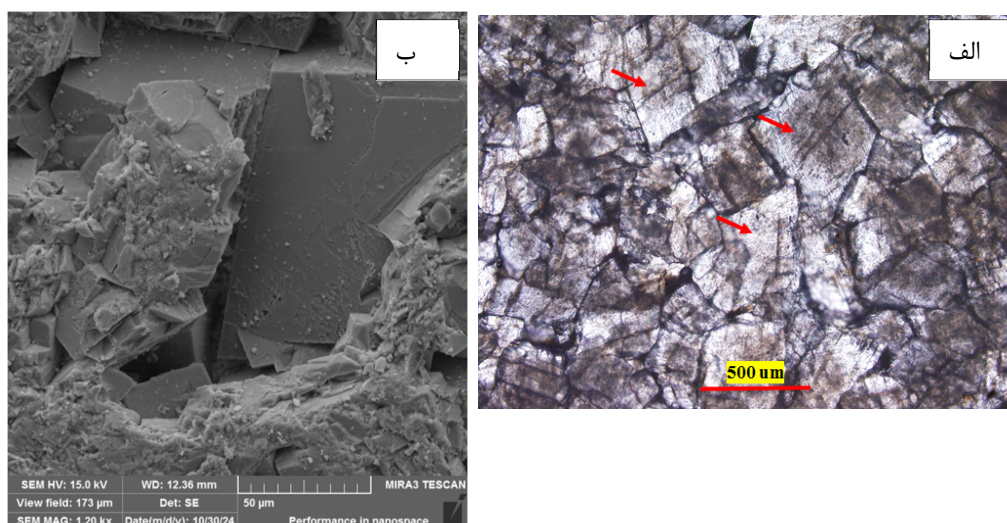
Fig. 6. Analysis spectrum (EDX) related to very fine crystal dolomites. Note to the abundance of magnesium and strontium elements and the lack of iron and manganese elements in these dolomites. The presence of iron element in these dolomites is due to the presence of iron oxides in the samples during the analysis and they are not related to the iron in the dolomite network.

Planar-P مازالو (۱۹۹۲) می‌باشد. در بسیاری از بلورهای این نوع دولومیت، مرزهای مشترک بین بلوری مستقیم بوده و در برخی از آن‌ها، فصل مشترک سطوح کریستالی به خوبی حفظ شده است.

۳- دولومیت‌های درشت بلور (دولواسپارایت): این نوع از دولومیت‌ها به صورت موزائیک‌های نیمه شکل‌دار و شکل‌دار و در اندازه‌های بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ میکرون و به‌طور میانگین ۱۵۰ میکرون در مقاطع مورد مطالعه شناسایی گردید (شکل ۸). این نوع دولومیت معادل فابریک Idiopathic - S گرگ و سیبلی (۱۹۸۴) و دولومیت‌های



شکل ۷. الف: رخساره دولومیت متوسط بلور ناشی از تبلور مجدد دولومیت‌های ریز بلور. ب: تصویر SEM دولومیت‌های متوسط بلور.
Fig. 7. a: Medium dolomite facies resulting from the recrystallization of fine dolomites. b: SEM image of medium dolomites.



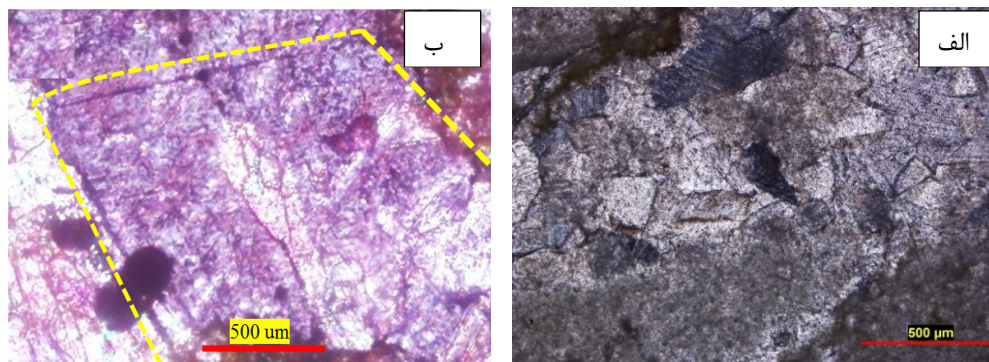
شکل ۸. الف: رخساره دولومیت درشت بلور. ب: دولومیت‌های درشت بلور پر کننده حفره
Fig. 8. a: Coarse crystalline dolomite facies. b: Coarse crystal dolomites filling the cavity

این موضوع می‌تواند به دلیل احیا بودن محیط دیاژنتیکی دولومیت‌ها باشد (شکل ۱۰). هیچ نوع اشکال جایگزینی در دولومیت‌های اولیه یا آهک‌های اولیه در این گروه از دولومیت‌ها مشاهده نمی‌شود. دولومیت‌هایی که به‌عنوان سیمان، تخلخل‌های حفره‌ای را پر کرده‌اند، در اعماق متوسط تا زیاد و بعد از فرآیند انحلال تشکیل شده‌اند. دولومیت‌های تشکیل شده در طی دیاژنز تدفینی عمیق، به‌طور معمول می‌توانند ابعاد بلوری متفاوت و فابریک‌های متنوعی از جمله پرکننده حفره‌ها، جانشینی و ریخت‌شناسی موزاییکی داشته باشند که به اندازه فضای خالی موجود در سنگ بستگی دارد (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۷). در طی دیاژنز تدفینی، منیزیم لازم برای تشکیل

۴- دولومیت‌های بسیار درشت بلور پرکننده شکستگی‌ها و حفرات: در مقاطع مورد مطالعه، این نوع از دولومیت‌ها به‌صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های چندین بلور (بزرگ‌تر از ۲۵۰ میکرون) به‌صورت پر کننده شکستگی‌ها و حفرات سنگ (شکل ۹) مشاهده گردید. این نوع از دولومیت‌ها حاصل مراحل آخر فرایندهای دیاژنتیکی می‌باشند (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۷؛ مولر و همکاران، ۲۰۱۷؛ والاس و هو، ۲۰۱۸؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰؛ لوکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ آرگنتینو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲). رنگ‌آمیزی این گروه از دولومیت‌ها با فروسیانید پتاسیم، معرف توزیع عنصر آهن در بلورهای درشت و تدفینی در این گروه از دولومیت‌ها می‌باشد که

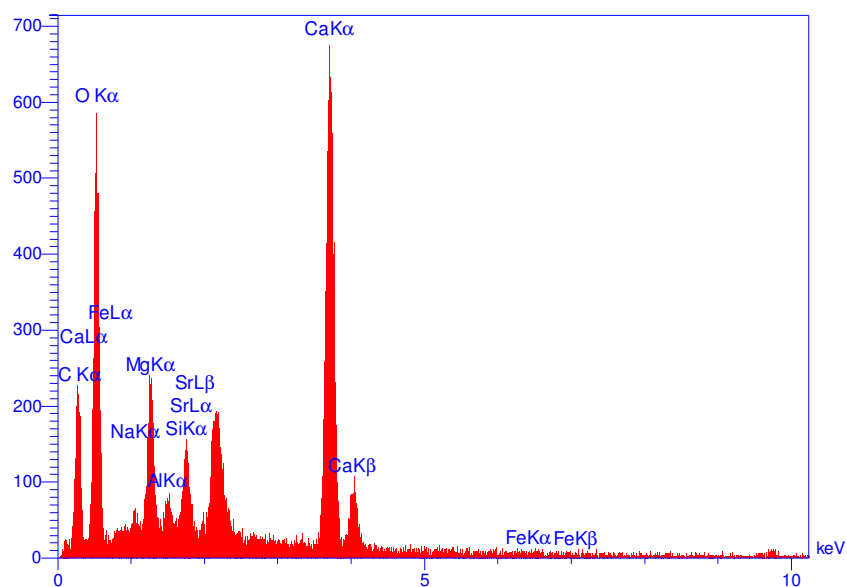
والاس و هو، ۲۰۱۸؛ بارگومانو و همکاران، ۲۰۲۰؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲).

دولومیت‌ها از طریق افزایش عمق و بالا رفتن دما تامین می‌شود (گابلون و ویتاکر، ۲۰۱۶؛ والاس و همکاران، ۲۰۱۷؛



شکل ۹. الف: دولومیت‌های بسیار درشت بلور (نوع سدل) پر کننده شکستگی‌های سنگ. ب: دولومیت‌های بسیار درشت بلور که بعد از رنگ آمیزی با فروسیانیدپتاسیم به رنگ فیروزه‌ای ظاهر شده‌اند که بیانگر وجود آهن در شبکه خود می‌باشند.

Fig. 9. a: Very coarse crystal dolomites (saddle type) filling rock fractures. b: Very coarse-grained dolomites that have appeared in turquoise color after rusting with potassium ferrocyanide, indicating the presence of iron in their network.



شکل ۱۰. طیف تجزیه EDX مربوط به دولومیت‌های خیلی درشت بلور، وجود عنصر آهن در این دولومیت‌ها به دلیلی شرایط احیا در طی دیاژنز تدفینی می‌باشد.

Fig. 10. Analysis spectrum (EDX) related to very coarse crystal dolomites. The presence of iron element in these dolomites is due to the reduction conditions during burial diagenesis.

۶ تا ۹ مربوط به دولومیت‌های متوسط بلور (دولومیکرواسپارایت‌ها) و نمونه‌های شماره ۱۰ تا ۱۳ مربوط به دولومیت‌های درشت بلور (دولواسپارایت‌ها) می‌باشند. در جدول ۱، مقادیر بیشترین، کمترین و میانگین مقدار عناصر اصلی و فرعی برای هر گروه از دولومیت‌ها نیز ذکر شده است.

۵- زمین‌شیمی عنصری دولومیت‌های مورد مطالعه

نتایج حاصل از آنالیز عناصر اصلی و فرعی در دولومیت‌های سازند شهبازان در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر مجموع سایر عناصر فرعی کمتر از ۰/۵ درصد بوده و از آوردن آن‌ها در جدول ۱ صرف نظر شده است. نمونه‌های ۱ تا ۵ مربوط به دولومیت‌های ریز بلور اولیه (دولومیکرایت‌ها)، نمونه‌های

جدول ۱. توزیع عناصر اصلی و فرعی در انواع دولومیت‌های برش مورد مطالعه به روش EDX (مقادیر عناصر اصلی برحسب درصد وزنی می‌باشد).

Table 1. Distribution of major and minor elements in kinds of dolomites in the studied section by EDX method (values by major elements have weight percentage).

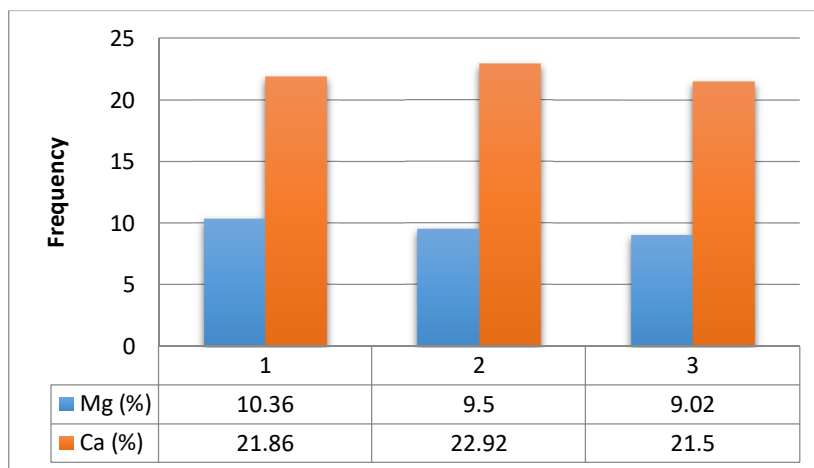
Samples	Ca (wt %)	Mg (wt %)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Sr (ppm)	C (wt %)	O (wt %)
1	20.6	11.3	1000	1000	9000	5000	36.8	29
6	21.3	10.1	100	1000	6000	6000	40	27.1
9	22	9.9	2000	100	5000	10000	33	33.2
11	21.8	10.5	1000	100	4000	6500	25.8	40.6
12	23.6	10	2000	500	1000	8000	34.9	30.2
Max	23.6	11.3	2000	1000	9000	1000	40	40.6
Min	20.6	9.9	100	100	1000	5000	25.8	27.1
Average	21.86	10.36	1220	500	5000	7100	34.1	32.02
2	21	9.9	1000	2000	6000	2000	37.2	30.5
4	24.3	10.5	200	1000	5000	1000	21.6	42.6
5	22.9	9.5	12000	6000	4000	1000	30.2	35
7	23.5	9.9	2000	1000	1000	5000	37.8	27.8
Max	24.3	10.5	12000	6000	6000	5000	37.8	42.6
Min	21	9.5	200	1000	1000	1000	21.6	27.8
Average	22.93	9.95	3800	2500	4000	2300	31.7	33.98
3	22.1	8.7	2000	1000	100	200	20.9	47.8
8	20.3	9.5	11000	9000	12000	1000	40.2	26.5
10	22	9	7000	2000	1000	100	30.4	37.5
13	21.6	8.9	5000	1000	1000	100	37.9	30.8
Max	22.1	9.5	11000	9000	12000	1000	40.2	47.8
Min	20.3	8.7	2000	1000	100	100	20.9	26.5
Average	21.5	9.025	6250	3300	3530	400	32.4	35.65

۵-۱- عناصر اصلی

عنصر کلسیم (Ca): مقادیر کلسیم (Ca) در نمونه دولومیت‌های برش مورد مطالعه، به ترتیب برای دولومیکرایت‌ها (بیشترین ۲۳/۶، کمترین ۲۰/۶، میانگین ۲۱/۸۶ درصد وزنی)، دولومیکرواسپارایت‌ها (بیشترین ۲۴/۳، کمترین ۲۱، میانگین ۲۲/۹۳ درصد وزنی)، دولواسپارایت‌ها (بیشترین ۲۲/۱، کمترین ۲۰/۳، میانگین ۲۱/۵ درصد وزنی) در تغییر است (شکل ۱۱).

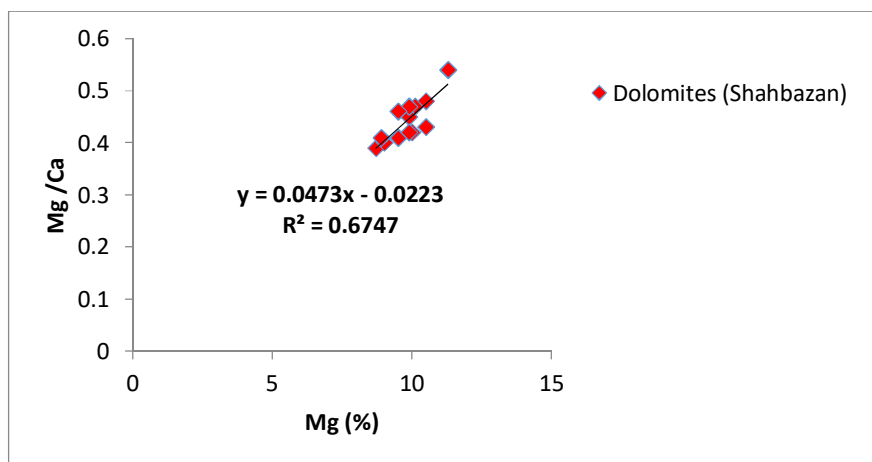
عنصر منیزیم (Mg): مقادیر منیزیم (Mg) در نمونه دولومیت‌های برش مورد مطالعه، به ترتیب برای دولومیکرایت‌ها (بیشترین ۱۱/۳، کمترین ۹/۹، میانگین ۱۰/۳۶ درصد وزنی)، دولومیکرواسپارایت‌ها (بیشترین ۱۰/۵، کمترین ۹/۵، میانگین ۹/۹۵ درصد وزنی)، دولواسپارایت‌ها (بیشترین ۹/۵، کمترین ۸/۷، میانگین ۹/۰۲ درصد وزنی) در تغییر است (شکل ۱۱). مقادیر منیزیم (Mg) در نمونه دولومیت‌های برش مورد مطالعه با نسبت (Mg/Ca) ارتباط مثبتی دارد ($R^2=0.6747$) (شکل ۱۲). کاهش اندک مقادیر Mg از ۱۰/۳۶ به ۹/۰۲ درصد در

نمونه‌های مورد مطالعه می‌تواند به علت دگرسانی جزئی این دولومیت‌ها باشد (بالت و همکاران، ۱۹۸۰؛ وایزر و همکاران، ۱۹۸۷؛ مولر و همکاران، ۲۰۱۷؛ والاس و هو، ۲۰۱۸؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲). به دلیل فرآیند دولومیتی شدن گسترده در سازند شهبازان، مقادیر Mg/Ca به دلیل تشکیل دولومیت کاهش پیدا می‌کند (آدابی، ۲۰۰۹؛ لکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰)، بنابراین مقدار Mg در دولومیت‌های درشت بلور کمتر از سایر دولومیت‌هاست. در طی فرآیند دولومیتی شدن، مقادیر Mg/Ca به دلیل تشکیل دولومیت کاهش می‌یابد و بر عکس مقدار Ca افزایش می‌یابد (روند معمول). با توجه به شکل ۱۴، بر خلاف روند معمول، به‌صورت جزئی با افزایش مقدار کلسیم (Ca)، مقدار منیزیم (Mg) نیز افزایش می‌یابد، این موضوع احتمالاً به دلیل جریان‌های دائم و مکرر سیالات دولومیت‌سازی می‌باشد که با تشکیل دولومیت (با توجه به نیمه باز بودن سیستم) در منطقه عمل نموده است و میزان منیزیم (Mg) کاهش نیافته است، بلکه میزان این دو نوع عنصر وابسته به نسبت Mg/Ca سیال منشأ و سنگ‌آهک و دولومیت اولیه می‌باشد.



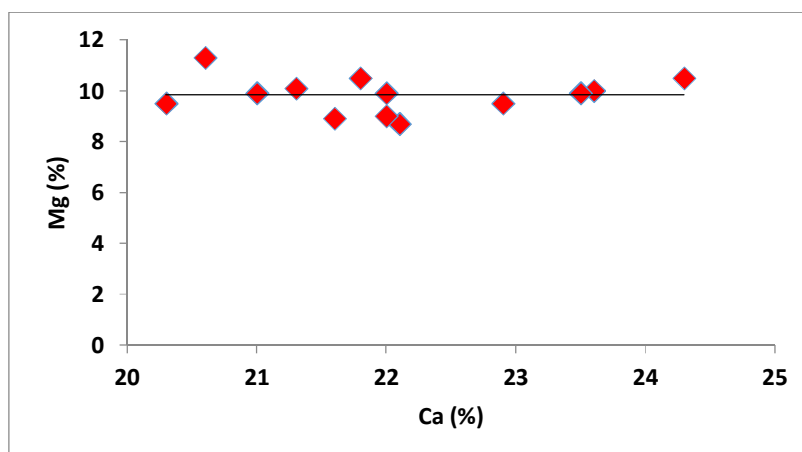
شکل ۱۱. هیستوگرام توزیع عناصر کلسیم و منیزیم در نمونه‌های دولومیتی سازند شهبازان. ستون ۱ (دولومیکرایت)، ستون ۲ (دولومیکرواسپارایت)، ستون ۳ (دولواسپارایت).

Fig. 11. Histogram of distribution of calcium and magnesium in dolomite samples of Shahbazan Formation. Column 1 (dolomicrite), column 2 (dolomicrosparite), column 3 (dolosparite).



شکل ۱۲: همبستگی مثبت بین مقادیر منیزیم (Mg) با نسبت (Mg/Ca) دولومیت‌های مورد مطالعه.

Fig. 12. Positive correlation between the amount of magnesium (Mg) and the ratio (Mg/Ca) of the studied dolomites.



شکل ۱۳. روند تغییرات نسبت Ca به Mg در نمونه‌های دولومیتی برش مورد مطالعه.

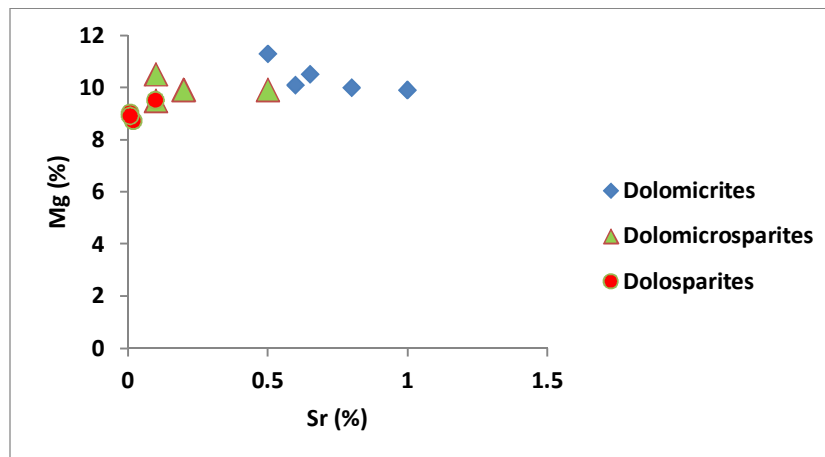
Fig. 13. Changes in the ratio of Ca to Mg in the studied cut dolomite samples.

۵-۲- عناصر فرعی

استرانسیم (Sr): مقادیر استرانسیم (Sr) در نمونه دولومیت‌های برش مورد مطالعه، به ترتیب برای دولومیکرایت‌ها (بیشترین ۱، کمترین ۰/۵، میانگین ۰/۷۱ درصد وزنی)، دولومیکرواسپارایت‌ها (بیشترین ۰/۵، کمترین ۱، میانگین ۰/۲۳ درصد وزنی)، دولواسپارایت‌ها (بیشترین ۰/۱، کمترین ۰/۰۱، میانگین ۰/۰۴ درصد وزنی) در تغییر است. میزان عنصر استرانسیم در دولومیت‌های اولیه به دلیل نداشتن نظم بلوری (استوشیومتری) به مراتب بیشتر از دولومیت‌های ثانویه می‌باشد (کیرماسی، ۲۰۰۸؛ آدابی، ۲۰۰۹؛ شانلی و همکاران، ۲۰۱۸) (شکل ۱۴). گسترش فرآیند دولومیتی شدن به‌طور کلی سبب کاهش میزان تمرکز عنصر استرانسیم در شبکه بلورهای دولومیت

می‌گردد (ژسک و همکاران، ۲۰۱۲؛ هو و همکاران، ۲۰۱۶؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰). تمرکز بالای استرانسیم در دولومیکرایت‌ها علاوه بر نظم بلوری ضعیف این دولومیت‌ها، می‌تواند به دلیل فرایندهای دیاژنزی باشد که بر روی پوسته‌های آراگونیتی رخ می‌دهد (مانند برخی دوکفه‌ای‌ها و روزنداران بنتیک با پوسته آراگونیتی).

عنصر آهن (Fe): مقادیر آهن (Fe) در نمونه دولومیت‌های برش مورد مطالعه، به ترتیب برای دولومیکرایت‌ها (بیشترین ۰/۲، کمترین ۰/۰۱، میانگین ۰/۱۲ درصد وزنی)، دولومیکرواسپارایت‌ها (بیشترین ۱/۲، کمترین ۰/۲، میانگین ۰/۳۸ درصد وزنی)، دولواسپارایت‌ها (بیشترین ۱/۱، کمترین ۰/۲، میانگین ۰/۶۲ درصد وزنی) در تغییر است (شکل ۱۵).



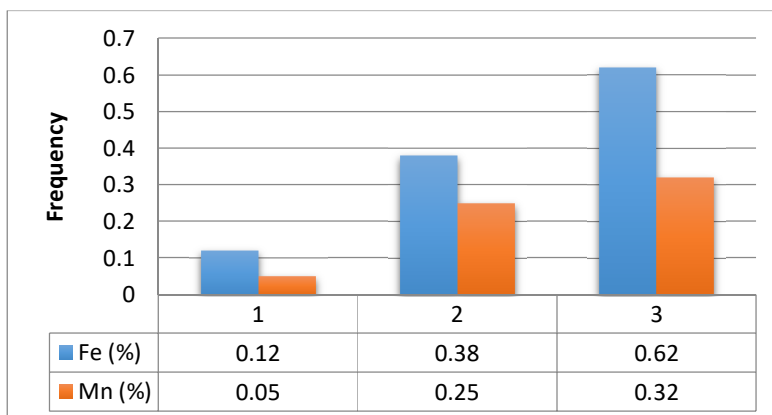
شکل ۱۴. رسم مقادیر Sr در برابر Mg در انواع مختلف دولومیت‌های برش مورد مطالعه

Fig. 14. Plot of Sr versus Mg in types of dolomites under study

تشکیل در شرایط احیایی، دارای تمرکز بیشتری از آهن و منگنز در ترکیب خود می‌باشند (شکل ۱۶)، وجود مقادیر آهن با تمرکز بالا در برخی از دولومیت‌های اولیه بیانگر حضور عنصر آهن به‌صورت ناخالصی به همراه نمونه می‌باشد که این آهن درون ساختار بلور قرار ندارد، بلکه به شکل ناخالصی همراه نمونه وجود دارد. مقادیر بالای (Mn) در دولومیت‌ها می‌تواند به دلیل شرایط احیایی باشد (لند، ۱۹۸۵؛ آدابی، ۲۰۰۹؛ شانلی و همکاران، ۲۰۱۸). لذا وجود عنصر منگنز در دولومیت‌های دیاژنزی می‌تواند به دلیل ورود عنصر منگنز به شبکه دولومیت‌ها در طی دیاژنز تدفینی و شرایط احیایی محیط دیاژنزی باشد (شکل ۱۷).

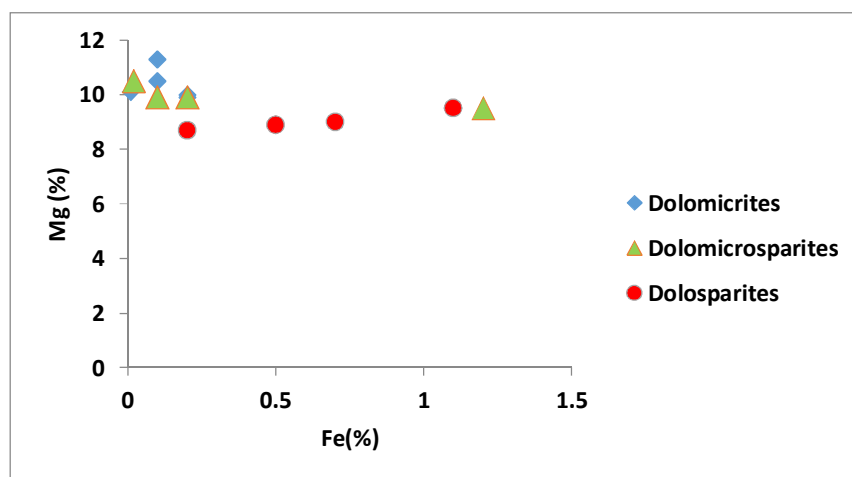
عنصر منگنز (Mn): مقادیر منگنز (Mn) در نمونه دولومیت‌های برش مورد مطالعه، به ترتیب برای دولومیکرایت‌ها (بیشترین ۰/۱، کمترین ۰/۰۱، میانگین ۰/۰۵ درصد وزنی)، دولومیکرواسپارایت‌ها (بیشترین ۰/۶، کمترین ۰/۱، میانگین ۰/۲۵ درصد وزنی)، دولواسپارایت‌ها (بیشترین ۰/۹، کمترین ۰/۱، میانگین ۰/۳۳ درصد وزنی) در تغییر است (شکل ۱۵).

تمرکز و توزیع عناصر آهن و منگنز شدیداً وابسته به تغییرات pH و Eh می‌باشند (شانلی و همکاران، ۲۰۱۸). لذا مقادیر آهن و منگنز در دولومیت‌های دیاژنتیکی بالاتر از دولومیت‌های اولیه است (ینگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ شانلی و همکاران، ۲۰۱۸). دولومیت‌های ثانویه (دیاژنتیکی) به دلیل



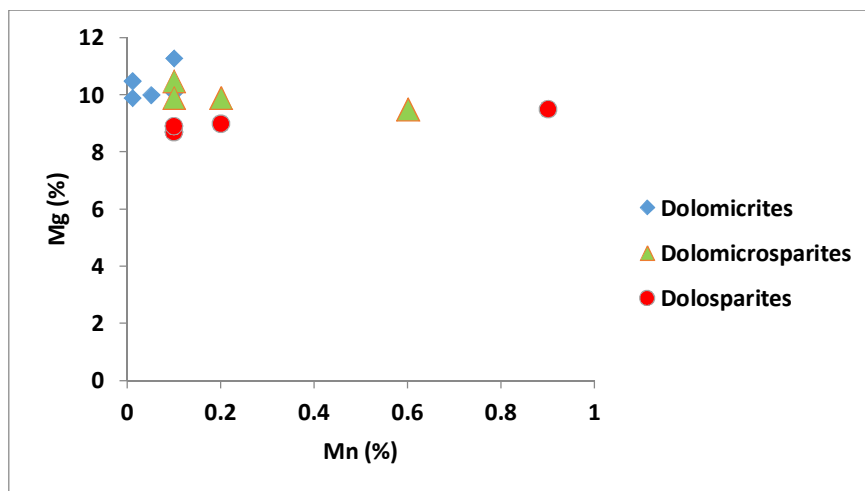
شکل ۱۵. هیستوگرام توزیع عناصر آهن و منگنز در نمونه‌های دولومیتی سازند شهبازان. ستون ۱ (دولومیکرایت)، ستون ۲ (دولومیکرواسپارایت)، ستون ۳ (دولواسپارایت).

Fig. 15. Histogram of distribution of iron and manganese elements in dolomite samples of Shahbazan Formation. Column 1 (dolomicrite), column 2 (dolomicrosparite), column 3 (dolosparite).



شکل ۱۶. رسم مقادیر Fe در برابر Mg در انواع مختلف دولومیت‌های سازند شهبازان (Fe به مرور جایگزین Mg می‌شود).

Fig. 16. Plot of Fe values Mg in different types of dolomites of Shahbazan Formation (Fe gradually replaces Mg).

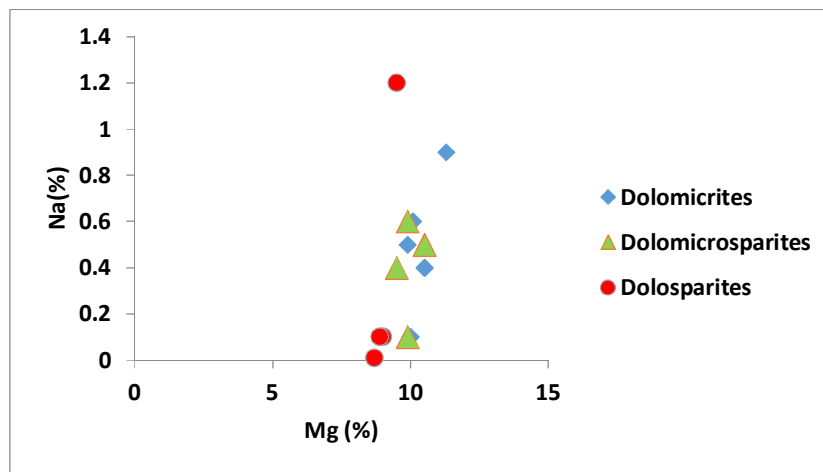


شکل ۱۷. رسم مقادیر Mn در برابر Mg در انواع مختلف دولومیت‌های سازند شهبازان.

Fig. 17. Plot of Mn values against Mg in different types of dolomites of the Shahbazan Formation.

تمرکز نسبتاً بالای Na در انواع مختلف دولومیت‌های مورد مطالعه (میانگین ۰/۴۲ درصد وزنی) نشان می‌دهد که احتمالاً این نوع از دولومیت‌ها متأثر از شورابه‌های کف حوضه‌ای باشند (وایزر، ۱۹۸۳؛ وارن، ۲۰۰۰). تمرکز Na با افزایش مقادیر Mg افزایش می‌یابد که می‌تواند شاهدی برای غیراستوکیومتری بودن بلورهای دولومیت باشد (شکل ۱۸).

سدیم (Na): مقادیر سدیم (Na) در نمونه دولومیت‌های برش مورد مطالعه، به ترتیب برای دولومیکرایت‌ها (بیشترین ۰/۹، کمترین ۰/۱، میانگین ۰/۵ درصد وزنی)، دولومیکرواسپارایت‌ها (بیشترین ۰/۶، کمترین ۰/۱، میانگین ۰/۴ درصد وزنی)، دولواسپارایت‌ها (بیشترین ۱/۲، کمترین ۰/۰۱، میانگین ۰/۳۵ درصد وزنی) در تغییر است.



شکل ۱۸. رسم مقادیر Na در برابر Mg برای انواع مختلف دولومیت‌های برش مورد مطالعه
Fig. 18. Plot of Na vs. Mg values for different types of cut dolomites under study

ریزبلور تشکیل می‌شوند (مولر و همکاران، ۲۰۱۷؛ والاس و هو، ۲۰۱۸؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰؛ لوکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ آرگنتینو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲). منیزیم مورد نیاز برای این گروه از دولومیت‌ها از آب‌های دریایی محبوس یا آب‌های درون روزنه‌ای و دیاژنز کانی‌های رسی در طی تدفین تأمین می‌شود (مولر و همکاران، ۲۰۱۷؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰؛ لوکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰). این دولومیت‌ها مستقل از تأثیر استیلولیت‌ها می‌باشند، زیرا شواهد استیلولیتی شدن (دیاژنز انحلال فشاری) در آن‌ها دیده نشده است. مقادیر پایین استرانسیم و به نسبت بالاتر آهن در دولومیت‌های درشت بلورتر، احتمالاً بیانگر افزایش اندازه بلورهای دولومیت و تبلور دوباره بلورهای دولومیت در طی تدفین است (بترست، ۱۹۷۵؛ تاکر، ۱۹۹۱؛ تاکر و رایت، ۱۹۹۰؛ ال-سای و اوردن، ۲۰۰۷؛ بارگومانو و همکاران، ۲۰۲۰؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰؛ سالی‌فو و همکاران، ۲۰۲۱). دولومیت‌های دیاژنزی در نمونه‌های مورد مطالعه به‌صورت جانیشینی در دانه‌های فسیلی، تبلور مجدد از دولومیت‌های ریزبلورتر و به صورت

۶- مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان در ناحیه مورد مطالعه

دولومیت نوع ۱ (نوع رسوبی): فابریک و اندازه ریز بلورهای این گروه از دولومیت‌ها، حفظ بافت‌های اولیه رسوبی، نظیر اینتراکست‌ها، لامینه‌های جلبکی و فابریک روزنه‌ای، عدم فسیل و کانی‌های تبخیری و همچنین نبود شواهدی که نشان‌دهنده تشکیل آن‌ها تحت تأثیر فرایندهای دیاژنتیکی تأخیری باشد، به نظر می‌رسد این نوع از دولومیت‌ها تحت شرایط سطحی، دمای پایین و در محیط بین جزرومدی تشکیل شده باشند (وارن، ۲۰۰۰؛ گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ مولر و همکاران، ۲۰۱۷؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲)، که منیزیم این گروه از دولومیت‌ها مستقیماً از آب دریا تأمین می‌شود (هالی و هریس، ۱۹۷۹؛ وانلس، ۱۹۷۹؛ زنگر، ۱۹۸۳؛ میلر و فولک، ۱۹۹۴؛ مولر و همکاران، ۲۰۱۷؛ والاس و هو، ۲۰۱۸؛ برا و همکاران، ۲۰۲۰؛ لوکوزسکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ آرگنتینو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲).

دولومیت نوع ۲ و ۳ (نوع دیاژنزی): این نوع از دولومیت‌ها بیشتر بر اثر تبلور مجدد و یا جانیشینی دولومیت‌های خیلی

مورد نیاز برای دولومیتی کردن بخش زیرین سازند شهبازان در منطقه مورد مطالعه باشد. در مرز بین سازند شهبازان و آسماری، دولومیت‌های متوسط بلور تا درشت بلور مشاهده شدند که این نوع از دولومیت‌ها به صورت ثانویه و متأثر از سیالات دولومیت‌ساز سازند شهبازان می‌باشند که این سیالات دولومیت‌ساز بخش‌های زیرین سازند آسماری را نیز دولومیتی کرده است.

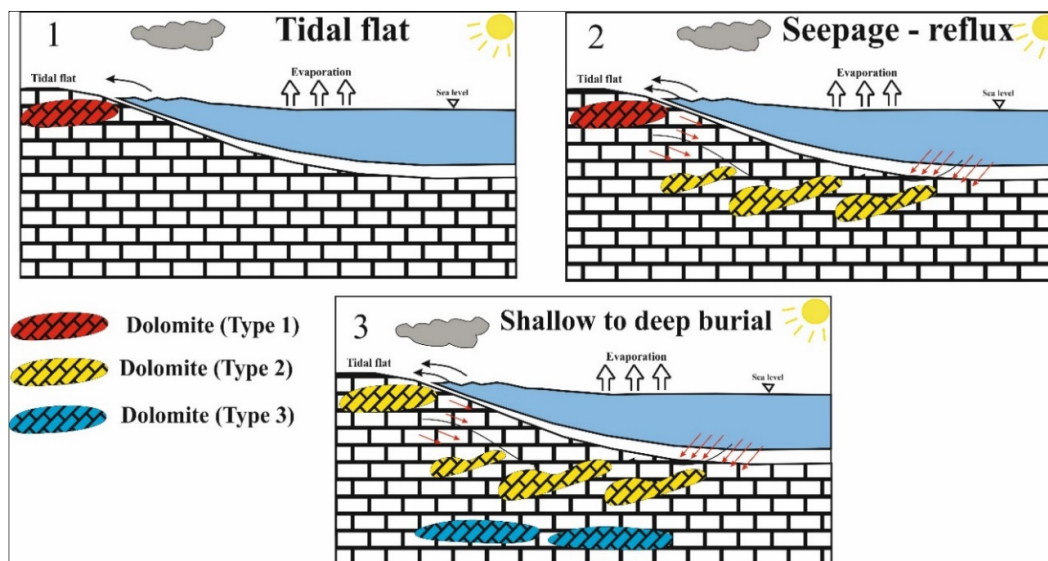
۷- پایداری و نظم بلوری در دولومیت‌های مورد مطالعه

دولومیت‌های ایده‌آل (دارای ترکیب مساوی کلسیم و منیزیم) به دلیل انرژی آزاد بسیار پایینی که دارند، از نظر ترمودینامیکی بسیار پایدار بوده و دارای قابلیت انحلال کم می‌باشند (مازالو، ۱۹۹۲). پژوهشگران بسیاری بر این باور هستند که افزایش میزان نظم و استویشیومتری در دولومیت‌ها حاکی از این است که دولومیت‌ها تحت تأثیر فرآیندهای دگرسانی (تبلور مجدد یا نوربختی) قرار می‌گیرند (لند، ۱۹۸۵؛ گرگ و شلتون، ۱۹۹۰). بیشتر دولومیت‌های رسوبی از نوع غنی از کلسیم (پروتودولومیت) می‌باشند که معمولاً توسط محلول‌های دارای Mg/Ca به نسبت پایین در نزدیک به سطح زمین شکل می‌گیرند (وارن، ۲۰۰۶؛ مایستر و همکاران، ۲۰۱۳؛ گابلون و ویتاکر، ۲۰۱۶؛ والاس و هود، ۲۰۱۸) و منیزیم مورد نیاز آن‌ها مستقیماً از آب دریا تأمین می‌شود (مورو، ۱۹۹۰؛ وارن، ۲۰۰۰). دولومیت‌های دیاژنزی به دلیل داشتن انرژی آزاد بسیار کم از نظر ترمودینامیکی پایدار بوده و انحلال‌پذیری کمی دارند و لذا با گذشت زمان به انواع با نظم و پایداری بیشتر تبدیل می‌شوند (رن و جونز، ۲۰۱۷). دمای زیاد ناشی از عمق تدفین رسوبات از فاکتورهای بسیار مهم و موثر در ایجاد پایداری و نظم بلورها می‌باشد (لند، ۱۹۸۵؛ دریتس و همکاران، ۲۰۰۵؛ کچمارک و سیبلی، ۲۰۱۴). منیزیم مورد نیاز برای دولومیت‌های دیاژنزی از طریق فشردگی و دیاژنز شیل‌ها، بازمانده شورابه‌های تبخیری کف‌حوضه‌ای، انحلال دولومیت‌های اولیه، آب‌های دریایی مدفون تأمین می‌شود (ویرزبسکی و همکاران، ۲۰۰۶؛ جیمز و جونز، ۲۰۱۵؛ وینکلستر و لمن، ۲۰۱۷؛ ایمنهوسر، ۲۰۲۲). در دولومیت‌های پایدار و منظم (ایده‌آل) نسبت Ca/Mg برابر ۱/۶ می‌باشد (آدابی، ۱۳۹۰؛ گابلون و ویتاکر، ۲۰۱۶). در دولومیت‌های مورد مطالعه این نسبت به ترتیب

سیمان همراه با کلسیت هم‌بعد پر کننده شکستگی‌ها و حفرات سنگ دیده می‌شوند. با توجه به مطالعات پتروگرافی و مطالعات آنالیز عنصری، می‌توان نتیجه گرفت مدل دولومیتی شدن سازند در ارتباط با مدل جزرومدی، تراوش و سپس دفن کم‌عمق تا متوسط و عمیق می‌باشد (شکل ۱۹). سنگ‌نگاری و مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان در تاق‌دیس ماله کوه توسط سبزواری و صداقت‌نیا (۱۴۰۱)، مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهشی دیگر، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی واحدهای کربناته-دولومیتی سازند شهبازان در شمال‌خاوری کوه‌دشت (حوضه رسوبی لرستان) مورد مطالعه قرار گرفته است (سبزواری و صداقت‌نیا، ۱۴۰۱). در هر دو برش، مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان به مدل مدل جزرومدی، دیاژنزی تدفینی کم‌عمق تا متوسط توصیف شده است. در شمال‌خاوری کوه‌دشت مرز بین سازند آسماری و شهبازان و تفکیک این مرز از طریق شواهد زمین‌شیمی نیز بررسی شده است. شواهد زمین‌شیمی عنصری در مرز این دو سازند بیانگر افزایش عناصر $Ca, Sr, Na, Mn, Sr/Mg$ و همچنین میزان عناصر Mg, Mn و نسبت Mn/Ca در این مرز کاهش نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر، سازند شهبازان توسط جمشیدی و صداقت‌نیا (۱۴۰۳)، مورد پژوهش قرار گرفته است، در این پژوهش، روند دولومیتی شدن سازند در تاق‌دیس امیران مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی، روند دولومیتی شدن سازند، متأثر از روند رشته‌کوه‌های زاگرس لرستان (شمال‌باختری به جنوب‌خاوری) تعیین شده است. همچنین مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان در تاق‌دیس امیران به مدل جزرومدی، تراوش و سپس دفن کم‌عمق تا متوسط نسبت داده شده است. تلفیق نتایج پژوهش‌های پیشین انجام گرفته بر روی سازند شهبازان و مطالعه حاضر، با توجه به اینکه این پژوهش‌ها مختص به حوضه رسوبی لرستان می‌باشند و برش تاق‌دیس کبیرکوه در بخش انتهایی و جنوب غرب حوضه رسوبی لرستان (پهنه زمین‌شناسی لرستان) واقع شده است، لذا می‌توان گفت شرایط نهشته شدن واحدهای سنگ‌چینه‌ای سازند شهبازان در پهنه زمین‌شناسی لرستان در بازه زمانی ائوسن تقریباً یکسان بوده است. حضور سازند پابده با لیتولوژی شیلی و مارنی در بخش زیرین سازند شهبازان می‌تواند از طریق دیاژنز کانی‌های رسی موجود در آن و آزاد شدن منیزیم، یکی از عوامل تأمین‌کننده منیزیم

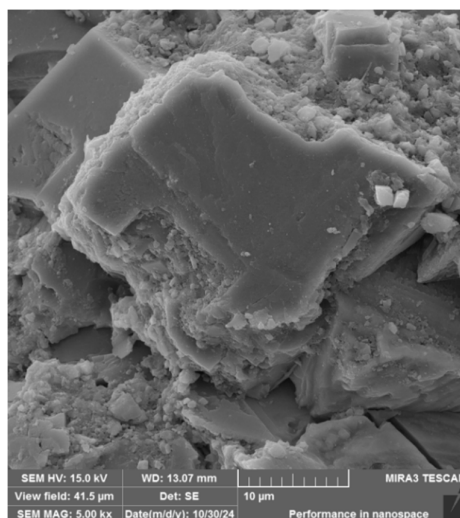
سیالاتی با فازهای غنی از کلسیم در محیط دیاژنزی نسبت داد. عبور سیالاتی با فازهای غنی از کلسیم در محیط دیاژنزی سبب انحلال بلورهای دولومیت می‌گردد (شکل ۲۰) و لذا این فرآیند (ددولومیتی شدن) باعث تشکیل بلورهای دولومیت غنی از کلسیم می‌گردد.

برای دولواسپارایت‌ها، دولومیکرواسپارایت‌ها و دولومیکرایت‌ها برابر ۲/۳۰ و ۲/۱۱ می‌باشد که بیانگر نداشتن نظم بلوری (پایداری و استوکیومتری) می‌باشند. جوان بودن سن نهشته‌ها (اوسن) از دلایل عدم نظم بلوری در دولومیت‌های آن‌ها می‌باشد. نسبت بالای Ca/Mg در دولومیت‌های درشت بلور مورد مطالعه را می‌توان به



شکل ۱۹. مدل دولومیتی شدن سازند شهبازان در ناحیه مورد مطالعه (بدون مقیاس). فرآیند دولومیتی شدن به ترتیب در سه مرحله ۱، ۲ و ۳ رخ داده است. ۱) تشکیل دولومیت ریز بلور در محیط پهنه جزرومدی. ۲) تشکیل دولومیت در اثر تراوش شورابه‌های کف حوضه‌ای. ۳) تشکیل دولومیت در طی دفن کم عمق تا متوسط و عمیق.

Fig. 19. Dolomitization model of Shahbazan Formation in the study area (no scale). Dolomitization processes occurred in 3 stages 1, 2, 3. 1) The formation of microcrystalline dolomite in the tidal flat environment. 2) The formation of dolomite due to the seepage of basin floor sediments 3) Dolomitization in shallow to moderate and deep burial diagenesis.



شکل ۲۰. نمونه‌ای از یک بلور ریز دولومیت انحلال یافته که به دلیل عبور سیالات غنی از کلسیم در محیط رخ داده است.

Fig. 20. An example of a dissolved dolomite crystal that occurred due to the passage of calcium-rich fluids in the environment.

- two Mississippian dolomites. *Sedimentary Geology*, 131: 97-108.
- Alavi, M. (2004) Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and Its Proforeland Evolution. *American Journal of Science*, 304: 1-20.
- Alavi, M. (1991) Tectonic map of the Middle East. Geological Survey of Iran. Tehran.
- 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.
- Argentino, C., Lugli, F., Cipriani, A., Panieri, G. (2021) Testing miniaturized extraction chromatography protocols for combined $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analyses of pore water by MC-ICP-MS. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 19: 431-440.
- Azmy, K., Veizer, J., Misi, A., Oliveira, T. F., Sanches, A. L., Dardenne, M. A. (2001) Dolomitization and isotope stratigraphy of the Vazante formation, São Francisco Basin, Brazil: *Precambrian Research*, 112(3): 303-329.
- Azomani, E., Azmy, K., Blamey, N., Brand, U., Al-Aasm, I. (2013) Origin of Lower Ordovician dolomites in eastern Laurentia: Controls on porosity and implications from geochemistry: *Marine and Petroleum Geology*, 40: 99-114.
- Borgomano, J., Lanteaume, C., Leonide, P., Fournier, F., Montaggioni, L. F., Masse, J. P. (2020) Quantitative carbonate sequence stratigraphy: Insights from stratigraphic forward models. *AAPG Bulletin*, 104(5): 1115-1142.
- Bathurst, R. G. C. (1975) Carbonate Sediments and their Diagenesis: Developments in Sedimentology. 2nd Edition, Elsevier, Amsterdam, 12: 658p.
- Berra, F., Azmy, K., Della Porta, G. (2020) Stable-isotope and fluid inclusion constraints on the timing of diagenetic events in the dolomitized Dolomia Principale inner platform (Norian, Southern Alps of Italy). *Marine and Petroleum Geology*, 121: 104615.
- Blatt, H., Middleton, G. V., Murray, R. C. (1980) Origin of Sedimentary Rocks: 2nd ed. Prentice-Hall, New Jersey, 634p.
- Callen, J. M. (2016) In Situ Geochemistry of Middle Ordovician Dolomites of the Upper Mississippi Valley: Evaluation of the Dorag Model and New Implications for Dolomitizing Fluids: Master dissertation, Louisiana State University, 88p.
- Dickson, J. A. D. (1965) A modified staining technique for carbonate in the thin section: *Nature*, 205: 587.
- Drits, V. A., McCarty, D. K., Sakharov, B., Milliken, K. L. (2005) New insight into structural and compositional variability in some ancient excess-Ca dolomite. *The Canadian Mineralogist*, 43: 1255-1290.

۸- نتیجه‌گیری

مطالعات سنگ‌شناسی بر روی بافت دولومیت‌ها منجر به شناسایی چهار گروه از دولومیت‌ها گردید (دولومیت‌های ریزبلور، دولومیت‌های متوسط‌بلور، دولومیت‌های درشت‌بلور و دولومیت‌های بسیار درشت‌بلور پرکننده شکستگی‌ها و حفرات سنگ). دولومیت‌های ریزبلور در گروه دولومیت‌های اولیه و سایر دولومیت‌ها در گروه دولومیت‌های ثانویه قرار می‌گیرند. حفظ بافت‌های اولیه رسوبی، نظیر اینتراکلیست‌ها، لامینه‌های جلبکی و فابریک فنسترال، عدم فسیل و کانی‌های تبخیری و نبود فرآیندهای دیاژنتیکی تأخیری، بیانگر مدل جزرومدی برای دولومیت‌های ریزبلور اولیه می‌باشد. تمرکز عناصر فرعی (Mn و Fe) در دولومیت‌های اولیه کمترین مقدار و در صورتی که تمرکز این عناصر در دولومیت‌های ثانویه بیشترین مقدار می‌باشد. همچنین تمرکز عناصر فرعی دیگر نظیر (Na و Sr) در دولومیت‌های اولیه بیشترین مقدار می‌باشد، در صورتی که تمرکز این عناصر در دولومیت‌های ثانویه کمترین مقدار است که این موضوع دلالت بر محیط دیاژنزی تدفینی کم‌عمق تا متوسط و عمیق برای دولومیت‌های ثانویه دارد. بر پایه مطالعات زمین‌شیمی عنصری بر روی عناصر اصلی Ca و Mg و عناصر فرعی Na, Sr, Fe, Mn برای دولومیت‌های مورد مطالعه و همچنین مطالعات بافتی بر روی دولومیت‌های شناسایی شده، می‌توان مدل دولومیتی شدن سازند را به مدل جزرومدی، تراوش و سپس دفن کم عمق تا متوسط و عمیق نسبت داد. با توجه به سن جوان سازند شهبازان (ائوسن)، می‌توان گفت دولومیت‌های مورد مطالعه در این سازند هنوز به نظم بلوری (پایداری) نرسیده‌اند.

References

- Adabi, M. H. (2009) Multistage dolomitization of upper Jurassic Muzduran Formation, Kopet-Dagh basin, N.E. Iran: Carbonate Evaporite, 24: 16-32.
- Abdolnia, A., Maghfouri Moghadam, I., Baghbani, D. (2017) Stratigraphy of the Shahbazan Formation in Lorestan Basin. *GEOSCIENCES*, 26 (103): 157-168. (in Persian)
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B., Wortel, R. (2011) Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*, 148: 692-725.
- Al-Aasm, I. S., Packard, J. J. (2000) Stabilization of early-formed dolomite, a tale of divergence from

- Dunham, R. J. (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. American Association of Petroleum Geologists, 108-121.
- El-Saiy, A. K., Jordan, B. R. (2007) Diagenetic aspects of tertiary carbonates west of the Northern Oman Mountains, United Arab Emirates: Journal of Asian Earth Sciences, 3: 35-43.
- Fakhari, M. (1985) Poldokhtar Geological Compilation Map 1/100,000 (Sheet 20813W). National Iranian Oil Company, Tehran.
- 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.
- Gabellone, T., Whitaker, F. (2016) Secular variations in seawater chemistry controlling dolomitization in shallow reflux systems: Insights from reactive transport modelling. Sedimentology, 63(5): 1233-1259. <https://doi.org/10.1111/sed.12259>.
- 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., Sibley, D. F. (1984) Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture: Journal of Sedimentary Petrology, 54: 908-931.
- 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.
- Halley, R. B., Harris, P. M. (1979) Fresh water cementation of a 1,000 year-old oolite. Journal of Sedimentary Research, 49: 969-988.
- Heydari, E. (2008) Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran. Tectonophysics, 451: 56-70.
- Hou, Y., Azmy, K., Berra, F., Jadoul, F., Blamey, N. J. F., Gleeson, S. A., Brand, U. (2016) Origin of the Breno and Esino dolomites in the western southern Alps (Italy): implications for a volcanic influence: Marine and Petroleum Geology, 69: 38-52.
- Immenhauser, A. (2022) On the delimitation of the carbonate burial realm. The Depositional Record, 8: 524-574.
- James, N. P., Jones, B. (2015) Origin of Carbonate Sedimentary Rocks, Wiley, American Geophysical Union, 464 p.
- James, G. A., Wynd, J. G. (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium, agreement area, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49 (12): 2182-2245.
- Jamshidi, A., Sedaghatnia, M. (2024) Dolomitization mechanisms of Eocene Zagros carbonate platforms (an example from Shahbazan Formation, Amiran anticline, south of Lorestan). Applied Sedimentology, 12 (23): 150-174. (in Persian)
- Kaczmarek, S. E., Sibley, D. F. (2014) Direct physical evidence of dolomite recrystallization. Sedimentology, 61: 1862-1882.
- Kirmaci, M. Z. (2008) Dolomitization of the late Cretaceous-Paleocene platform carbonates, Golkoy (Ordu), eastern Pontides, NE Turkey. Sedimentary Geology, 203: 289-306.
- Konert, G., Afifi, M., Al-Hajri, S. A., Droste, H. J. (2001) Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian plate. GeoArabia, 6: 407-440.
- Land, L. S. (1985) The origin of massive dolomite: Journal of Geological Education, 33: 112-125.
- Lukoczki, G., Haas, J., Gregg, J., Machel, H. G., Kele, S., John, C. M. (2020) Early dolomitization and partial burial recrystallization: A case study of Middle Triassic peritidal dolomites in the Villány Hills (SW Hungary) using petrography, carbon, oxygen, strontium and clumped isotope data. International Journal of Earth Science, 109: 1051-1070.
- Mazzollo, S. J. (1992) Geochemical and neomorphism alteration of dolomite: a review: Carbonates and Evaporites, 7: 21-37.
- Meister, P., McKenzie, J. A., Bernasconi, S. M. Brack, P. (2013) Dolomite formation in the shallow seas of the Alpine Triassic. Sedimentology, 60: 270-291.
- Miller, J. K., Folk, R. L. (1994) Petrographic, geochemical and structural constraints on the timing and distribution of postlithification dolomite in the Rhaetian Portoro (—Calcarenol) of the Portovenere Area, La Spezia, Italy. In: B.H. Purser, M. E.
- Mirbeik Sabzevari, K., Sedaghatnia, M. (2022) Petrography and geochemistry of Shahbazan Formation dolomites and investigation of its possible boundary with Asmari Formation from the elemental geochemistry point of view (Northeastern Kohdasht, south Lorestan). Journal of New finding in applied geology, 16(32): 200-223. (in Persian)
- Mirbeik Sabzevari, K., Sedaghatnia, M. (2023) Diagenetic processes and paragenetic sequence of Shahbazan Formation (Middle – Upper Eocene) in north west Poldokhtar, Lorestan basin. New Finding in Applied Geology, (18): 67-91. (in Persian).
- Morrow, D. W. (1990) Dolomite-Part 1: The chemistry of dolomitization and dolomite precipitation. In: McIlreath, I. A and Morrow, D.

- W (Eds) Diagenesis. Geoscience Canada Reprint Series, 4: 113-124.
- Motiei, H. (2003) Geology of Iran (Zagros stratigraphy), publication of the geological organization. 583P. (in Persian)
- Müller, I. A., Fernandez, A., Radke, J., Van Dijk, J., Bowen, D., Schwieters, J., Bernasconi, S. M. (2017) Carbonate clumped isotope analyses with the long-integration dual-inlet (LIDI) workflow: Scratching at the lower sample weight boundaries. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 31: 1057–1066.
- Murris, R. J. (1980) Hydrocarbon habitat of the Middle East, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 6: 765-800.
- Pirayaei, A., Feizi, A., Sofiani, H., Hemmat, S., Motamedi, B. (2014) Paleogeography of tertiary Zagros deposits. Internal report of oil exploration management. Number GR-2362, P 204. (in Persian).
- Rao, C. P. (1996) Modern carbonates: tropical, temperate, polar. *Introduction to Sedimentology and Geochemistry*. University of Tasmania, Hobart, 206p.
- Rao, C. P., Adabi, M. H. (1992) Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia, *Marine Geology*, 103(1-3): 249-272.
- Ren, M., Jones, B. (2017) Spatial variations in the stoichiometry and geochemistry of Miocene dolomite from Grand Cayman: Implications for the origin of island dolostone. *Sedimentary Geology*, 348: 69–93.
- Salifou, I. A. M., Zhang, H., Boukari, I. O., Harouna, M., Cai, Z. (2021) New vuggy porosity models-based interpretation methodology for reliable pore system characterization, Ordovician carbonate reservoirs in Tahe Oilfield, North Tarim Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 196: 63-79
- Sibley, D. F., Gregg, J. M. (1987) Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57: 967–975.
- Shunli, Z. H., Zhengxiang, L. V., Sibing, L. (2018) Origins and Geochemistry of Dolomites and Their Dissolution in the Middle Triassic Leikoupo Formation, Western Sichuan Basin, China. *Minerals*, 8: 289-299.
- Tucker, M. E. (2001) *Sedimentary Petrology*. 3rd Edition, Blackwell, Oxford, 260p.
- Tucker, M. E., Wright, V. P. (1990) *Carbonate Sedimentology*: Blackwell, Oxford, 482p.
- Verges, J., Emami, H., Garcés, M., Beamud, E., Homke, S., Skott, P. (2019) Zagros foreland fold belt timing across Lurestan to constrain Arabia–Iran collision. In: Saein, A. (Ed.), *Tectonic and Structural Framework of the Zagros Fold-Thrust Belt*. Elsevier, 29–52.
- Veizer, J., Hinton, R. W., Clayton, R. N., Lerman, A. (1987) Chemical diagenesis of carbonates in thin sections: Ion microprobe as a trace element tool: *Chemical Geology*, 64 (3): 225-237.
- Wallace, M. W., Hood, A. (2018) Zebra textures in carbonate rocks: Fractures produced by the force of crystallization during mineral replacement. *Sedimentary Geology*, 368: 58–67.
- 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 Sci Reviews*, 52: 1-81.
- Wilson, M. E. J., Evans, M. J., Oxtoby, N. H., Nas, D. S., Donnelly, T., Thirlwall, M. (2007) Reservoir quality, textural evolution and origin of fault-associated dolomites: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 91: 1247-1273.
- Winkelstern, I. Z., Lohmann, K. C. (2017) Shallow burial alteration of dolomite and limestone clumped isotope Geochemistry. *Geology*, 44(6): 467–470.
- Wierzbicki, R., Dravis, J. J., Al-Aasm, I., Harland, N. (2006) Burial dolomitization and dissolution of Upper Jurassic Abenaki platform carbonates, Deep Panuke reservoir, Nova Scotia, Canada. *American Association of Petroleum Geologists*, 90 (11): 1843–1861.
- Whitaker, F. F., Smart, P. L., Jones, G. (2004) Dolomitization From conceptual to numerical models: Geological Society, London, Special Publications, 235(1): 99-139.
- Ying, R., Dakang, Z., Chonglong, G., Queqi, Y., Rui, X., Langbo, J., Yangjinfeng, J., Ningcong, Z. H. (2017) Dolomite geochemistry of the Cambrian Longwangmiao Formation, eastern Sichuan Basin: Implication for dolomitization and reservoir prediction. *Petroleum Research*, 2: 64-76.
- Zeigler, M. A. (2001) Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*, 6(3): 445-504.
- 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.
- Zhang, X., Hu, W., Jin, Z., Zhang, J., Qian, Y., Zhu, J., Zhu, D., Wang, X., Xie, X. (2008) REE compositions of Lower Ordovician dolomites in Central and North Tarim Basin, NW China: A potential REE proxy for ancient seawater: *Geologica Sinica*, 82(3): 610-621.
- Zhao, C., Yu, B., Zhang, C., Chen, Y., Qi, X. (2012) A discussion on the formation mechanism of dolomite associated with hydrothermal solution in Tazhong area: *Petrology and Mineralogy*, 31(2): 164-172.