



Diagenetic Processes Analysis and Geochemical Environment Reconstruction of Dolomites in the Taleh-Zang Formation (Folded Zagros, Lorestan Sedimentary Basin)

Mehran Dalvand¹, Seyed Hamid Vaziri², Kobra Mirbeik Sabzevari^{*1} and Seyed Vahid Shahrokhi¹

1- Dept. of Geology, Khor. c., Islamic Azad University, khorramabad, Iran

2- Dept. of Geology, NT. c., Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article type: Original Research	The aim of this research is to investigate the diagenetic processes, paragenetic sequences, and the dolomitization model of the Taleh-Zang Formation (Late Thanetian) in the Lorestan Sedimentary Basin, utilizing petrographic and elemental geochemical evidence. For this purpose, three surface sections were selected and sampled. The lower and upper boundaries of the Taleh-Zang Formation in all four studied sections are conformable with the Amiran flysch Formation and the Kashkan clastic Formation, respectively. Petrographic studies led to the identification of several diagenetic processes, including micritization, cementation, neomorphism, compaction, dissolution, porosity, and replacement, which ultimately determined its diagenetic model. Based on petrographic evidence, the paragenetic sequence of the Taleh-Zang Formation deposits in these sections is interpreted across four environments: marine, burial, uplift, and fresh water. These processes have passed through three diagenetic stages: early (eogenesis), middle (mesogenesis), and late (telogenesis). Dolomites in the studied sections formed as both primary and secondary. Elemental analysis of the samples by EDS method (with an accuracy of one-hundredth percent) on the dolomites showed that primary dolomites possess low Fe content and high amounts of Sr and Na, whereas secondary dolomites have a high concentration of Fe and Mn and lower Sr content compared to primary dolomites. This finding suggests a shallow to deep diagenetic burial environment for the secondary dolomites. The dolomitization model of the Taleh-Zang Formation deposits in all three studied sections is attributed to tidal flat, seepage, shallow burial and deep burial settings.
Article history: Received: 2026 January 25 Accepted: 2026 May 10	
Keywords: Taleh-Zang Formation Diagenesis Zagros Lorestan	

DOI: 10.22084/psj.2026.32228.1495

Corresponding author: Kobra Mirbeik Sabzevari, **E-mail:** k.mirbeiksabzevari@iau.ac.ir

Cite this article: Mehran Dalvand, Seyed Hamid Vaziri, Kobra Mirbeik Sabzevari and Seyed Vahid Shahrokhi (2026). Diagenetic Processes Analysis and Geochemical Environment Reconstruction of Dolomites in the Taleh-Zang Formation (Folded Zagros, Lorestan Sedimentary Basin), *Applied Sedimentology*, Vol. 14, No. 27, pp: 125-149.



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

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

Extended Abstract

Introduction

Talehzang Formation (Paleocene-Middle Eocene) is an example of packstone limestone and bioclast, where large foraminifera are found in abundance. This formation is clearly spread in the sedimentary basins of Lorestan and it is placed on the Amiran Formation and below the Kashkan Formation, and sometimes it replaces these two formations laterally and backwards. In some areas, the presence of an erosive unconformity at the upper limit of the Talehzang Formation has been assumed, although the paleontological evidence does not confirm it. This formation is replaced by the Pabdeh Formation towards the south-western regions of Lorestan. Due to the very high sensitivity of carbonate rocks to diagenesis processes, major heterogeneities are often seen in them. The Talehzang Formation extends exclusively in the sedimentary basin of Lorestan. In this basin, most of the researches carried out on this formation are aimed at determining its age by taking into account the fossil contents and the interpretation of its microfacies and depositional environment, so in the present research, elemental geochemistry and dolomitization model of this formation it is discussed in a section of the earth's surface. Considering the effect of dolomitization in the facies of this formation and the relationship between the relative changes of the sea level and dolomitization in the Paleocene-Eocene carbonate platforms of the Lorestan sedimentary basin, it is hoped that the results of this research can be adapted as best as possible to this formation between different parts of Lorestan sedimentary basin, and finally, a clearer picture of Palaeogeographic reconstruction of Paleocene-Middle Eocene time in Zagros sedimentary basin and post-depositional history of this formation can be presented. According to the map of structural zones of the Zagros basin, the studied area is located in the simple folded part of Zagros and in the sedimentary zone of Lorestan. In Zagros, during the Late Paleocene to Eocene, sediments were deposited in a pre-pit sedimentary basin along the eastern margin of the Arabian Plate. According to the geological map 1/100000 of Kohdasht, Khorramabad and Poldokhtar cities, and the studied areas is located on the South of Khorramabad, South of Kohdasht and North of Poldokhtar.

Materials and Methods

In this study, after numerous field visits and studying the 1/100,000 geological maps of

Khorramabad, Kohdasht and Poldokhtar counties, a suitable surface section of the Talehzang Formation was selected in the study area. These sections were selected in such a way that it has the greatest thickness, the greatest lithological changes, easy access, and the least coverage. From this section, 181 rock samples were selected and microscopic thin sections were prepared from all of them (sections were prepared at Lorestan University of and studied and photographed using an Olympus-BH2 polarizing microscope). Carbonate rocks were classified according to Dunham (1962). Also, in order to separate the types of dolomites of Talehzang Formation and to know the diagenesis environment of these dolomites, 9 powder samples in nano particle sizes were analyzed by EDS methods in Central Laboratory No. 1 of Lorestan University and imaging by Electron microscopy (SEM) of dolomites was also performed. The nomenclature and classification of dolomites was based on a combination of textural classification proposed by Sibley and Gregg (1987) and Mazollo (1992). For the size of dolomite crystals, the scale provided by Folk (1965) and Adabi (2009) was used. In the end, these studies help a lot to determine the origin of dolomite-forming fluids (Sibley and Greg, 1987; Kopech et al., 1988; Ay and Mazollo, 1993; Adabi, 2009).

Results and Discussion

Based on field evidence, lithology and geochemistry, two main groups of dolomites were identified in the Talehzang Formation which includes primary dolomites and secondary dolomites. Primary dolomites (dolomicrites) were formed due to their very small size and the presence of algal laminae, intraclasts fragments, fenestral porosity and the absence of evaporite minerals in a tidal zone environment, and secondary dolomites (medium crystal and coarse crystal dolomites) were formed in a shallow to medium burial diagenesis environment as a result of the seepage of evaporated basin floor sediments into the carbonate platform of the Talehzang Formation. The low amount of Fe and high amounts of Sr and Na in dolomicrites and the high concentration of Fe and Mn in dolomicrosparites and dolosparites along with the presence of some evidence such as algal laminae, intraclasts fragments, fenestral porosity and the absence of evaporite minerals indicate, the formation of these dolomites is from the tidal flat model, seepage and then shallow to medium burial. Low values of Sr and high concentration of Fe

and Mn in coarse crystal dolomites probably indicate the increase in the size of dolomite crystals and their recrystallization during burial. Interpretation of diagenetic processes the dominant diagenetic processes identified in the microfacies of the Talehzang Formation include micritization as a thin coating around grains and excessive micritization of grains, increased neomorphism due to recrystallization of micromicrite crystals into microasparite, decreased neomorphism in the crust of allochems. The formation of equal-thickness marginal cement as first-generation cement around the grains, the formation of next-generation coarse-crystalline cement between the grains, the formation of drusy cement within the grains, the formation of geopetal fabric, the creation of dissolution and the formation of intra-grain and inter-grain porosity, mold and shelter porosity, pyritization and silicification-type substitution, and physical and chemical compaction were mentioned. These processes have gone through four diagenetic environments: marine, freshwater, burial, and uplift. These processes have occurred during three stages (eogenesis, mesogenesis, and telogenesis). Petrographic studies on the dolomites of Talehzang Formation led to the identification of four types of these dolomites. These dolomites include first type dolomite or dolomicrites (very fine crystal dolomites), second type dolomite or dolomicrosparite (medium crystal dolomites), third type dolomite or dolosparite (coarse crystal dolomites) and fourth type dolomite. (Very coarse crystal dolomites) are filling the space of fractures and veins. Finally, according to the evidence of petrography and elemental geochemistry, the dolomites of Talehzang Formation can be considered from the model of sedimentation, seepage, and then shallow to medium and deep burial. The Talehzang Formation was deposited in a marine phreatic environment, consisting of magnesium-rich aragonite and calcite shells (red algae, foraminifers, echinoderms and molluscs) with intragranular and intergranular porosity. Some diagenesis processes, such as micrite formation, the formation of isopachous rim cement, are related to early diagenesis in marine environments, which were identified in the section under study, which confirm the early stage of diagenesis. As a result of dissolution, cavity, channel and mold porosity is formed and the process of incremental neomorphism can also be seen.

Conclusion

Based on field evidence, petrographic, lithology and geochemistry studies, two main groups of dolomites were identified in the Talehzang Formation which includes primary dolomites and secondary dolomites. Primary dolomites (dolomicrites) were formed due to their very small size and the presence of algal laminae, intraclasts fragments, fenestral porosity and the absence of evaporite minerals in a tidal zone environment, and secondary dolomites (medium crystal and coarse crystal dolomites) were formed in a shallow to medium burial diagenesis environment as a result of the seepage of evaporated basin floor sediments into the carbonate platform of the Talehzang Formation. The low amount of Fe and high amounts of Sr and Na in dolomicrites and the high concentration of Fe and Mn in dolomicrosparites and dolosparites along with the presence of some evidence such as algal laminae, intraclasts fragments, fenestral porosity and the absence of evaporite minerals indicate, the formation of these dolomites is from the tidal flat model, seepage and then shallow to medium burial. Low values of Sr and high concentration of Fe and Mn in coarse crystal dolomites probably indicate the increase in the size of dolomite crystals and their recrystallization during burial. Dominant diagenetic processes identified in the microfacies of the Talehzang Formation include micritization as a thin coating around grains and excessive micritization of grains, increased neomorphism due to recrystallization of micromicrite crystals into microasparite, decreased neomorphism in the crust of allochems. The formation of equal-thickness marginal cement as first-generation cement around the grains, the formation of next-generation coarse-crystalline cement between the grains, the formation of drusy cement within the grains, the formation of geopetal fabric, the creation of dissolution and the formation of intra-grain and inter-grain porosity, mold and shelter porosity, pyritization and silicification-type substitution, and physical and chemical compaction were mentioned. These processes have gone through four diagenetic environments: marine, freshwater, burial, and uplift. These processes have occurred during three stages (eogenesis, mesogenesis, and telogenesis).



واکاوی فرآیندهای دیاژنزی و بازسازی محیط ژئوشیمیایی دولومیت‌های سازند تله‌زنگ (زاگرس چین خورده، حوضه‌ی رسوبی لرستان)

مهران دالوند^۱، سیدحمید وزیری^۲، کبری میربیک سبزواری^{۱*} و سیدوحید شاه‌رخ^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۲۰ کلیدواژه‌ها: سازند تله‌زنگ دیاژنز زاگرس لرستان	هدف از این پژوهش بررسی فرآیندهای دیاژنزی، توالی‌های پاراژنتیکی و مدل دولومیتی شدن سازند تله‌زنگ (تانسین پسین) در حوضه‌ی رسوبی لرستان با استفاده از شواهد سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی عنصری می‌باشد. در این راستا سه برش سطح‌الارضی انتخاب و مورد نمونه‌برداری قرار گرفته است. مرز زیرین و زبرین سازند تله‌زنگ در هر چهار برش مورد مطالعه به ترتیب با سازندهای فلیشی امیران و سازند آواری کشکان از نوع تدریجی است. مطالعات سنگ‌نگاری منجر به شناسایی چندین فرآیند دیاژنزی از جمله میکرایتی شدن، سیمانی شدن، نوریختی، فشردگی، انحلال، تخلخل و جانشینی شد که در نهایت مدل دیاژنزی آن تعیین گردید. براساس شواهد سنگ‌نگاری، توالی پاراژنتیکی نهشته‌های سازند تله‌زنگ در این برش‌ها در چهار محیط دریایی، تدفینی، بالآمدگی و آب شیرین تفسیر شده است. این فرآیندها سه مرحله دیاژنزی اولیه (ائوزنز)، میانی (مزوزنز) و نهایی (تلوزنز) را پشت سر گذاشته‌اند. دولومیت‌ها در برش‌های مورد به صورت اولیه و ثانویه شکل گرفته‌اند. آنالیز عنصری نمونه‌ها به روش EDS (با دقت یک صدم درصد) بر روی دولومیت‌ها نشان داد که دولومیت‌های اولیه دارای مقادیر پایین Fe و مقادیر بالایی از Na و Sr می‌باشند، در حالی که دولومیت‌های ثانویه دارای تمرکز بالایی از Fe و Mn و مقادیر کمتری Sr نسبت به دولومیت‌های اولیه دارند که این موضوع دلالت بر محیط تدفینی دیاژنزی کم عمق تا عمیق برای دولومیت‌های ثانویه می‌باشد. مدل دولومیتی شدن نهشته‌های سازند تله‌زنگ در هر سه برش مورد مطالعه به محیط جزرومدی، تراوش، دفن کم‌عمق و عمیق نسبت داده می‌شود.

DOI: 10.22084/psj.2026.32228.1495

* نویسنده مسئول: کبری میربیک سبزواری، k.mirbeiksabzevari@iau.ac.ir

استناد: مهران دالوند، سیدحمید وزیری، کبری میربیک سبزواری و سیدوحید شاه‌رخ (۱۴۰۵). واکاوی فرآیندهای دیاژنزی و بازسازی محیط ژئوشیمیایی دولومیت‌های سازند تله‌زنگ (زاگرس چین خورده، حوضه‌ی رسوبی لرستان)، رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱۴، شماره ۲۷، صفحه ۱۲۵ تا ۱۴۹.

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



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

۱- پیشگفتار

سازند تله‌زنگ نهشته‌های کربناته به سن پالئوسن-ائوسن زیرین در حوضه پیش‌بوم زاگرس (زون لرستان) است که میان دو فاز کوهزایی لارامید و پیرینه قرار دارد. این سازند در شمال و خاور لرستان گسترش یافته و به سمت مرکز حوضه به مارن‌های عمیق سازند پابده تبدیل می‌شود. ضخامت آن به دلیل ماهیت پیش‌بومی حوضه بسیار متغیر است (از چند متر در تاکدیس امیران تا بیش از ۱۴۰ متر در برش الگو) (جیمز و وایند، ۱۹۶۵). این رسوبات هم‌زمان با رویداد گرمایش جهانی اواخر پالئوسن (افزایش ۵-۸ درجه‌ای دما) نهشته شده‌اند (زاجوس و همکاران، ۲۰۰۱). سازند تله‌زنگ با سازند امیران در قاعده و سازند کشکان در بالا ارتباط تدریجی دارد و سن آن از پالئوسن میانی تا ائوسن پیشین (در شرق لرستان تا ائوسن میانی) گزارش شده است (مطیعی، ۱۳۸۲). حساسیت بالای کربنات‌ها به دیانژر باعث ناهمگنی شدید در این سازند شده است. مغفوری‌مقدم (۱۳۸۶) ریزچینه‌نگاری سازند تله‌زنگ را در هفت برش چینه‌شناسی در باختر و جنوب باختری حوضه رسوبی لرستان مورد مطالعه قرار داد و سن آن را از پالئوسن میانی تا ائوسن پیشین در نظر گرفت. در بخش‌های خاوری حوضه رسوبی لرستان، سازند تله‌زنگ تا محدوده زمانی ائوسن میانی هم گسترش دارد (مغفوری‌مقدم، ۱۳۸۶). با استفاده از روش‌های گوناگون سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی، امروزه شناخت نسبتاً کاملی از تبدیل رسوبات آهکی به سنگ‌های کربناته وجود دارد که این تغییر و تبدیل رسوبات کربناته می‌تواند در سه قلمرو دیانژری دریایی، متئوریک و دفنی رخ دهد (اسدی و همکاران، ۲۰۱۶؛ بارگومانو و همکاران، ۲۰۲۰؛ سالی‌فو و همکاران، ۲۰۲۱). هدف پژوهش، بررسی دقیق فرآیندهای دیانژری (دریایی، متئوریک و دفنی)، تحلیل سنگ‌شناسی و ژئوشیمی عنصری، و تفسیر ماهیت سیالات و مدل دولومیتی‌شدن در سه برش از سازند تله‌زنگ است تا درک بهتری از ویژگی‌های سنگی مخزنی این سازند در حوضه رسوبی لرستان فراهم شود.

۲- زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی برش‌های مورد مطالعه

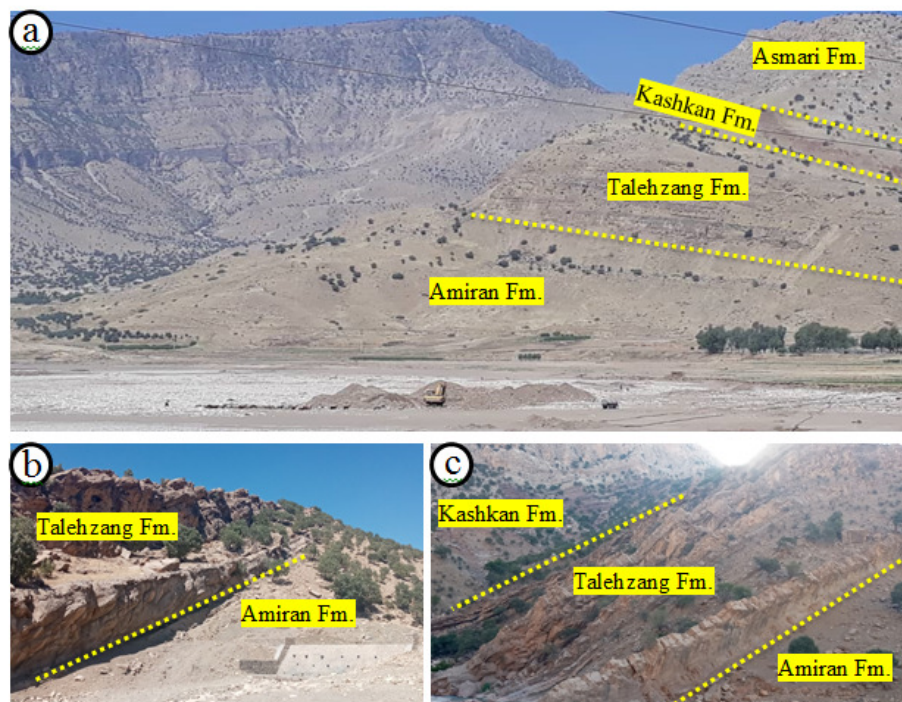
منطقه مورد مطالعه در زاگرس چین‌خورده و در پهنه لرستان واقع شده است. در زاگرس در طی پالئوسن پسین

تا ائوسن رسوبات در یک حوضه پیش‌گودال باقیمانده در امتداد حاشیه شرقی صفحه عربی نهشته شده‌اند (جیمز و وایند، ۱۹۶۵؛ موریس، ۱۹۸۰؛ زیگلر، ۲۰۰۱؛ علوی، ۲۰۰۴). در طی ائوسن گسترش حوضه پیش‌گودال کاهش یافته و با پلاتفرم کربناته-آواری جایگزین شده است. به دلیل فعالیت تکتونیکی شدید و شیب تند حوضه در این زمان، سامانه کربناته مکرراً متوقف شده و جای خود را به سیلیسی-آواری‌ها داده است (پیریایی و همکاران، ۱۳۹۳) که کربنات‌های آن در لرستان (شمال شرقی زاگرس) با سازند شهبازان و تله‌زنگ و سیلیسی-آواری‌ها با سازند کشکان شناخته می‌شوند (مطیعی، ۱۳۸۲). در منطقه مورد مطالعه واحدهای دوران دوم و سوم گسترش دارند (شکل ۱-الف و ب). واحدهای دوران دوم شامل سازندهای گورپی و امیران و سازندهای گروه بنگستان (سازندهای سروک، سورگاه و ایلام) تشکیل می‌دهند. واحدهای دوران سوم شامل سازندهای تله‌زنگ، سازند آواری کشکان، سازندهای آسماری و شهبازان، سازند گچساران و رسوبات آبرفتی عهد حاضر می‌باشند. مشخصات جغرافیایی برش‌های مورد مطالعه به شرح ذیل می‌باشند (شکل ۲):

۱- برش چینه‌شناسی جنوب خرم‌آباد: این برش در ۷۰ کیلومتری جنوب باختری شهرستان خرم‌آباد به سمت شهرستان اندیمشک و در مسیر آزادراه خرم‌آباد-پل‌زال و در ۱۵ کیلومتری شمال روستای کرکی واقع شده است. برش مورد نظر دارای مختصات جغرافیایی طول خاوری "E 48° 12' 14" و عرض شمالی "N 33° 04' 18" و در یال شمالی تاکدیس ریت واقع شده است.

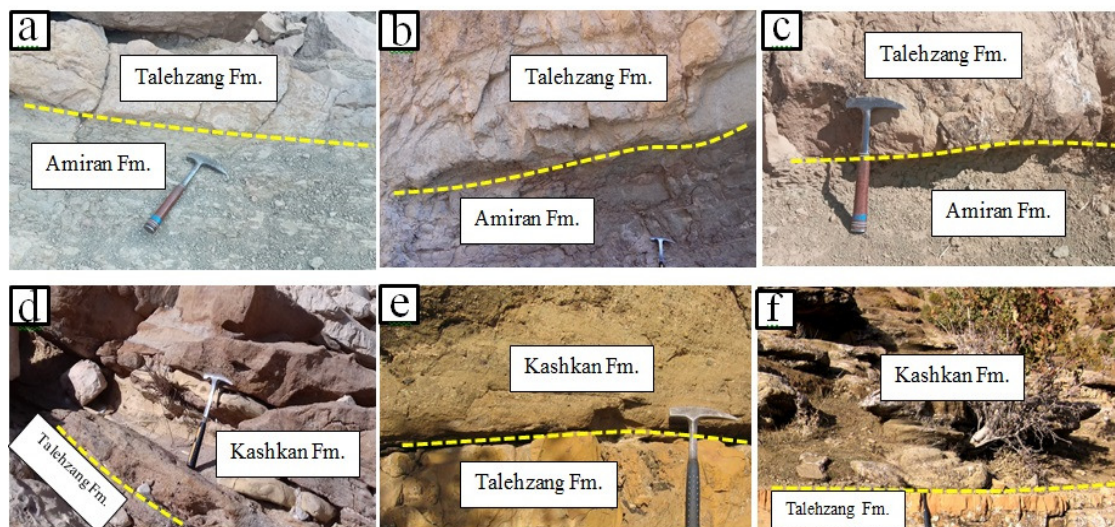
۲- برش چینه‌شناسی جنوب کوه‌دشت: این برش در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان کوه‌دشت به سمت شهرستان گراب واقع شده است. برش مورد نظر دارای مختصات جغرافیایی طول خاوری "E 47° 1' 16" و عرض شمالی "N 33° 34' 06" می‌باشد.

۳- برش چینه‌شناسی شمال پلدختر: این برش در ۱۵ کیلومتری شمال شهرستان پلدختر واقع شده است. برش مورد نظر دارای مختصات جغرافیایی طول خاوری "E 47° 30' 10" و عرض شمالی "N 33° 20' 38" و در یال شمالی تاکدیس ماله‌کوه واقع شده است. در شکل ۳ ستون سنگ‌چینه‌ای برش‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.



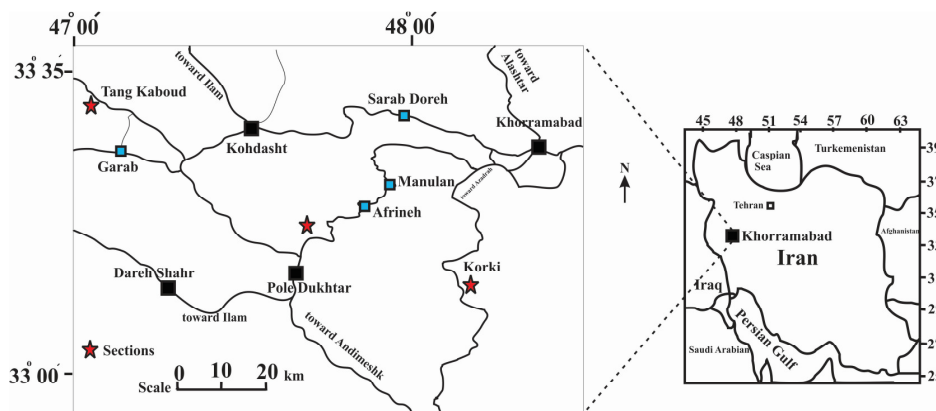
شکل ۱. الف: گسترش سازند تله‌زنگ به همراه سایر سازندهای منطقه مورد مطالعه. ا: برش شمال پلدختر (دید به سمت شمال باختری)؛ ب: برش جنوب کوهدشت (دید به سمت جنوب باختری). ج: برش جنوب خرم‌آباد (دید به سمت شمال خاوری)

Fig. 1. A: Extension of the Taleh Zang Formation along with other formations of the study area. a: Section north of Pole Dokhtar (view to the northwest) b: Section south of Kohdasht (view to the southwest). c: Section south of Khorram Abad (view to the northeast).



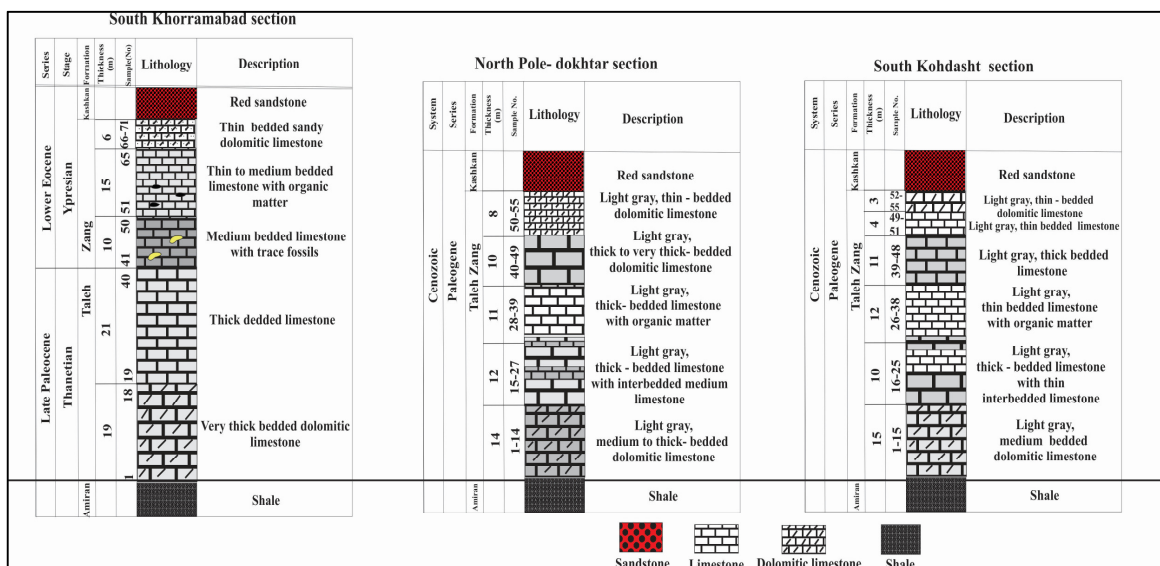
شکل ۱. ب: نمای نزدیک از مرز زیرین و زیرین سازند تله‌زنگ در برش‌های مورد مطالعه، ا: مرز بین نهشته‌های سازند امیران و سازند تله‌زنگ (برش جنوب خرم‌آباد)؛ ب: مرز زیرین بین نهشته‌های سازند امیران و سازند تله‌زنگ (برش شمال پلدختر)؛ ج: مرز زیرین بین نهشته‌های سازند امیران و سازند تله‌زنگ (برش جنوب کوهدشت)؛ د: مرز زیرین بین نهشته‌های سازند تله‌زنگ و سازند کشکان (برش جنوب خرم‌آباد)؛ ه: مرز زیرین بین نهشته‌های سازند تله‌زنگ و سازند کشکان (برش جنوب کوهدشت)؛ ف: مرز زیرین بین نهشته‌های سازند تله‌زنگ و سازند کشکان (برش شمال پلدختر).

Fig. 1. B: Close-up view of the lower and coarser boundary of the Taleh Zang Formation in the studied sections a: Boundary between deposits of the Amiran Formation and the Taleh Zang Formation (section south of Khorramabad) b: Lower boundary between deposits of the Amiran Formation and the Taleh Zang Formation (section north of Pole Dokhtar) c: Lower boundary between deposits of the Amiran Formation and the Taleh Zang Formation (section south of Kohdasht) d: Lower boundary between deposits of the Taleh Zang Formation and the Kashkan Formation (section south of Khorramabad) e: Lower boundary between deposits of the Taleh Zang Formation and the Kashkan Formation (section south of Kohdasht) f: Lower boundary between deposits of the Taleh Zang Formation and the Kashkan Formation (section north of Pole Dokhtar).



شکل ۲. راه‌های دسترسی به برش‌های مورد مطالعه به همراه موقعیت برش‌های انتخاب شده

Fig. 2. Access routes to the studied sections along with the location of the selected sections



شکل ۳. ستون سنگ‌چینه‌ای برش‌های مورد مطالعه. برش جنوب خرم‌آباد (ضخامت ۷۱ متر)، برش جنوب کوهدشت (ضخامت ۵۵ متر)، برش شمال پلدختر (ضخامت ۵۵ متر).

Fig. 3. Stratigraphic column of the measured sections. South Khorramabad Section (thickness: 71 meters), South Kuhdasht Section (thickness: 55 meters), and North Pol-e Dokhtar Section (thickness: 55 meters).

۳- روش مطالعه

به منظور درک فرآیندهای دیاژنزی سازند تله‌زنگ در حوضه رسوبی لرستان سه برش چینه‌شناسی انتخاب گردید. این سه برش به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که طیف وسیعی از رخساره‌ها و توالی‌های چینه‌نگاری سازند تله‌زنگ را در بخش‌های مختلف زون لرستان پوشش دهند. این مناطق نشان‌دهنده تغییرات جانبی^۱ احتمالی در سازند هستند. این برش‌ها از نظر موقعیت جغرافیایی در بخش‌های مهمی از حوضه رسوبی لرستان قرار گرفته‌اند و دسترسی به آن‌ها نسبتاً آسان است و دارای کمترین پوشیدگی

هستند، که امکان نمونه‌برداری دقیق و مطالعات میدانی را فراهم می‌کند. بر اساس مطالعات اولیه و گزارش‌های موجود، این نواحی پتانسیل بالایی برای نمایش انواع فرآیندهای دیاژنزی در سازند تله‌زنگ دارند. انتخاب این برش‌ها امکان مطالعه مقایسه‌ای این فرآیندها را در محیط‌های دیاژنتیکی مختلف فراهم می‌آورد. این مناطق پیش از این نیز در مطالعات زمین‌شناسی منطقه مورد توجه بوده‌اند و انتخاب آن‌ها بر اساس اطلاعات موجود، به تکمیل درک قبلی و پرداختن به جنبه‌های خاص‌تر (مانند دیاژن) کمک می‌کند. تعداد ۱۸۱ نمونه از این برش‌ها برداشت

^۱ lateral changes

گردید (برش جنوب خرم آباد ۷۱ نمونه، برش شمال پلدختر ۵۵ نمونه و برش جنوب کوه دشت ۵۵ نمونه). از تمام نمونه‌های برداشت شده مقطع نازک پتروگرافی تهیه شده است. مطالعات پتروگرافی توسط میکروسکوپ پلاریزان Olympus- BH2 انجام شده است. مقاطع نازک به روش (دیکسون، ۱۹۶۵) توسط محلول آلزارین قرمز (ARS) برای تشخیص کانی‌های کلسیت از دولومیت و محلول فروسیانید پتاسیم برای تشخیص دولومیت‌های آهن‌دار رنگ‌آمیزی شده است. همچنین به منظور شناخت محیط دیاژنزی دولومیت‌های مورد مطالعه، تعداد ۹ نمونه نیز به روش EDS در آزمایشگاه مرکزی شماره ۱ دانشگاه لرستان مورد آنالیز قرار گرفتند و تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) از دولومیت‌ها نیز به عمل آمد.

نام‌گذاری و تفکیک دولومیت‌ها بر پایه تلفیقی از رده‌بندی بافتی (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷ و مزالو، ۱۹۹۲) صورت گرفت. برای اندازه بلورهای دولومیت از مقیاس ارائه شده توسط (فولک، ۱۹۶۵ و آدابی، ۲۰۰۹) استفاده شده است.

۴- بحث

۴-۱- فرآیندهای دیاژنزی

فرآیندهای دیاژنزی نقش بسیار مهمی در کیفیت مخزنی سنگ‌های کربناته دارند (فلوگل، ۲۰۱۰؛ اولمز و همکاران، ۲۰۲۴). میکربیتی شدن و سیمانی‌شدن، به‌ویژه در رخساره‌های گل‌پشتیبان، موجب پرشدن فضای بین‌ذره‌ای و کاهش تخلخل اولیه می‌شود (ارلر و همکاران، ۲۰۱۸؛ کراوز و همکاران ۲۰۱۸). فشردگی‌های ناشی از فشار روباره نیز باعث کاهش تخلخل شده و کیفیت مخزنی را بیشتر محدود می‌کند. در مقابل، فرآیند انحلال باعث ایجاد تخلخل ثانویه در رخساره‌های دانه‌پشتیبان شده و کیفیت مخزنی را بهبود می‌بخشد (هاو و همکاران، ۲۰۲۵). دولومیتی‌شدن نیز تأثیری دوگانه دارد؛ در برخی بخش‌ها با ایجاد تخلخل بین‌بلوری موجب افزایش کیفیت مخزن می‌شود، اما در برخی موارد به شکل سیمان سبب کاهش تراوایی و بسته‌شدن خلل و فرج می‌شود (مسادی و همکاران، ۲۰۱۶؛ سعادت و همکاران، ۲۰۲۴؛ داوودی و همکاران، ۲۰۲۴؛ اولمز و همکاران، ۲۰۲۴؛ هزارخانی و توکلی، ۲۰۲۵؛ اکبرزاده و همکاران، ۲۰۲۵). میکربیتی‌شدن، نوریختی، فشردگی، انحلال، سیمانی‌شدن و جانشینی از جمله

تفسیر: پوشش‌های میکربیتی نخستین فرآیندهای دیاژنزی زیستی می‌باشند که عمدتاً توسط موجودات حفار (سیانوباکتری‌های اندولیتیک، قارچ‌ها و جلبک‌ها) در محیط دیاژنزی فریاتیکی دریایی و در شرایط آرام رسوب‌گذاری و در نزدیکی سطح تماس آب و رسوب رخ می‌دهند (فلوگل، ۲۰۱۰؛ وینسنت و همکاران، ۲۰۲۵). مهم‌ترین فاکتور در ایجاد پوشش میکربیتی فعالیت میکروارگانیسم‌ها و ایجاد فرسایش زیستی می‌باشد (ویزمان و همکاران، ۲۰۱۸). پوشش میکربیتی می‌تواند به عنوان یک سیمان کربنات کلسیم بسیار ریزدانه در اطراف دانه‌ها در نظر گرفته شود که به راحتی فرآیندهای دیاژنزی را طی کرده و به کلسیت کم‌منیزیم تبدیل می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰؛ ارلر، ۲۰۱۸؛ کراوز و همکاران ۲۰۱۸).

نئومورفیسم: این فرآیند اغلب در رخساره‌های وکستونی و پکستونی به وفور دیده می‌شود. فرآیند نوریختی در مقاطع مورد مطالعه به دو صورت دیده می‌شود: الف: به صورت افزایشی (در زمینه سنگ) که در این حالت بلورهای ریز میکربایت به بلورهای درشت‌تر میکرواسپارایت تبدیل می‌شوند (شکل ۵- a افزایش اندازه بلورها در جهت پیکان‌های قرمز رنگ) و ب: به صورت نوریختی کاهشی (در پوسته آلوک‌ها) دیده می‌شود (شکل ۵- b). فرآیند میکربیتی‌شدن در پوسته آلوک‌ها (شکل ۴) نیز نوعی نوریختی کاهشی است.

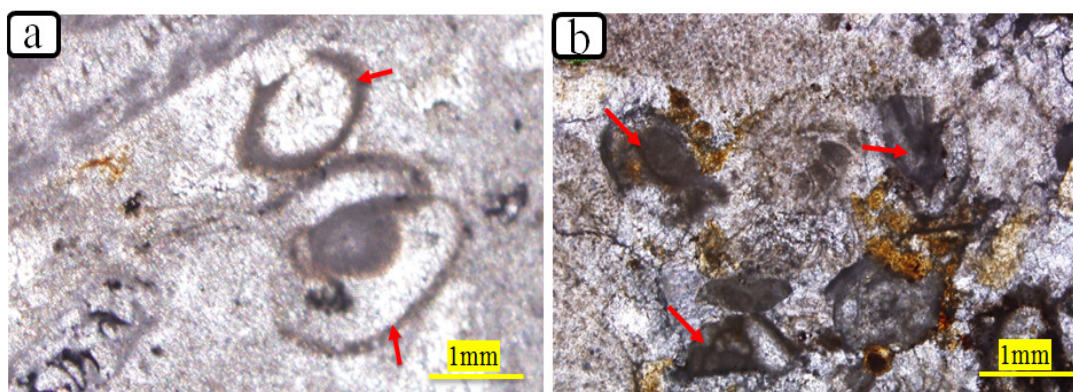
تفسیر: فرآیندهای نئومورفیسم باعث افزایش و یا کاهش اندازه بلورها می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). نئومورفیسم به صورت افزایشی منجر به تشکیل بلورهای درشت‌تر می‌شود (تاگر، ۲۰۰۱)، و در سنگ‌های کربناته فرآیند نئومورفیسم بیشتر به صورت افزایشی می‌باشد و در طی آن بلورهای ریز

کانی‌شناسی کلسیت پرمینیزیم ایجاد می‌شود و دارای خاموشی موازی با قطعات خارپوست می‌باشد (شکل ۶- a). در این نوع سیمان که در اطراف قطعات خارپوست دیده می‌شود با چرخاندن صفحه پلاتین میکروسکوپ دانه (قطعه خارپوست) و سیمان با هم خاموش و روشن می‌شوند. این سیمان اغلب در رخساره‌های گرینستونی دیده می‌شود. تفسیر: این نوع سیمان در انواع محیط‌های دیاژنزی دریایی وادوز، جوی، اختلاطی و دفنی ساخته می‌شود و نوع مربوط به محیط دیاژنزی نزدیک به سطح و وادوز دریایی به دلیل داشتن انکلوزیون، میکرایت‌های موجود به شکل تیره دیده می‌شوند (فلوگل، ۲۰۱۰). نوع شفاف آن‌ها مربوط به محیط‌های تدفینی ژرف و فریاتیگ آب شیرین می‌باشند (تاگر و رایت، ۱۹۹۰؛ فلوگل، ۲۰۰۴).

ماتریکس میکرایتی بزرگ‌تر شده و به میکرواسپار و اسپارایت تبدیل می‌شوند (تاگر و رایت، ۱۹۹۰)، ولی نئومورفیزم به صورت کاهشی نیز اتفاق می‌افتد که در آن اندازه دانه‌ها کوچک‌تر شده و توأم با میکرایتی شدن هستند.

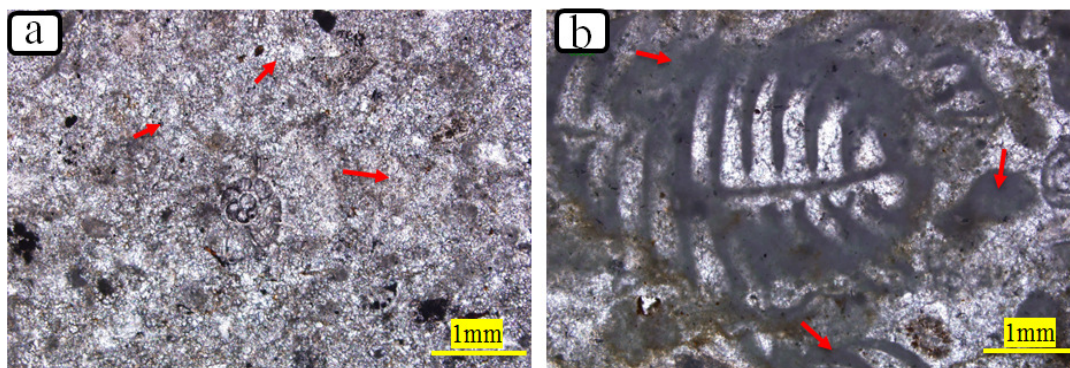
سیمانی شدن: براساس مطالعات سنگ‌شناسی انجام شده بر روی مقاطع نازک رسوبی در مجموع پنج نوع سیمان از نظر ریخت‌شناسی (سیمان هم‌محور، سیمان حاشیه‌ای ظریف هم‌ضامت، سیمان کلسیت هم‌بعد، سیمان قطعه‌ای و سیمان دروزی) در سازند تله‌زنگ در برش‌های مورد مطالعه شناسایی شده است که در ادامه به توصیف و تفسیر آن‌ها پرداخته می‌شود.

سیمان هم‌محور: این سیمان به صورت رشد اضافی هم‌محور پیرامون دانه‌ها و قطعات خارپوست با ترکیب



شکل ۴. a: پوشش نازک میکرایتی اطراف یک آلوکم (پیکان‌های قرمز رنگ). این پوشش در مرحله بعدی دیاژنز سبب حفظ شکل اولیه دانه شده است. b: میکرایتی شدن بیش از اندازه دانه‌ها (پیکان‌های قرمز رنگ) که تا حدودی ساختمان داخلی دانه‌ها را از بین برده است.

Fig. 4. a: Micritic envelope around an allochem (red arrows). This rim has preserved the original shape of the grain during a later stage of diagenesis. b: Excessive micritization of the grains (red arrows) which has partially destroyed the internal structure of the grains



شکل ۵. a: فرآیند نئومورفیزم افزایشی در زمینه سنگ. افزایش اندازه بلورها در جهت پیکان‌های قرمز رنگ است. b: میکرایتی شدن پوسته آلوکم‌ها که نوعی نئومورفیزم کاهشی است.

Fig. 5. a: Progressive neomorphism process in the rock matrix. The crystal size increases in the direction of the red arrows. b: Micritization of allochem shells, which is a type of subtractive neomorphism.

به گونه‌ای که اندازه بلورها در سیمان هم‌بعد اغلب کمتر از ۳۰۰ میکرون می‌باشد و این درحالی است که در سیمان بلوکی به بیش از ۶۰۰ میکرون و در اندازه‌های میلی‌متری (بیش از چند میلی‌متر) می‌باشند و بیشتر شکستگی‌ها و تخلخل حاصل از انحلال را پر می‌کند (شکل ۶- d).

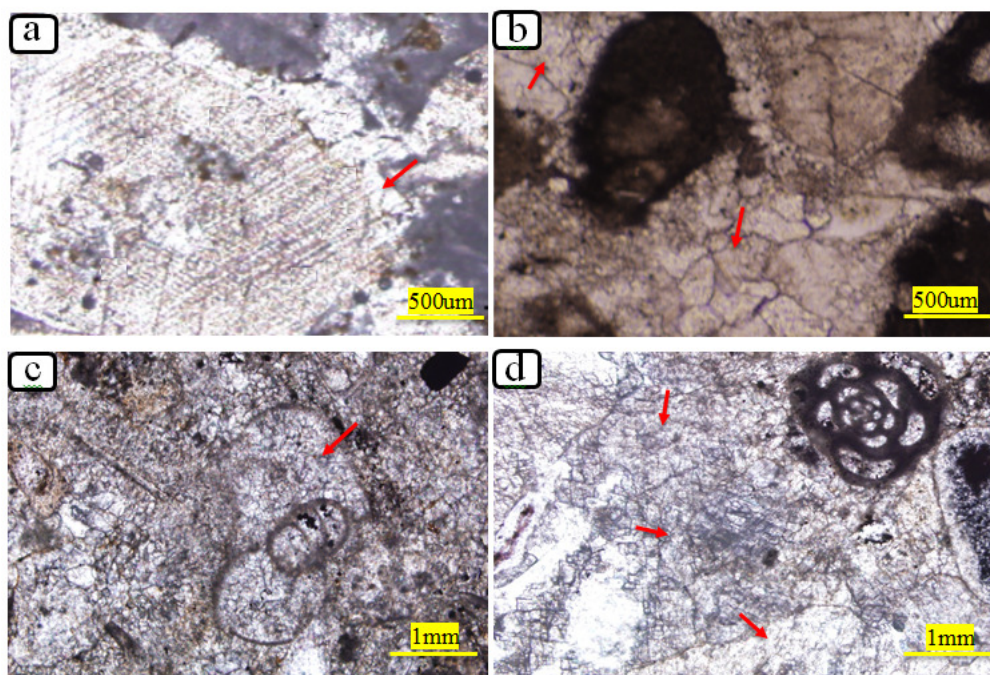
تفسیر: ترکیب کانی‌شناسی بلورهای این نوع سیمان، کلسیت پرمیزیم و یا کلسیت کم منیزیم می‌باشد و به طور معمول در محیط‌های دیاژنزی متئوریک (وادوز یا فریاتیک)، محیط تدفینی و به ندرت در ریف‌ها و هاردگراندهای دریایی مشاهده می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). گسترش این سیمان بین اجزای اسکلتی و غیراسکلتی است و نسبت Mg/Ca در سیالات سازنده این سیمان کم است (پورسر، ۱۹۷۸).

سیمان دروزی: این سیمان که پر کننده حفرات و شکستگی‌ها است، از بلورهای هم‌بعد تا طولی، بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار کلسیت تشکیل شده است که اندازه آن‌ها از حاشیه به سمت مرکز افزایش می‌یابد (شکل ۷- a). در مقاطع مورد مطالعه این نوع سیمان اغلب در رخساره‌های پکستونی و به مقدار کمتر در رخساره‌های گرینستونی دیده می‌شود.

سیمان موزاییکی کلسیتی هم‌بعد: این نوع سیمان در مقاطع مورد مطالعه از بلورهای کوچک تا متوسط نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل و نسبتاً هم‌بعد موزاییکی تشکیل شده است که اغلب در فضای حاصل از انحلال درون دانه‌ها و به صورت سیمان ثانویه به دنبال سیمان‌های نسل اول شکل گرفته‌اند (شکل ۶- b و c). این نوع سیمان اغلب در رخساره‌های گرینستونی و پکستونی دیده می‌شود. در رخساره‌های گرینستونی این نوع سیمان اغلب فضای بین دانه‌ها را پر کرده است ولی در رخساره‌های پکستونی اغلب فضای انحلال یافته درون آلوکم‌ها را پر کرده است.

تفسیر: دلیل هم‌بعد بودن این نوع از سیمان‌ها پائین بودن نسبت Mg/Ca در آب‌های جوی و دفنی می‌باشد، این نسبت در آب‌های جوی کمتر از ۰/۳ است (راو، ۱۹۹۶). شفافیت در این سیمان دلالت بر غیردریایی بودن آن دارد (سیبل و جیمز، ۲۰۱۷). همچنین این سیمان می‌تواند در مرحله تلوزنیک فضای حاصل از شکستگی‌ها را پر کند. زون فریاتیک متئوریک با دمای نسبی پایین و جریان آهسته مایعات، می‌تواند محیط مناسبی برای تشکیل این سیمان باشد (سیبل و جیمز، ۲۰۱۷).

سیمان قطعه‌ای (بلوکی): تفاوت اصلی این نوع از سیمان‌ها با سیمان‌های موزاییکی هم‌بعد، در اندازه قطعات آن است



شکل ۶. a: سیمان رشد اضافی هم‌محور (سین‌تکسیال) در اطراف یک قطعه خارپوست. b: سیمان موزاییکی ریزبلور بین‌دانه‌ای. c: سیمان موزاییکی متوسط بلور درون‌دانه‌ای. d: سیمان درشت بلور قطعه‌ای (بلوکی).

Fig. 6. a: Overgrowth, coaxial (syntaxial) cement around an echinoderm fragment. b: Fine-grained mosaic, intergranular cement. c: Medium-grained mosaic, intragranular cement. d: Coarse-grained, mosaic (blocky) cement.

زمینه سنگ (پیکان قرمز رنگ) دیده می‌شود که در مرحله بعد توسط سیمان کلسیت موزاییکی پر شده است. در شکل ۸- d شکستگی در جای دانه‌ها دیده می‌شود که به دلیل اعمال تراکم فیزیکی بر روی آن‌ها شکل گرفته است. در مقاطع مورد مطالعه این فرآیندها اغلب در رخساره‌های پکستونی و گرینستونی مشاهده شده است.

تفسیر: فشردگی فیزیکی بلافاصله پس از ته‌نشست رسوبات و در اعماق کم ایجاد می‌شود (تاکر، ۲۰۰۱). در اثر فشردگی فیزیکی دانه‌ها به هم فشرده شده و فابریک دانه به دانه بین آلوکم‌ها دیده می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). شکستگی‌های حاصل از فشردگی فیزیکی در تعبیر و تفسیر تاریخچه بعد از رسوبگذاری اهمیت دارند زیرا اغلب نشانه‌های دیاژنز هستند (کوک و همکاران، ۲۰۰۶؛ فلوگل، ۲۰۱۰). تغییر شکل و آرایش نزدیک‌تر دانه‌های کریستال که برگرفته از فرآیند فشردگی مکانیکی هستند، پیش از سنگ‌شدگی رسوبات رخ می‌دهند (رونچی و همکاران، ۲۰۱۱؛ مادن و ویلسون، ۲۰۱۳).

فشردگی شیمیایی: تراکم شیمیایی در نمونه‌های مورد مطالعه اغلب به صورت درزه‌های انحلالی در محل تماس دانه‌ها و استیلولیت‌ها دیده می‌شوند (شکل ۹). در مقاطع مورد مطالعه این فرآیند اغلب در رخساره‌های پکستونی دیده می‌شود و وجود گل آهکی (میکرایت) از عوامل تسهیل دهنده تراکم بیش از اندازه دانه‌ها بوده و این در حالی است که در رخساره‌های گرینستونی به دلیل تشکیل سیمان در بین دانه‌ها مانع از تراکم و نزدیک‌تر شدن بیش از اندازه دانه‌ها به هم شده است.

تفسیر: فرآیند تراکم شیمیایی در عمق بیشتری نسبت به تراکم فیزیکی رخ می‌دهد و طی این فرآیند سبترای لایه‌های سنگ آهک حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد کاهش می‌یابد (سان‌میگنل و همکاران، ۲۰۱۷؛ الگالی و همکاران، ۲۰۲۴). این ویژگی در محیط‌های دفنی متوسط تا عمیق با عمقی که معمولا در حدود ۵۰۰ متری شروع می‌شود (تاکر، ۲۰۰۱) یا ممکن است به عنوان نتیجه‌ای از فشار تکتونیکی نیز تشکیل شوند (بترست، ۱۹۸۷).

انحلال و تخلخل: تخلخل‌های شناسایی در مقاطع مورد مطالعه اغلب به صورت حفره‌ای درون پوسته آلوکم‌ها (فسیل‌ها)، حفره‌ای بین‌دانه‌ای و کانالی می‌باشند (شکل ۱۰). تخلخل‌های حفره‌ای درون‌دانه‌ای و بین‌دانه‌ای در مقاطع مورد مطالعه اغلب به صورت اولیه هستند و در زمان

تفسیر: ترتیب تبلور بلورهای پرکننده حفرات، نشان‌دهنده پیشرفت این فرآیند در دو مرحله است (بیثرناکا و همکاران، ۲۰۰۵). سیمان‌دروزی بیشتر به عنوان سیمان نسل دوم، بعد از سیمان‌های نسل اول تشکیل می‌شوند و دارای ترکیب کلسیت کم‌منیزیم می‌باشند (زاید، ۲۰۱۲). سیمان دروزی در واقع بیانگر محیط‌های دیاژنز متئوریک نزدیک سطح و دفنی می‌باشد (آروسی و همکاران، ۲۰۱۵). این سیمان در هر دو محیط دیاژنز دفنی و محیط دیاژنز جوی تشکیل می‌شود لذا برای تعیین منشأ سیمان باید از مطالعات ایزوتوپی (O^{18}/O^{16}) استفاده شود (سیبل و جیمز، ۲۰۱۷).

سیمان حاشیه‌ای ظریف هم‌ضخامت: این نوع سیمان با بلورهای ظریف در حاشیه دانه‌ها و به صورت متقارن یک یا چند ردیفی و با ضخامت یکسان پیرامون دانه‌ها رشد کرده است (شکل ۷- b). این نوع سیمان با بلورهای ظریف و ضخامت یکسان اولین نسل از سیمان‌ها هستند که در محیط فریاتیک دریایی در رخساره‌های مورد مطالعه شکل گرفته‌اند. در مقاطع مورد مطالعه این نوع سیمان اغلب در رخساره‌های گرینستونی مشاهده شده است.

تفسیر: این نوع سیمان به عنوان اولین نسل از سیمان‌ها در نظر گرفته می‌شود و دارای بلورهای فیبری و یا سوزنی شکل بوده که به صورت یکنواخت بر روی سطح ذرات رشد می‌کنند. سیمان فیبری اکثراً تشکیل لایه‌های هم‌ضخامت را می‌دهد و به دلیل ته‌نشست آن در محیط‌های دریایی آهن و منیزیم بسیار پایینی دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ تاکر، ۲۰۰۱). این نوع سیمان به عنوان سیمان دریایی و مشخصه بخش‌های فریاتیک آب دریا در نظر گرفته می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰؛ مور، ۲۰۱۳).

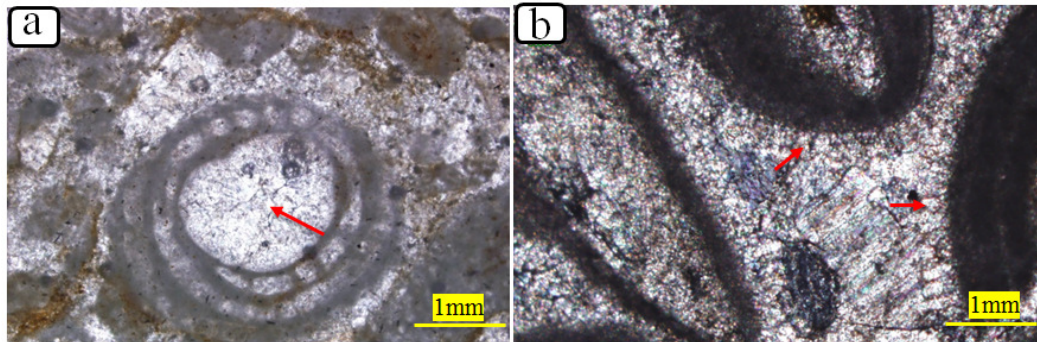
فشردگی: در مقاطع مورد مطالعه، فشردگی (تراکم) به دو صورت مکانیکی و شیمیایی دیده شده است که در ادامه به توصیف و تفسیر آن‌ها پرداخته شده است.

فشردگی مکانیکی: در مقاطع مورد مطالعه فرآیند فشردگی فیزیکی به صورت ایجاد انواع تماس بین‌دانه‌ای، فابریک دانه به دانه، شکستگی در زمینه سنگ و شکستگی در دانه‌های آلوکمی دیده می‌شود. در شکل ۸- a به دلیل اعمال تراکم فیزیکی فابریک دانه‌به‌دانه و یا چرخش تلسکوپی دانه‌ها شکل گرفته است. در شکل ۸- b تماس محدب- مقعر (پیکان قرمز رنگ) در بین دو دانه آلوکم شکل گرفته است. در شکل ۸- c به دلیل اعمال تراکم فیزیکی شکستگی در

به محیط‌های دیاژنزی دیگر دارد (وستفال، ۲۰۰۶؛ ون بوچم و همکاران، ۲۰۱۰؛ فلوگل، ۲۰۱۰؛ هاو و همکاران، ۲۰۲۵). یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تاثیرگذار بر روی جریان سیال، مقادیر تراوایی و ویژگی‌های فیزیک سنگ می‌باشد (هالپس و همکاران، ۲۰۱۷؛ اسدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ سالی‌فو و همکاران، ۲۰۲۱؛ وینسنت و همکاران، ۲۰۲۵).

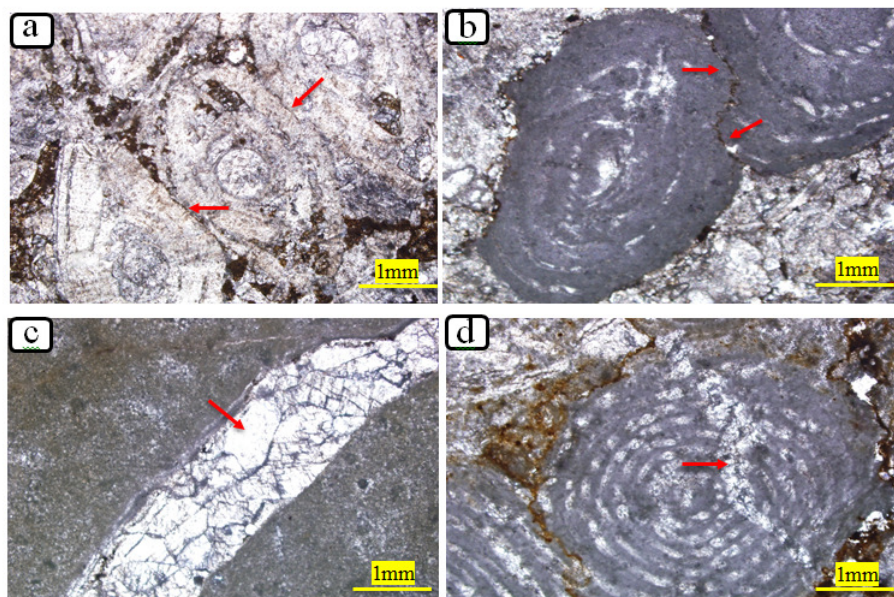
رسوب‌گذاری در محیط فریاتیک دریایی شکل گرفته‌اند و هیچگونه شواهدی که تأیید کننده ثانویه بودن این نوع تخلخل‌ها باشد تشخیص داده نشده است.

تفسیر: فرآیند انحلال در محیط‌های دیاژنزی متئوریک وادوز و فریاتیک، زون مخلوط و نیز محیط‌های دیاژنزی دفنی و انحلال فشاری رخ می‌دهد ولی در محیط‌های دیاژنزی وادوز متئوریکی، به مراتب گسترش بیشتر نسبت



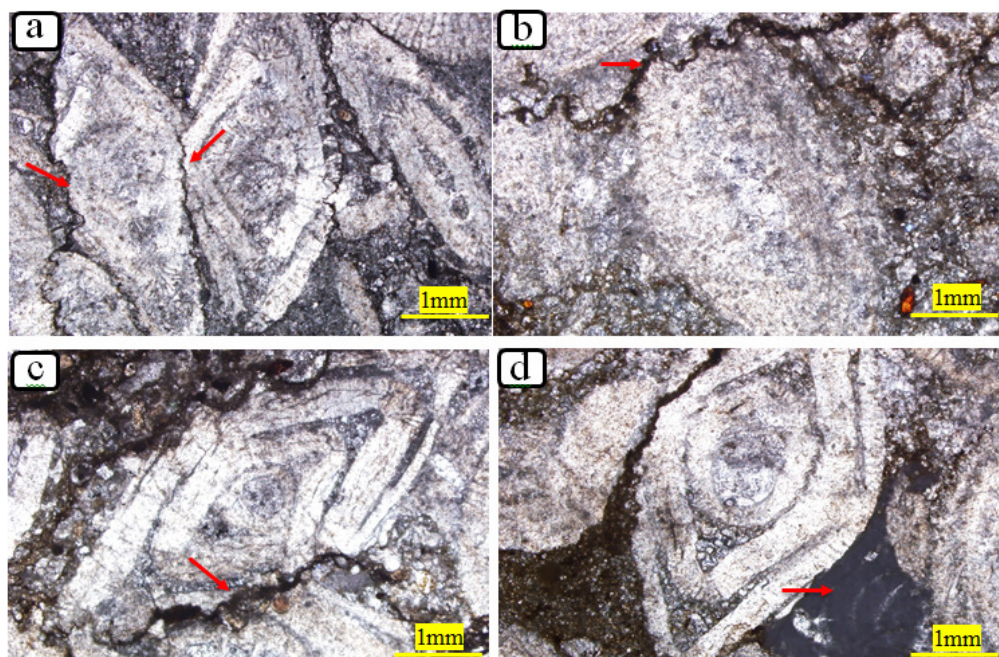
شکل ۷. a: سیمان دروزی تشکیل شده در درون یک دانه آلوم. افزایش اندازه بلورها به سمت مرکز حفره و در جهت پیکان قرمز رنگ است. b: سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت دورتادور دانه (پیکان‌های قرمز رنگ).

Fig. 7. a: Drusy cement formed within an allochem grain. The increase in crystal size is toward the center of the cavity and in the direction of the red arrows. b: Uniform thickness, rim cement surrounding the grain (red arrows).



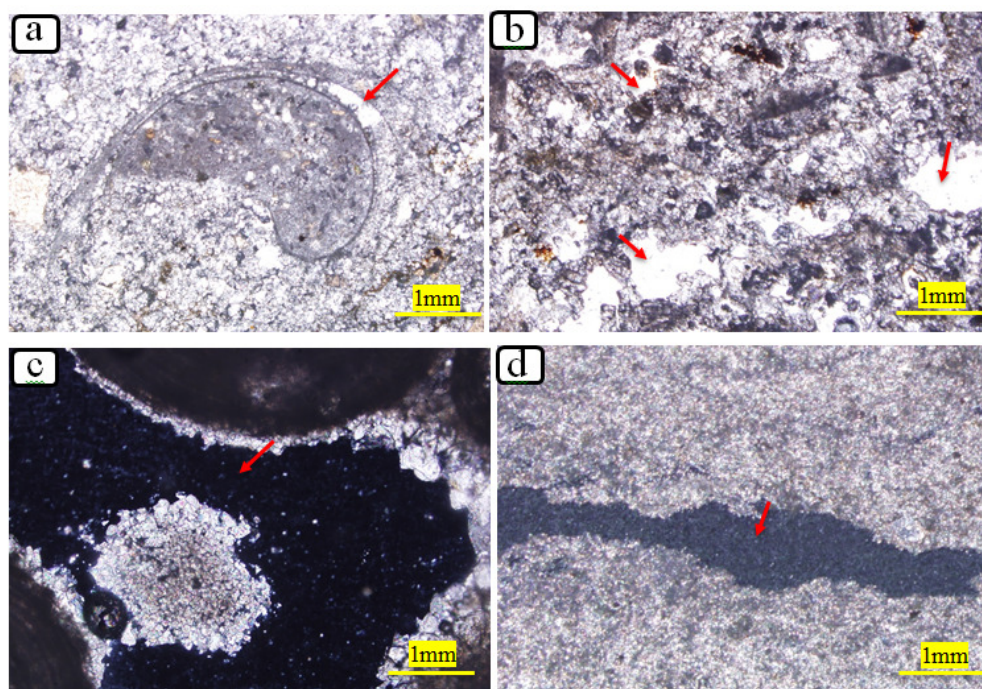
شکل ۸. a: ایجاد فابریک دانه به دانه در اثر اعمال تراکم فیزیکی. پیکان‌های قرمز رنگ نوعی تماس طولی بین دانه‌ها را نشان می‌دهند. b: ایجاد تماس محدب-مقعر (پیکان قرمز رنگ) در بین دو دانه آلوم به دلیل اعمال تراکم فیزیکی. c: شکستگی ایجاد شده در زمینه سنگ به دلیل اعمال تراکم فیزیکی (پیکان قرمز رنگ). این شکستگی در مرحله بعدی توسط سیمان کلسیتی پر شده است. d: شکستگی در جای دانه آلوم به دلیل اعمال تراکم فیزیکی.

Fig. 8. a: Development of grain-to-grain fabric due to the application of physical compaction. The red arrows indicate a type of longitudinal contact between the grains. b: Formation of a convex-concave contact (red arrow) between two allochem grains due to the application of physical compaction. c: Fracture formed in the rock matrix due to physical compaction (red arrow). This fracture was later filled by calcite cement. d: In-situ fracture of an allochem grain due to the application of physical compaction.



شکل ۹. a: ایجاد درزه‌های انحلالی (پیکان‌های قرمز رنگ) در محل تماس دانه‌ها به دلیل اعمال تراکم شیمیایی. b و c: تشکیل استیلولیت و حذف بخشی از دانه به دلیل انحلال ناشی از تراکم شیمیایی. d: انحلال شیمیایی بیش از اندازه در دانه‌ها به گونه‌ای که بخش عمده‌ای از دانه‌های ناپایدار (پیکان قرمز رنگ) حل شده و از بین رفته است.

Fig. 9. a: Development of dissolution seams (red arrows) at the grain contacts due to the application of chemical compaction. b and c: Formation of stylolites and removal of a portion of the grain due to dissolution induced by chemical compaction. d: Excessive chemical dissolution in the grains to the extent that a major part of the unstable grains (red arrow) has been dissolved and destroyed.



شکل ۱۰. a: تخلخل حفره‌ای (پیکان قرمز رنگ) در پوسته یک صدف. b و c: تخلخل حفره‌ای بین دانه‌ای. d: تخلخل کانالی

Fig. 10. a: Intergranular porosity (red arrow) in the shell wall of a bivalve. b and c: Intergranular porosity between grains. d: Channel Porosity.

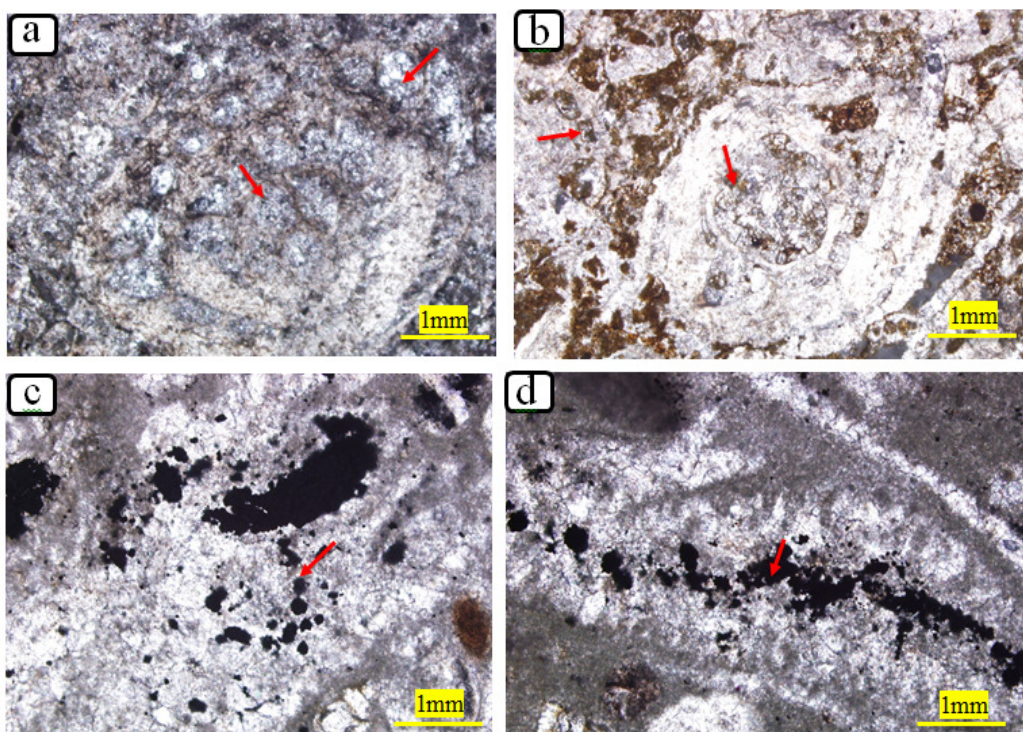
شده‌اند. این موارد نشان می‌دهند سیلیسی شدن پس از تراکم و سیمانی شدن اولیه رخ داده است و به عبارتی دیگر در مرحله دیاژنز تدفینی رخ داده است.

تفسیر: فرآیند جانشینی سیلیس در سنگ‌های کربناته بسیار رایج و متداول است. سیلیسی شدن می‌تواند جانشین اجزای آلومک‌ها شود و سبب از بین رفتن بخش‌هایی از ساختمان دانه‌های اسکلتی و غیراسکلتی اولیه شود و یا می‌تواند در بین قطعات آلومک نیز دیده شود (فلوگل، ۲۰۱۰).

دولومیتی شدن: فرآیند دولومیتی شدن در مقاطع مورد مطالعه اغلب در رخساره‌های پکستونی مشاهده شده است. در نمونه‌های بررسی شده در این مطالعه دولومیتی شدن به صورت جانشینی در حجرات روزن‌دارن دیده می‌شود (شکل ۱۱- b). دولومیتی شدن به صورت جانشینی در رخساره‌های مورد مطالعه با حفظ ساختمان داخلی فسیل‌ها و در برخی موارد با تخریب ساختمان داخلی آن‌ها همراه است.

جانشینی: فرآیند جانشینی در سنگ‌های آهکی توسط سیلیس، دولومیت، پیریت، فسفات و دیگر کانی‌های مختلف انجام می‌شود. در نمونه‌های مورد مطالعه فرآیند جانشینی اغلب از نوع سیلیسی شدن، دولومیتی شدن و پیریتی شدن است.

سیلیسی شدن: در مقاطع مورد مطالعه این فرآیند اغلب در رخساره‌های وکستونی تا پکستونی مشاهده شده است. در نمونه‌های مورد مطالعه این فرآیند اغلب در پوسته آلومک‌ها دیده شده است و ساختمان داخلی آن‌ها را در بر گرفته است (شکل ۱۱- a). سیلیسی شدن در نمونه‌های مورد مطالعه اغلب به صورت انتخابی بوده و جانشین پوسته و حجرات فسیل‌ها شده است و لذا منشأ اینگونه سیلیس‌ها ثانویه بوده و به مرحله دیاژنزی تدفینی نسبت داده می‌شود. در مقاطع مورد مطالعه بلورهای سیلیس (کوارتز) اغلب متوسط تا درشت‌بلور هستند، بلورهای سیلیس به صورت انتخابی پوسته و حجرات فسیل‌ها را در بر گرفته‌اند و از طرفی همزمان با دولومیتی شدن ثانویه (دیر رس) مشاهده



شکل ۱۱. a: سیلیسی شدن به فرم جانشینی در پوسته روزندار (پیکان قرمز رنگ). b: تشکیل دولومیت به صورت جانشینی در درون دانه‌های آلومک. c و d: تشکیل پیریت به صورت ثانویه در درون حجرات و پوسته آلومک‌ها (پیکان‌های قرمز رنگ).

Fig. 11. a: Silicification in the form of replacement within a porous shell (red arrow). b: Formation of replacement dolomite within allochem grains. c and d: Secondary formation of pyrite within the chambers and shell of allochems (red arrows).

تحت تاثیر قرار می‌دهد (تاکر و رایت، ۱۹۹۰؛ دياز و ابرلی، ۲۰۲۲). برخی از فرایندهای دیاژنزی مانند میکریتی شدن (به صورت پوشش میکرایتی و قشر میکرایتی) و تشکیل سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت که مربوط به دیاژن اولیه در محیط‌های دریایی (فریاتیک دریایی) هستند در برش مورد مطالعه شناسایی شده که تایید کننده مرحله اولیه دیاژن هستند (تریپا و همکاران، ۲۰۲۳). تراکم فیزیکی نیز بلافاصله پس از رسوبگذاری، منجر به نزدیک‌تر شدن دانه‌ها به یکدیگر شده است و فابریک در هم فشردگی^۲ را به وجود آورده است. در محیط فریاتیک آب شیرین حفرات بین دانه‌ها همواره پر از آب است و ممکن است سبب انحلال کانی‌های نیمه پایدار نظیر آراگونیت و کلسیت پرمینیزیم گردد (حیدری و واد، ۲۰۱۴). برخی از سیمان‌های نسل دوم مانند موزائیکی هم‌بعد و بلوکی که در مقاطع مورد مطالعه شناسایی گردید در این مرحله تشکیل می‌شوند (تاکر و رایت، ۱۹۹۰).

دیاژن میانی (مزوژن): در این مرحله رسوبات تحت تاثیر فشار روباره و دمای ناشی از تدفین در اعماق مختلف قرار می‌گیرند و این شرایط تا آستانه دگرگونی ادامه می‌یابد (هالی و لانگمن، ۱۹۸۰؛ فلوگل، ۲۰۱۰). از عوامل موثر در این مرحله مقدار رس و سیلیس و شیمی آب حفره‌ای می‌باشد (والنسیا و لایا، ۲۰۲۰). در این مرحله برخی از فرایندها شامل فشردگی مکانیکی و شیمیایی و سیمان‌های بلوکی، دروزی و جانشینی از نوع پیرییتی شدن و سیلیسی شدن رخ می‌دهد که در نمونه‌های مورد مطالعه تشخیص داده شده است. در این مرحله تراکم شیمیایی منجر به تشکیل استیلولیت‌ها می‌شود. دولومیت‌های آهن‌دار تشخیص داده شده در مقاطع مورد مطالعه به این مرحله از دیاژن نسبت داده می‌شود.

دیاژن پایانی (تلوژن): این مرحله با ایجاد شکستگی‌ها و درزه‌هایی در سنگ‌ها نمایان می‌شود. تشکیل اکسید آهن (اغلب هماتیت) در میان شکستگی‌های سنگ مربوط به این مرحله از دیاژن است. به احتمال زیاد در حین بالا آمدن رسوبات در طی دیاژن پایانی (تلوژن) یون‌های آهن توسط آب‌های جوی و از طریق شکستگی‌ها به داخل رسوبات نفوذ کرده و در شرایط اکسیدی، اکسید آهن آبدار شکل گرفته و به تدریج به هماتیت تبدیل شده است.

تفسیر: فراوان‌ترین و گسترده‌ترین نوع جانشینی در سنگ‌های آهکی، دولومیتی شدن است (پتی جان، ۱۹۷۵). جانشینی بلورهای دولومیت به جای کلسیت می‌تواند با تخریب فابریک تا حفظ آن صورت پذیرد. در فرآیند دولومیتی شدن کانی‌شناسی اولیه، اندازه بلورها و ماهیت سیالات دولومیت‌ساز مهم است (تاکر و رایت، ۱۹۹۱؛ فلوگل، ۲۰۱۰؛ اولمز و همکاران، ۲۰۲۴؛ عبدالحماد و همکاران، ۲۰۲۵؛ آلیشاه و آلیشاه، ۲۰۲۶).

پیرییتی شدن: در نمونه‌های مورد مطالعه این فرآیند اغلب در ریزرخساره‌های وکستونی و پکستونی مشاهده شده است. در نمونه‌های مورد مطالعه پیرییتی شدن اغلب در درون دانه‌ها و پوسته آلوکم‌ها جانشین شده است (شکل ۱۱- c و d) و لذا اینگونه پیریت‌ها منشأ ثانویه دارند. همانگونه که در شکل ۱۱- c و d پیداست، بعد از انحلال دانه‌های آلوکم پیریت جانشین شده است و فرایند سیمانی شدن و جانشینی پیریت توأم با هم رخ داده است لذا پیرییتی شدن در نمونه‌های مورد مطالعه غالباً از نوع ثانویه می‌باشد که در طی دیاژن تدفینی اتفاق افتاده است.

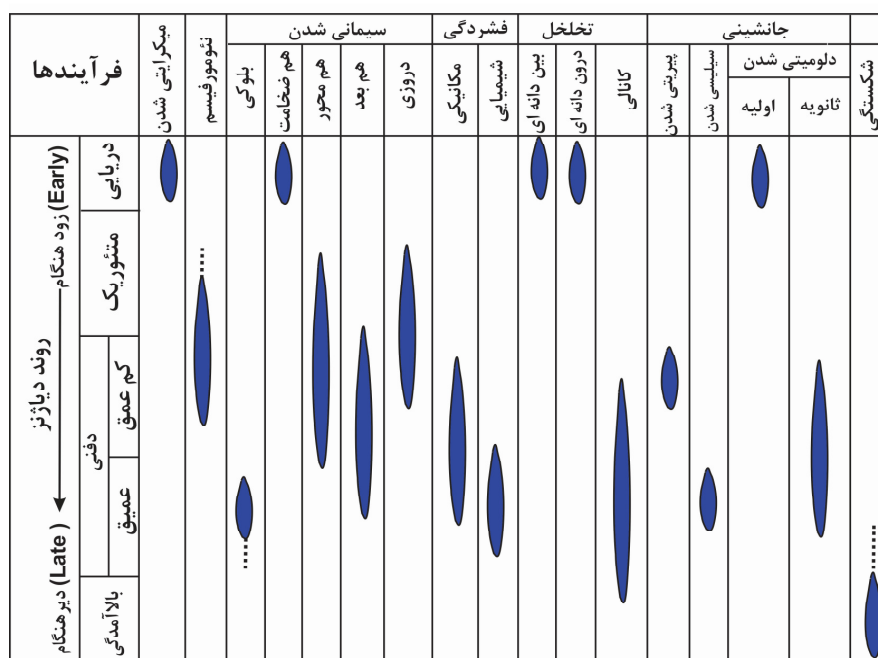
تفسیر: فراوانی پیریت در رسوبات دریایی به وجود یون‌های سولفات، آهن و نیز کربن آلی وابسته است و فراوانی این کانی دلالت بر محیط احیاء دارد (بوتلر و ریکارد، ۲۰۰۰؛ گولدهابر، ۲۰۰۴). پیریت دانه تمشکی می‌تواند به صورت اولیه و ثانویه در رخساره‌های کربناته تشکیل شود (فلوگل، ۲۰۰۴).

۴-۲- توالی‌های پاراژنزی

تعیین تاریخچه توالی وقایع دیاژنزی نقش مهمی در شناخت شدت تأثیر آن‌ها در زمان‌های مختلف و در محیط‌های دیاژنزی مختلف خواهد داشت (فلوگل، ۲۰۱۰). دیاژن در سنگ‌های کربناته حاصل فرایندهای مختلفی است که در محیط‌های دریایی، جوی و دفنی انجام می‌شوند (تاکر و رایت، ۱۹۹۰). فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در مقاطع مورد مطالعه طی سه مرحله دیاژنزی ائوژن، مزوژن و تلوژن شکل گرفته‌اند. این فرایندها چهار محیط دیاژنزی دریایی، آب شیرین، تدفینی و بالا آمدگی را پشت سر گذاشته‌اند (شکل ۱۲).

دیاژن آغازین (ائوژن): فرایندهای دیاژنزی در این مرحله رسوبات را حین ته‌نشست و یا بلافاصله پس از ته‌نشست

^۲ Fitted fabric



شکل ۱۲. توالی پاراژنتیکی سازند تله‌زنگ در برش‌های مورد مطالعه. بخش آبی رنگ فراوانی زیاد و خط چین فراوانی کمتر را نشان می‌دهد.

Fig. 12. Paragenetic sequence of the Taleh-Zang Formation in the studied sections. The blue-colored section indicates high abundance, and the dashed line indicates lower abundance.

۳-۴- پتروگرافی دولومیت‌ها

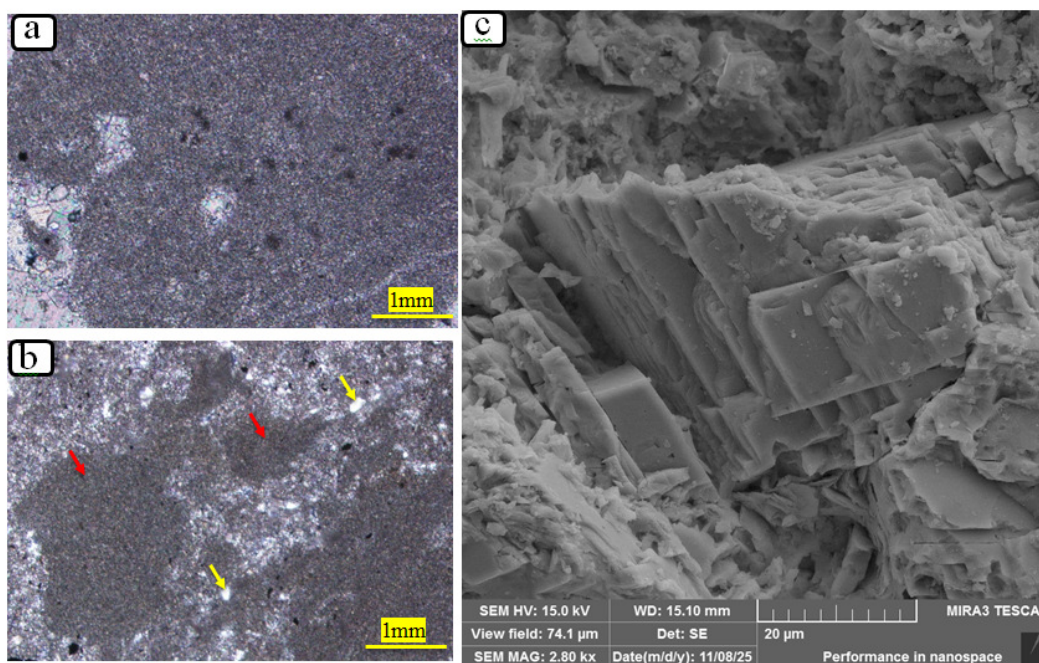
دولومیت‌های شناسایی شده در نهشته‌های سازند تله‌زنگ در دو گروه اصلی (اولیه و ثانویه) قرار می‌گیرند. دولومیت‌های اولیه شامل دولومیت‌های ریزبلور و دولومیت‌های ثانویه شامل دولومیت‌های متوسط بلور، درشت بلور و نوع باروک می‌باشند.

دولومیت نوع اول یا دولومیت‌های ریز بلور (دلومیکرایت‌ها): این نوع از دولومیت‌ها با مرزهای مسطح نیمه شکل‌دار در اندازه‌های بین ۴ تا ۲۰ میکرون و به شکل موزائیک‌های یک اندازه در مقاطع مورد مطالعه یافت می‌شوند (شکل ۱۳). این نوع از دولومیت‌ها معادل بافت Planar-S مازالو (۱۹۹۲) و سیبلی و گرگ (۱۹۸۷) و بافت ایدیوتوپیک Idiomatic-S گرگ و سیبلی (۱۹۸۴) و (آدابی، ۱۳۹۰) می‌باشند. این نوع دولومیت‌ها احتمالاً همزمان با رسوبگذاری یا در مراحل اولیه دیاژنز در محیط بالای جزرومدی یا بین جزرومدی تشکیل شده‌اند. همچنین نبود فسیل و وجود دانه‌های آواری کوارتز و قطعات اینتراکستی در این نوع از دولومیت‌ها (شکل ۱۳) می‌توان اظهار داشت که دولومیت نوع اول تحت شرایط سطحی و دمای پایین از آب دریا (لند، ۱۹۸۵) و یا محلول‌های بین‌دره‌ای غنی از منیزیم (Mg) تشکیل شده است (آدابی، ۲۰۰۹). با توجه به فابریک و اندازه خیلی ریز این نوع از

دولومیت‌ها فقط با میکروسکوپ نوع الکترونی قابل مشاهده هستند.

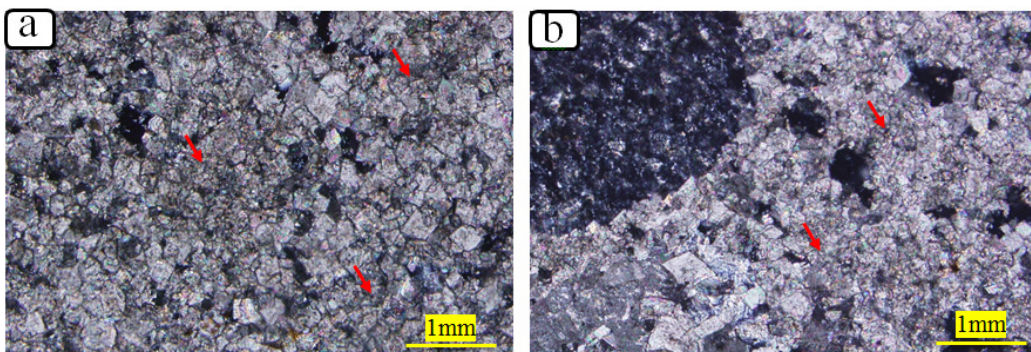
دولومیت‌های متوسط بلور (دلومیکرواسپارایت‌ها): در نمونه‌های مورد مطالعه، دولومیت‌های متوسط بلور بصورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و در اندازه‌های بین ۲۰ تا ۱۰۰ میکرون شناسایی گردید (شکل ۱۴). دولومیت‌های متوسط بلور معمولاً از تبلور مجدد دولومیت‌های ریز بلور ایجاد می‌شوند (آدابی، ۱۳۹۰). وجود لکه‌هایی از دولومیت‌های ریزبلور در بین دولومیت‌های متوسط بلور تأییدی بر این نظریه است (آدابی و رآو، ۱۹۹۶). این نوع از دولومیت‌ها معادل فابریک Idiomatic-P گرگ و سیبلی (۱۹۸۴) و دولومیت‌های Planar-P مازالو (۱۹۹۲) می‌باشد (آدابی، ۱۳۹۰).

دولومیت‌های درشت بلور (دلواسپارایت‌ها): در مقاطع مورد مطالعه این نوع از دولومیت‌ها به صورت موزائیک‌های نیمه شکل‌دار و شکل‌دار و در اندازه‌های بیش از ۲۰۰ میکرون مشاهده گردید (شکل ۱۵). این نوع از دولومیت‌ها عمدتاً به صورت موزائیک‌های هم اندازه با مرزهای مشترک بین‌بلوری مستقیم بوده و در مواردی فصل مشترک سطوح کریستالی به خوبی حفظ شده است. این نوع دولومیت‌ها معادل فابریک Idiomatic-S گرگ و سیبلی (۱۹۸۴) و دولومیت‌های Planar-P مازالو (۱۹۹۲) می‌باشند.



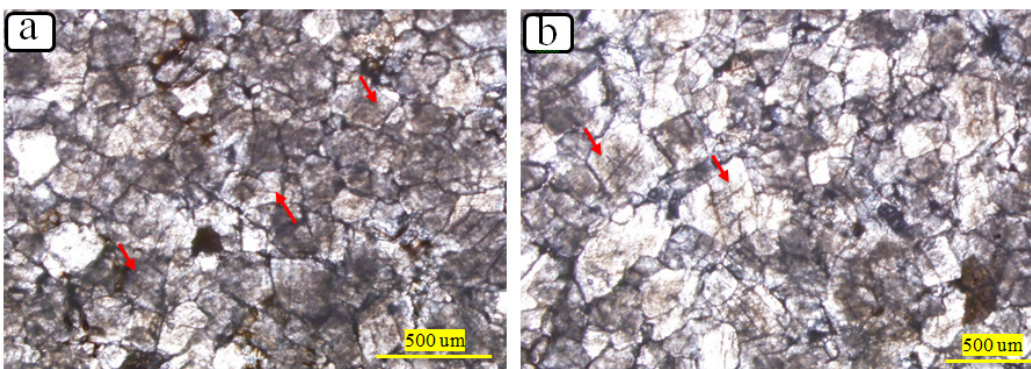
شکل ۱۳. a: ریزخساره مادستون دولومیتی (دولومیکرایت) فاقد فسیل. b: دولومیکرایت حاوی قطعات اینتراکلیست (پیکان‌های قرمز رنگ) و دانه‌های آواری کوارتز (پیکان‌های زرد رنگ). c: تصویر میکروسکوپ الکترونی تصویر a.

Fig. 13. a: Fossil-barren dolomitic mudstone microfacies (dolomicrite). b: Dolomicrite containing intraclast fragments (red arrows) and detrital quartz grains (yellow arrows). c: Electron micrograph of image a.



شکل ۱۴. a و b: دولومیت‌های متوسط بلور. پیکان‌های قرمز رنگ بقایایی از بافت اولیه دولومیت‌های ریزبلور (دولومیکرایت) می‌باشند.

Fig. 14. a and b: Medium-sized crystalline dolomites. The red arrows indicate remnants of the primary texture of microcrystalline dolomites (dolomicrite).



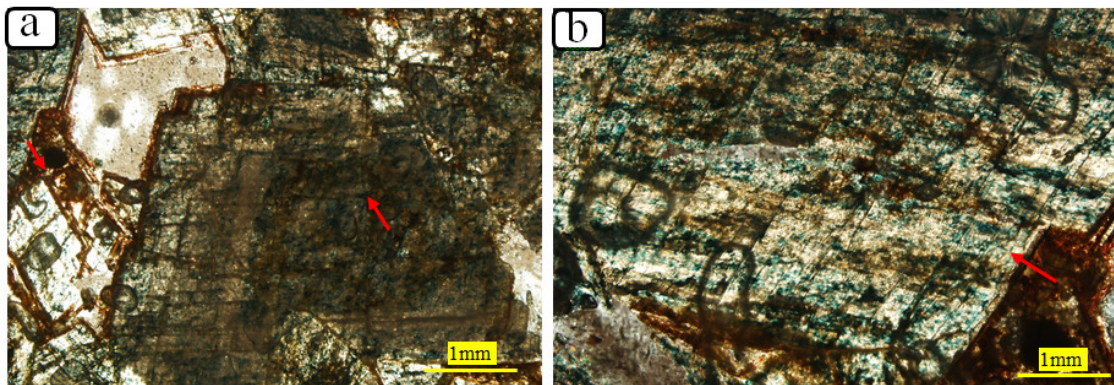
شکل ۱۵. a و b: دولومیت‌های درشت بلور شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار (پیکان‌های قرمز رنگ).

Fig. 15. a and b: Euhedral to subhedral coarse-crystalline dolomites (red arrows).

دولومیت پر کننده شکستگی نوع باروک

در مقاطع مورد مطالعه این نوع از دولومیت‌ها به صورت بی‌شکل، نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار و در اندازه‌های چندین بلور (بیش از چند میلی‌متر) به صورت پر کننده شکستگی‌ها و حفرات سنگ مشاهده گردید (شکل ۱۶). دولومیت پر کننده شکستگی‌ها که به صورت سیمان تدفینی عمل می‌کند در اعماق متوسط تا نسبتاً زیاد و بعد از فرآیند انحلال تشکیل می‌شوند. دولومیت‌های تشکیل

شده در شرایط تدفینی عمیق به طور معمول می‌توانند ابعاد بلوری متفاوت و فابریک‌های متنوعی داشته باشند که این موضوع بستگی به اندازه فضا‌های خالی سنگ دارد (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۷). رنگ‌آمیزی این نوع از دولومیت‌های شناسایی شده در مقاطع مورد مطالعه با محلول فروسیانید پتاسیم نشان داد که دولومیت‌های تدفینی نسبتاً عمیق دارای آهن (Fe) در ترکیب خود می‌باشند که این موضوع می‌تواند به دلیل احیا بودن محیط دیاژنتیکی باشد.



شکل ۱۶. a و b: دولومیت‌های درشت بلور آهن‌دار نوع باروک (پیکان‌های قرمز رنگ). مقاطع با فروسیانید پتاسیم رنگ آمیزی شده‌اند و رنگ آبی فیروزه‌ای این نوع از دولومیت‌ها بیانگر تشکیل در محیط تدفینی و احیاء می‌باشد.

Fig. 16. a and b: Baroque iron-bearing coarse-crystalline dolomites (red arrows). Sections have been stained with potassium ferrocyanide, and the turquoise-blue color of this type of dolomite indicates formation in a reducing burial environment.

۴-۴- زمین‌شیمی عنصری دولومیت‌ها

تمرکز عناصر اصلی و فرعی در دولومیت‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است. دولومیتی شدن در محیط‌های تدفینی به این صورت اتفاق می‌افتد که با افزایش عمق و بالارفتن دما نسبت منیزیم (Mg) لازم برای تشکیل دولومیت افزایش پیدا می‌کند (تاکر و رایت، ۱۹۹۰). همچنین رنگ‌آمیزی این نوع از دولومیت‌های شناسایی شده با محلول فروسیانید پتاسیم نشان داد که دولومیت‌های تدفینی دارای آهن (Fe) در ترکیب خود می‌باشند که این موضوع می‌تواند به دلیل احیا بودن محیط دیاژنتیکی باشد. میانگین تمرکز عنصر آهن در دولومیت‌های درشت‌بلور مورد آنالیز ۰/۰۶ درصد می‌باشد. تمرکز بالای استرانسیم (۰/۷۳ درصد وزنی) در دولومیکرایت‌ها می‌تواند به دلیل فرایندهای دیاژنزی باشد که بر روی پوسته‌های آراگونیتی برخی دوکفه‌ای‌ها، فرامینفرهای بنتیک و برخی جلبک‌های سبز در نمونه‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شود. به طور کلی دولومیت‌هایی

که جایگزین آراگونیت می‌شوند نسبت به آن‌هایی که جانشین کلسیت می‌شوند مقدار Sr بالاتری دارند. (هامفری، ۱۹۸۸) بر این باور است که مقادیر بالای Sr در دولومیت‌ها نشان از دولومیتی شدن آهک‌های آراگونیتی در محیط‌های به نسبت بسته دیاژنزی دارد. تمرکز استرانسیم (Sr) به طور میانگین در دولومیت‌هایی که در محیط‌های تبخیری 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 دیاژنز تدفینی باشد (وایزر، ۱۹۸۳؛ لند، ۱۹۹۱؛ ژسک و همکاران، ۲۰۱۲). دولومیت‌های اولیه (دولومیت‌های رسوبی) دارای مقادیر پایین Fe و Mn و مقادیر بالای Sr و Na می‌باشند (جدول ۱)، در حالی که دولومیت‌های ثانویه (دولومیت‌های دیاژنزی) دارای تمرکز بالایی از Fe و Mn و مقادیر کمتری Sr و Na نسبت به دولومیت‌های اولیه دارند که این موضوع دلالت بر محیط تدفینی دیاژنزی کم عمق تا متوسط برای دولومیت‌های ثانویه می‌باشد (ینگ و همکاران، ۲۰۱۷). مهمترین منبع

عنصری برش‌های مورد مطالعه این موضوع را تأیید می‌کنند. منشأ منیزیم در دولومیت‌های ریزبلور (دولومیکرایت) اغلب از آب دریا است (آدابی، ۲۰۰۹). دولومیت‌های ریزبلور به دلیل هسته‌زایی فراوان و نرخ رشد سریع اغلب غنی از منیزیم هستند. از طرفی در طی فرآیند دولومیتی شدن مقادیر Mg/Ca به دلیل تشکیل دولومیت کاهش پیدا می‌کند، بنابراین مقدار Mg در دولومیت‌های درشت بلور کمتر از سایر دولومیت‌هاست، به گونه‌ای که دولواسپاریت‌ها نسبت به دولومیکرایت‌ها مقدار Mg کمتری دارند (آدابی، ۲۰۰۹).

تأمین کننده Mg دولومیت‌های اولیه و ثانویه به ترتیب سیالات دریایی و سیالات دیاژنزی می‌باشند. در دولومیت‌های اولیه منیزیم از طریق پمپاژ آب دریا به درون پلت‌فرم‌های کربناته کم عمق در زمان پالئوسن-ائوسن رخ داده است و در دولومیت‌های نوع ثانویه منیزیم از طریق آزاد شدن تبدیلات کانی‌های رسی به یکدیگر در واحدهای شیلی زیرین (سازند امیران) و یا از طریق آب‌های دریایی محبوس در طی دیاژنز تدفینی رخ داده است. شرایط حوضه‌ی رسوبی سازند تله‌زنگ در زمان پالئوسن-ائوسن در پهنه لرستان (جنوب تا جنوب‌باختری) تا حدودی یکنواخت بوده است. شواهد سنگ‌شناختی و زمین‌شیمی

جدول ۱. نتایج زمین‌شیمی عنصری دولومیت‌های مورد مطالعه (مقادیر بر حسب درصد وزنی می‌باشند).

Table 1. Results of elemental geochemistry of the studied dolomites (values are in weight percent).

Dolomites type	Samples	Ca	Mg	Fe	Mn	Sr	Na	C	O	Ca/Mg
Dolosparite	TZ-01	23.50	8.50	0.08	0.05	0.01	0.01	46.44	21.41	2.7647059
	TZ-02	21.00	9.20	0.05	0.04	1.02	0.02	23.07	45.60	2.2826087
	TZ-03	20.20	9.60	0.06	0.03	0.03	0.02	25.06	45.00	2.1041667
	Max	23.50	9.60	0.08	0.05	1.02	0.02	46.44	45.60	2.76
	Min	20.20	8.50	0.05	0.03	0.01	0.01	23.07	21.41	2.10
	Average	21.57	9.10	0.06	0.04	0.35	0.02	31.52	37.34	2.38
Dolomicrosparite	TZ-04	18.50	10.25	0.04	0.03	0.6	0.02	44.50	26.06	1.804878
	TZ-05	20.30	9.40	0.07	0.04	0.08	0.03	39.18	30.90	2.1595745
	TZ-06	21.70	9.80	0.01	0.01	1.2	0.04	28.22	39.02	2.2142857
	Max	21.70	10.25	0.07	0.04	1.20	0.04	44.50	39.02	2.21
	Min	18.50	9.40	0.01	0.01	0.08	0.02	28.22	26.06	1.80
	Average	20.17	9.82	0.04	0.03	0.63	0.03	37.30	31.99	2.06
Dolomicrite	TZ-07	22.00	11.50	0.01	0.01	1.09	0.05	24.04	41.30	1.9130435
	TZ-08	20.60	12.15	0.04	0.01	1.07	0.08	42.65	23.40	1.6954733
	TZ-09	22.90	11.30	0.05	0.02	0.04	0.05	22.90	42.74	2.0265487
	Max	22.90	12.15	0.05	0.02	1.09	0.08	42.65	42.74	2.03
	Min	20.60	11.30	0.01	0.01	0.04	0.05	22.90	23.40	1.70
	Average	21.83	11.65	0.03	0.01	0.73	0.06	29.86	35.81	1.88

تأثیر فرایندهای دیاژنتیکی تأخیری باشد به نظر می‌رسد که دولومیت‌های نوع اول (دولومیکرایت‌ها) تحت شرایط سطحی، دمای پایین و در محیط بین جزرومدی تشکیل شده باشند (گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ آدابی، ۲۰۰۹). دولومیت‌های نوع دوم و سوم بر اثر تبلور مجدد و یا جاننشینی دولومیت‌های خیلی ریز بلور تشکیل شده‌اند. مقادیر پایین استرانسیم و به نسبت بالاتر آهن و منگنز در دولومیت‌های درشت بلورتر، بیانگر افزایش اندازه بلورهای

۴-۵- مدل دولومیتی شدن سازند

دو نوع دولومیت، همزمان با رسوبگذاری (دولومیکرایت‌ها) و دولومیت‌های ثانویه (دولومیکرواسپاریت‌ها، دولواسپاریت‌ها و دولومیت‌های نوع باروک آهن‌دار) در توالی‌های کربناته سازند تله‌زنگ تشخیص داده شد. با توجه به فابریک و اندازه خیلی ریز بلورهای دولومیت، حفظ بافت‌های اولیه رسوبی، عدم فسیل و کانی‌های تبخیری و همچنین نبود شواهدی که نشان‌دهنده تشکیل آن‌ها تحت

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 آلوم‌ها 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. دولومیت‌های باروک آهن‌دار آخرین نسل از دولومیت‌ها می‌باشند که در نمونه‌های سازند تله‌زنگ شکل گرفته‌اند و تخلخل حاصل از شکستگی‌ها را پر کرده‌اند. برای دولومیتی شدن اولیه و یا همزمان با رسوب‌گذاری، تنها منشأ منیزیم، آب دریا است (لند، ۱۹۸۵؛ آدابی، ۲۰۰۹؛ رن و جونز، ۲۰۱۷؛ شانلی و همکاران، ۲۰۱۸). این منشأ تنها برای دولومیت‌های نوع یک در نظر گرفته می‌شوند که در نزدیک سطح و تحت شرایط دمایی پایین در یک پهنه جزرومدی 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 تأمین می‌باشد که از میان آن‌ها می‌توان به آب‌های دریایی محبوس یا آب‌های درون روزنه‌ای و دیاژنز کانی‌های رسی در طی تدفین در نظر گرفت. در نهایت با توجه به شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی، دولومیت‌های سازند تله‌زنگ را می‌توان از مدل جزرومدی، تراوش و سپس دفن کم عمق، متوسط تا نسبتاً عمیق در نظر گرفت (شکل ۱۷).

در رسوبات سازند تله‌زنگ، موقعیت دولومیت‌ها نسبت به دو سازند امیران (دریایی دور از ساحل) و کشکان (قاره‌ای) باعث می‌شود ژنز، بافت و فرایندهای دولومیتی‌شدن متفاوت باشند. بخش‌های زیرین سازند تله‌زنگ که در مجاورت سازند امیران (سازند دریایی دور از ساحل) قرار گرفته است، یک محیط رسوبی نیمه‌عمیق تا دور از ساحل بوده است. در این حالت سیالات دولومیت‌زا منشأ دریایی و دارای Mg بالا هستند. دولومیتی‌شدن غالباً همزمان با رسوبگذاری یا اوایل دیاژنز است. آب دریا با Mg بالا باعث ایجاد دولومیت‌های ریزبلور و یکنواخت‌تر شده است. از نظر ترکیبات شیمیایی (عنصری) بخش‌های زیرین سازند تله‌زنگ در مجاورت با سازند امیران دارای نسبت Mg/Ca بیشتری هستند در حالی که دولومیت‌های بخش بالایی سازند تله‌زنگ در تماس با سازند کشکان به دلیل تأثر

آب‌های جوی و رقیق‌شدگی دارای تمرکز کمتری از نسبت Mg/Ca هستند. بخش‌های بالایی سازند تله‌زنگ که در مجاورت سازند کشکان (به عنوان یک سازند قاره‌ای) قرار گرفته است یک محیط رسوبی قاره‌ای با نفوذ آب‌های متئوریک همراه بوده است. در این شرایط سیالات دولومیت‌زا منشأ متئوریکی- دیاژنتیکی دیررس دارند. دولومیتی‌شدن غالباً دیررس^۲ است. میزان Mg سیالات کمتر بوده، بنابراین کریستال‌ها درشت‌تر و ناهمگن‌تر می‌شوند. به طور کلی ویژگی دولومیت‌های زیرین سازند تله‌زنگ (نزدیک سازند امیران): دولومیتی‌شدن دریایی، اولیه، Mg بالا، ریزبلور و بافت یکنواخت و ویژگی دولومیت‌های بالایی سازند تله‌زنگ (نزدیک سازند کشکان): دولومیتی‌شدن قاره‌ای، دیررس، منشأ آب متئوریک، درشت‌بلور و ناهمگن هستند. از جمله پژوهش‌هایی که بر روی فرآیندهای دیاژنزی، زمین‌شیمی عنصری و مدل دولومیتی‌شدن سازند تله‌زنگ در مناطق همجوار صورت گرفته است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

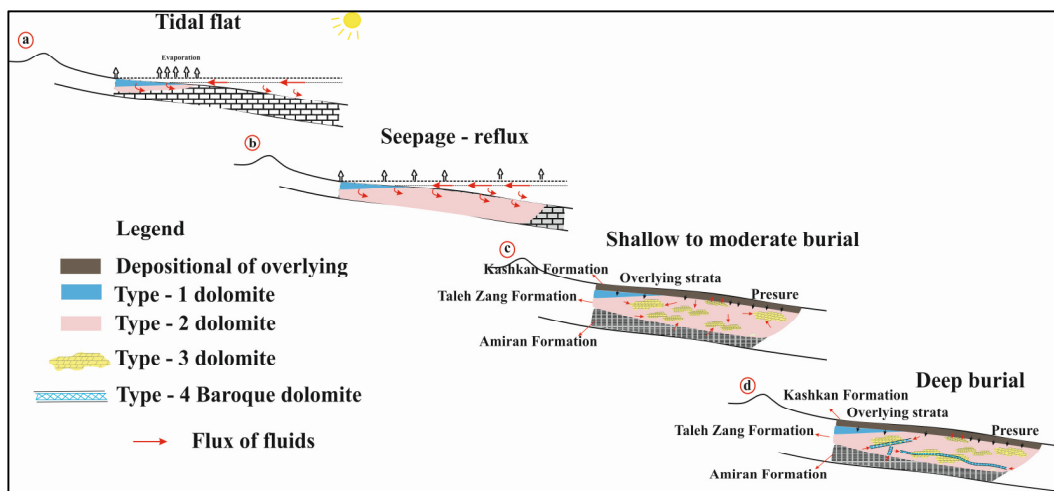
شالوند و همکاران (۱۳۹۸)، محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی و زمین‌شیمی عنصری سازند تله‌زنگ را در جنوب کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، محیط رسوبی رمپ کربناته، یک توالی رسوبی رده سوم با دسته رخساره‌های TST و HST، و سیستم دیاژنز بسته تا باز با تبادلات آب به سنگ متوسط را برای سازند تله‌زنگ در این منطقه پیشنهاد دادند. شالوند و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه دیگری سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی و مدل دولومیتی‌شدن سازند تله‌زنگ را در جنوب و جنوب باختر کرمانشاه مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، چهار نوع دولومیت شناسایی گردید. مدل دولومیتی‌شدن سازند تله‌زنگ در مناطق مورد مطالعه به مدل سب‌خا نسبت داده شده است و مقادیر بالای عنصر آهن و منگنز در این دولومیت‌ها را به دیاژنز کانی رسی اسمکتیت مربوط می‌دانند. مغفوری‌مقدم و صداقت‌نیا (۱۴۰۲)، محیط رسوبی دیرینه، چینه‌نگاری سکانسی و زمین‌شیمی عنصری سازند تله‌زنگ را در جنوب خاوری پهنه لرستان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش منجر به شناسایی چهار کمربند رخساره‌ای پهنه جزرومدی، لاگون، سد و دریای باز مربوط به بخش‌های رمپ داخلی تا میانی گردید. در این برش یک توالی رسوبی رده

^۲ Late diagenetic

در زمان پالئوسن، سبب کوهزایی ترشیری در زاگرس شده است که این کوهزایی به صورت پی در پی سبب تشکیل یک گوه رسوبی شده است که این گوه به سمت ورقه عربی در حال گسترش است (حسامی و همکاران، ۲۰۰۱). عقب راندگی گوه رسوبی به سمت ورقه عربی به تدریج سبب تشکیل حوضه‌های رسوبی کم‌عمقی شده است که سازند تله‌زنگ با سنگ‌شناسی غالب سنگ‌آهک و سنگ‌آهک دولومیتی در زمان پالئوسن-ائوسن در این حوضه‌ها رسوب کرده است. این برخورد سبب تشکیل رشته‌کوه‌های زاگرس با روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری شده است و روند دولومیتی شدن سازند تله‌زنگ در امتداد روند رشته - کوه‌های زاگرس در لرستان (شمال‌باختری- جنوب‌خاوری) می‌باشد. لذا با توجه به اینکه بیشترین گسترش سازند تله‌زنگ در پهنه رسوبی لرستان می‌باشد، لذا با توجه به مطالعات صورت گرفته و روند ساختاری رشته‌کوه‌های زاگرس لرستان از نظر ساختاری و هیدرودینامیک سیالات دخیل در دولومیتی شدن سازند تله‌زنگ می‌توان گفت که روند دولومیتی شدن به صورت شمال‌باختری- جنوب خاوری بوده و از روند رشته‌کوه‌های زاگرس لرستان تبعیت کرده است.

سوم با دسته رخساره‌های TST و HST برای این سازند مشخص گردید. همچنین شواهد زمین‌شیمی عنصری منجر به شناسایی یک سیستم دیاژنزی بسته تا کمی باز به صورت ضعیف با تبادل آب به سنگ پایین برای کربنات‌های سازند تله‌زنگ در منطقه مورد مطالعه تعیین گردید.

نصیری و همکاران (۱۴۰۴) فرآیندهای دیاژنزی، زمین‌شیمی عنصری و مدل دولومیتی شدن نهشته‌های سازند تله‌زنگ را در شمال شرق شهرستان کوه‌دشت (حوضه رسوبی لرستان) مورد مطالعه قرار دادند. توالی پاراژنتیکی نهشته‌های سازند تله‌زنگ در این برش در چهار محیط دریایی، تدفینی، بالاآمدگی و آب شیرین تفسیر شده است، و طی سه مرحله دیاژنزی اولیه (ائوژن)، میانی (مزوژن) و نهایی (تلوژن) اتفاق افتاده است. مدل دولومیتی شدن سازند تله‌زنگ در این برش به مدل جزرومدی، تراوش و سپس دفن کم عمق تا متوسط و عمیق نسبت داده شده است. مقایسه مدل دولومیتی شدن سازند تله‌زنگ در برش‌های مورد مطالعه با مطالعات انجام گرفته توسط سایر پژوهشگران نشان می‌دهد که در روند دولومیتی شدن سازند تله‌زنگ در حوضه رسوبی لرستان یک روند یکنواخت بوده است. برخورد صفحه عربی به صفحه ایران



شکل ۱۷. مدل دولومیتی شدن سازند تله‌زنگ در برش‌های مورد مطالعه (بدون مقیاس)

Fig. 17. Model of dolomitization of the Taleh-Zang Formation in the studied sections (not to scale).

۵- نتیجه‌گیری

هم‌بعد، سیمان کلسیت بلوکی و سیمان کلسیت دروزی)، فشردگی (فیزیکی و شیمیایی)، انحلال و تخلخل و جان‌شینی (دولومیتی شدن، پیریتی شدن و سیلیسی شدن) شد. براساس شواهد سنگ‌شناسی، توالی پاراژنتیکی نهشته‌های سازند تله‌زنگ در این برش‌ها در چهار محیط

مطالعات سنگ‌شناسی بر روی برش‌های مورد مطالعه منجر به شناسایی فرآیند متعدد دیاژنزی مانند میکرایتی شدن، نوریکتی (افزایشی و کاهشی)، سیمانی شدن (سیمان کلسیت هم‌ضامت، رشد اضافی هم‌محور، سیمان کلسیت

- Sarvak Formation in an oil field in the Abadan Plain, SW Iran. *Facies*, 62(4): 1-22.
- Assadi, A., Rahimpour-Bonab, H., and Kadkhodaie-Ilkhchi, R. (2018) Integrated rock typing of the grainstone facies in a sequence framework: a case from the Jurassic Arab formation in the Persian Gulf. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 92(4): 1432-1450.
- Borgomano, J., Lanteaume, C., Leonide, P., Fournier, F., Montaggioni, L. F., and Masse, J. P. (2020) Quantitative carbonate sequence stratigraphy: Insights from stratigraphic forward models. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 104(5): 1115-1142.
- Bathurst, R. G. C. (1975) Carbonate Sediments and their Diagenesis: Developments in Sedimentology. 2nd Edition, Elsevier, Amsterdam, 12: 658 p.
- Biernacka, J. K., Borysiuk, and Raczyński, P. (2005) Zechstein (Ca1) limestone-marl alternations from the North-Sudetic Basin Poland, depositional or diagenetic rhythms? *Geological Quarterly*, 49: 1-14
- Butler, I. B., Rickard, D. (2000) Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II) monosulfide by hydrogensulphide, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64: 2665-2672.
- Diaz, M. R., Eberli, G. P. (2022) Microbial contribution to early marine cementation. *Sedimentology*, 69: 798-822.
- Dickson, J. A. D. (1965) A modified staining technique for carbonate in the thin section: *Nature*, 205: 587.
- Cooke, M. L., Simo, J. A., Underwood, C. A. and Rijken, P. (2006) Mechanical Stratigraphic controls on fracture patterns within carbonates and implications for groundwater flow. *Sedimentary Geology*, 184: 225-239.
- Davoodi, S., Asadolahi Shad, S., Tavakoli, V. (2024) A fresh look at the Lucia classification using mud- and grain-dominated reservoirs of the Persian Gulf. *Geoenergy Science and Engineering*, 232: 212437. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212437>.
- Earler, D. V., Nothdurft, L., McNeil, M. and Moras, C. A. (2018) Tracing nitrate sources using the isotopic composition of skeletal-bound organic matter from the calcareous green algae *Halimeda*. *Coral Reefs*, 37: 1003-1011. <https://doi.org/10.1007/s00338-018-01742-z>.
- El-Ghali, M. A., Shelukhina, O., Abbasi, I. A., Moustafa, M. S., Hersi, O. S., Siddiqui, N. A. (2024) Depositional and sequence stratigraphic controls on diagenesis in the upper cambrian-lower Ordovician Barik formation, central Oman: implications for prediction of reservoir porosity in a hybrid-energy delta system, *Marine and Petroleum Geology*, 160: 106611.
- Flügel, E. (2004) *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis Interpretation and Application*. Springer-Verlag, Berlin, 976p.
- دریایی، تدفینی، بالآمدگی و آب شیرین تفسیر شده است. از مهم ترین فرآیندهای دیاژنی در برش های مورد مطالعه، دولومیتی شدن می باشد که هم به صورت همزمان با رسوبگذاری و هم به صورت دیاژنی رخ داده است. دولومیت های اولیه دارای مقادیر پایین Fe و Mn و مقادیر بالایی از Sr و Na می باشند، در حالی که دولومیت های ثانویه دارای تمرکز بالایی از Fe و Mn و مقادیر کمتری Sr نسبت به دولومیت های اولیه دارند که این موضوع دلالت بر محیط تدفینی دیاژنی کم عمق تا متوسط و نسبتاً عمیق برای دولومیت های ثانویه می باشد. مطالعات سنگ شناسی و زمین شیمی عنصری بر روی دولومیت های سازند تله زنگ در برش های مورد مطالعه، محیط جزرومدی، تراوش، دفن کم عمق تا نسبتاً عمیق را برای دولومیت های این سازند پیشنهاد می کند.

References

- Abd-Elhameed, M., Attia, G., Salama, Y., El-Moghazy, A. Mahmoud, A. (2025) Microfacies analysis and diagenetic history of lower to middle eocene carbonates at Umm Russies area in the Northeastern desert of Egypt. *Scientific Reports* 15.
- Adabi, M. H. (2009) Multistage dolomitization of upper Jurassic Muzdur Formation, Kopet-Dagh basin, N.E. Iran: Carbonates and Evaporites, 24: 16-32.
- Akbarzadeh, S., Davoodi, S., Hosseinzadeh, S., Tavakoli, V. (2025) Integrated sedimentological and petrophysical analyses for improved reservoir characterization within a sequence stratigraphic framework, Fahliyan formation, southwest Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 229: 105699. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2025.105699>
- Ahmad, A. H. M., Bhat, G. M. (2006) Petrofacies, provenance and diagenesis of the Dhosa sandstone member (Chari Formation) at Ler, Kachch Sub – basin, Western, India, *Journal of Asian Earth Science*, 27: 857- 872.
- Alavi, M. (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforland evolution, *American Journal of Science*, 304: 1-20.
- Alishah, S. B., Alishah, S. H. (2026) Depositional model, cyclicity, and hydrocarbon potential of the Eocene Sakesar carbonate ramp, Salt Range, Pakistan. *Carbonates and Evaporites*, <https://doi.org/10.1007/s13146-026-01224-2>.
- Arosi, A. H., Wilson, M. E. J. (2015) Diagenesis and fracturing of a large-scale, syntectonic carbonate platform, *Sedimentary Geology*, 326: 109-134.
- Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S. A., and Abdollahie-Fard, I. (2016) Depositional environments and sequence stratigraphy of the

- Flügel, E. (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis Interpretation and Application*. Springer-Verlag, Berlin, 976p.
- 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 Publications, 13: 14-48.
- Geske, A., Zorlu, J., Richter, D. K., Buhl, D., Niedermayr, A. and 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.
- Goldhaber, M. B. (2004) Sulfur – rich sediment, In: Mackenzie F. T., (ED.), *Sediments, Diagenesis and Sedimentary Rocks, Treatise on Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, 257 – 288.
- Gregg, J. M., and Sibley, D. F. (1984) Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture: *Sedimentary Petrology*, 54: 908- 931.
- Gregg, J. M., and Shelton. K. L. (1990) Dolomitization and Dolomite Neomorphism in the Back Reef Facies of the Bonnetterre and Davis Formations (Cambrian), Southeastern Missouri. *Sedimentary Research*, 60: 549-562.
- Heydari, E., and Wade, W. (2014) Massive recrystallization of low – Mg calcite at high temperatures in hydrocarbon source rocks: Implication for organic acids as factors in digenesis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 86: 1285 – 1303.
- Hezarkhani, Y., Tavakoli, V. (2025) Heterogeneity dynamics: influencing rock type responses to overburden pressure, Permian–Triassic of the Persian Gulf. *Petrology Science Technology*, 43 (21): 2982–3001.
- Humphrey, J. D. (1988) Late Pleistocene mixing zone dolomitization, south-eastern Barbados, West Indies, *Sedimentology*, 35: 327-348.
- Huo, H., Liu, C., Zhao, A., Li, W., Awan, R. S., Yi, T. (2025) Evaluation of movable fluid and controlling factors in lacustrine gravity-flow tight sandstone reservoirs: implications for predicting reservoir quality. *Asian Earth Sciences*, 277: 106374.
- Hollis, C., Lawrence, D. A., de Periere, M. D., and Al Darmaki, F. (2017) Controls on porosity preservation within a Jurassic oolitic reservoir complex, UAE. *Marine and Petroleum Geology*, 88: 888-906.
- Krause, S., Liebetrau, V., L€oscher, C., B€ohm, F., Gorb, S., Eisenhauer, A. and Treude, T. (2018) Marine anmonification and carbonic anhydrase activity induce rapid calcium carbonate precipitation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 243: 116–132.
- James, G. A. and Wynd, J. G. (1965) *Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium, Agreement Area*, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49(12): 2182-2245.
- Hessami, K., Koyi, H. A., Talbot, C. J., Tabasi, H. Shabanian, E. (2001) Progressive unconformities within an evolving foreland fold–thrust belt, Zagros Mountains. *Journal of the Geological Society, London*, 158: 969–981.
- 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.
- Longman, M. W. (1980) Carbonate diagenetic textures from nearsurfacediagenetic environments. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 64: 461-487.
- Madlen, R. and Wilson, M. (2013) Diagenesis of a SE Asian Cenozoic carbonate platform margin and its adjacent basinal deposits, *Sedimentary Geology*, 286–287: 20–38.
- Maghfouri Moghaddam, I., and Sedaghatnia, M. (2023) Paleosedimentary environment, sequence stratigraphy and geochemistry of the Talehzang Formation in Ritt anticline, southeastern Lorestan basin. *Stratigraphy and Sedimentology Researches*, (39)2. (in Persian).
- Maghfouri Moghaddam, I., Samehr, R., Ghobishavi, A. (2008) Stratigraphy of the Taleh Zang Formation in the type and Kialu sections, South Lorestan. *Journal of Basic Sciences*, 5: 22-38, (in Persian).
- Mazzollo, S. J. (1992) Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: a review: *Carbonates and Evaporites*, 7: 21–37.
- Messadi, A. M., Mardassi, B., Ouali, J. A., Touir, J. (2016) Sedimentology, diagenesis, clay mineralogy and sequential analysis model of Upper Paleocene evaporite-carbonate ramp succession from Tamerza area (Gafsa Basin: Southern Tunisia): *African Earth Sciences*, 118: 205-230.
- Motiei, H. (2003) *Geology of Iran (Zagros stratigraphy)*, publication of the geological organization, P. 583, (in Persian).
- Moore, C. H. (2013) *Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework*, Elsevier, Amsterdam. 370 pp.
- Murris, R. J. (1980) Hydrocarbon habitat of the Middle East, *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 6: 765-800.
- Nasiri, Y., Taghdisi-Nikbakht, S., Sedaghatnia, M., Mahhah, M. (2025) Diagenesis processes,

- elemental geochemistry and dolomitization model of Paleocene- Middle Eocene Zagros deposits (Talehzang Formation, Lorestan sedimentary basin, north of Kohdasht), *Applied Sedimentology*, 13 (25).
- Olmez, J. A., Busch, B., Hilgers, C. (2024) Reservoir quality of Upper Cretaceous limestones (Ahlen Fm., Beckum Member, Münsterland Cretaceous Basin): effects of cementation and compaction on the compactable depositional volume. *International Journal of Earth Science*, 113 (8): 2207–2232. <https://doi.org/10.1007/s00531-024-02411-z>.
- Pettijohn, F. J. (1975) *Sedimentary Rocks*. Harper & Row, New York. 628 pp.
- Piryaei, 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).
- Purser, B. H. (1978) Early diagenesis and the preservation of porosity in Jurassic limestone. *Petroleum Geology*, 1: 83-94.
- Rao, C. P. (1996) *Modern Carbonates: Tropical, Temperate and Polar: Introduction to Sedimentology and Geochemistry Carbonates*, Hobart (Tasmania), 206 p.
- Ren, M. and 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.
- Ronchi, P., Jadoul, F., Ceriani, A., Giulio, A. D., Scotti, P., Ortenzi, A. and Massara, E. P. (2011) Multistage dolomitization and distribution of dolomitized bodies in Early Jurassic carbonate platforms (Southern Alps, Italy), *Sedimentology*, 58: 532–565.
- Saadat, K., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Gholinezhad, J. (2024) Experimental investigation and prediction of saturation exponent in carbonate rocks: the significance of rock–fluid properties. *J. Pet. Exploration Production Technology*, 14: 149–163. <https://doi.org/10.1007/s13202-023-01714-2>.
- 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.
- San Miguel, G., Aurell, M. and Bádenas, B. (2017) Diagenetic evolution of a shallow marine Kimmeridgian carbonate ramp (Jabaloyas, NE Spain): implications for hydrocarbon reservoir quality. *Arabian Journal of Geosciences*, 10 (16): 376 p.
- Seibel, M. J., James, N. P. (2017) Diagenesis of Miocene, incised Valley – filling limestones: Provence Southern France. *Sedimentary Geology*, 347: 21 – 35.
- Sibley, D. F., Gregg, J. M. (1987) Classification of dolomite rock textures, *Sedimentary Petrology*, 57: 967–975.
- Shalalvand, M., Adabi, M. H., Zohdi, A. (2019) Petrography, geochemistry and dolomitization model of the Talehzang Formation (upper Paleocene- lower Eocene) in south and southwest of Kermanshah. *Journal of Applied Sedimentology*, (7)13: 149-166 (in Persian).
- Shunli, Zh., Zhengxiang, Lv., Yi, W., Sibing, L. (2018) Origins and Geochemistry of Dolomites and Their Dissolution in the Middle Triassic Leikoupo Formation, Western Sichuan Basin, China. *Minerals* 2018, 8: 289.
- Trippetta, F., Gambelli, A. M., Minelli, G., Castellani, B. and Rossi, F. (2023) Sustainability of CO₂ replacement processes in marine hydrate reservoirs: factors causing changes on mechanical properties of Gas-Hydrate after CO₂/ CH₄ exchange. *Process Safety and Environmental Protection*, 179: 628–639. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.09.016>.
- Tucker, M. E. and Wright, V. P. (1990) *Carbonate Sedimentology*: Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482 p.
- Tucker, M. E., and Wright, V. P. (1991) *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482p.
- Tucker, M. E. (2001) *Sedimentary Petrology*. 3rd Edition, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 260 p.
- Valencia, F. L. and Laya, J. C. (2020) Deep-burial dissolution in an Oligocene– Miocene giant carbonate reservoir (Perla Limestone), Gulf of Venezuela Basin: Implications on microporosity development. *Marine and Petroleum Geology*, 113.
- Van Buchem, F. S. P., Allan, T., Lausen, G. V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard, N., Tahmasbi, A.R., Vedrenne, V., Vincent, B. (2010) Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran, 329. *Geology Society, London. Special Publication*, 219–263.
- Veizer, J. (1983) Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element techniques. In *Stable isotopes in sedimentary geology*: Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482p.
- Vincent, B., Rigollet, C., Cochard, J., Khalil, S., Mejia-Duran, A. F., Grégoire, D., Beaudoin, N. E., Brigaud, B., Blaise, T., Reuschle, T., Pellenard, P., Landrein, P. (2025) Multi-stage micrite diagenesis in the late Jurassic of the

- Eastern Paris Basin: petrophysical and mechanical properties for engineering purposes. Geological Society Special Publications, 548 (1): 311-339.
- Westphal, H. (2006) Limestone – Marl alternation as environmental archives and the role of early diagenesis: a critical review. *International Journal of Science (Geology Rundsch)*, 95: 947-961.
- Wilson, M. E. J., Evans, M. J., Oxtoby, N. H., Nas, D. S., Donnelly, T. and Thirlwall, M. (2007) Reservoir quality, textural evolution and origin of fault-associated dolomites: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 91: 1247-1273.
- Wizemann, A., Nandini, S. D., Stuhldreier, I., Sanchez- Noguera, C., Wisshak, M., Westphal, H., Rixen, T., Wild, C. and Reymond, C. E. (2018) Rapid bioerosion in a tropical upwelling coral reef. *PLoS One*, 13, e0202887.
- Zeigler, M. A. (2001) Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences. *Geology Arabia*, 6(3): 445-504.
- Zachos, J. C., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. Billups, K. (2001) Trends, rhythms and aberrations in global climate 65 Ma to Present. *Science*, 292: 686-693. <https://doi.org/10.1126/science.1059412>.
- Zaid, S. M. (2012) Provenance, diagenesis, tectonic setting and geochemistry of Rudies sandstone (lower Miocene), Warda Field, Gulf of Suez, Egypt. *African Earth Science*, 66: 56- 71.
- Zhang, H., Ding, L., Wang, X., Wang, L., Wang, Q. and Xia, G. (2006) Carbonate Diagenesis Controlled by Glacioeustatic Sea-Level Changes: A Case Study from the Carboniferous-Permian Boundary Section at Xikou, China. *China University Geoscience*, 17: 103- 114.