



Evaluation of complications caused by burial diagenetic processes in carbonate formations (Case study, Lorestan sedimentary basin formations)

Mostafa Sedaqhat Nia^{*1}, Iraj Moghafouri Moghadam², Khirolah Mohammadi³ and Mohammad Mallah¹

1- Ph.D. Student, Dept. of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Prof., Dept. of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran

3- M.Sc. Student. Dept. of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran

ARTICLE INFO

Article type:

Original Research

Article history:

Received: 2024 July 9

Accepted: 2024 October 14

Keywords:

Physical density

Chemical density

Carbonate rocks

Textural changes

ABSTRACT

In this research, the carbonate formations of the 2nd and 3rd periods of Lorestan sedimentary basin have been studied. In this research, more than 800 sedimentary thin sections have been lithological studied. Complications caused by burial diagenesis fall into two groups: physical and chemical compression. Among the complications caused by physical compaction in carbonate rocks are types of contact between grains (point, longitudinal, convex-concave), creation of grain-to-grain fabric (fitted fabric), telescopic rotation of grains, reduction of porosity in larger grains due to the change of packing from cubic to rhombohedra grains, placing of long grains parallel to the layering surfaces, thinning of allochem shells, in-situ breakage of grains. Cracking of the shell of allochem and penetration of cement into the grains, breaking of micrite coating - grain and cement, breaking of iodine coatings, spautolization of ooids grains, crushing of peloids, falling of micrite coatings, grain fracture. Caused by the recrystallization of cement crystals, the fracture of the rock base, and the creation of porosity and plastic deformation of the grains. Complications of pressure dissolution are placed in several categories of dissolution joints, dissolution veins, stylolites and stylomottle. Among the effects of compressive dissolution caused by the effect of stylolites are grain dissolution and removal of a part of it, rock bed dissolution, cement dissolution, dissolution of dolomite crystals during burial diagenesis, dissolution of unstable grains and creation of tangled fabric due to chemical compaction. Severe and the formation of burial cement between the grains, creation of diagenetic barriers through chemical deposition of insoluble materials along it, formation of nodules of insoluble materials at the top of stylolites, multi-stage stylolitization, movement of grains relative to each other, formation of diagenetic nodules through the pointed out the formation of stylolites, displacement of fractures, dolomitization through stylolites ducts, creation of stylolites porosity and excessive entanglement of grains due to intense pressure-dissolution action.

DOI: <https://doi.org/10.22084/NFAG.2024.29849.1634>

Corresponding author: Mostafa Sedaqhat Nia, E-mail: Mostafasedaghat1364@gmail.com

Cite this article: Mostafa Sedaqhat Nia, Iraj Moghafouri Moghadam, Khirolah Mohammadi and Mohammad Mallah (2026). Evaluation of complications caused by burial diagenetic processes in carbonate formations (Case study, Lorestan sedimentary basin formations), New Findings of Applied Geology, Vol. 20, No. 39, pp: 1-17.



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

After sediments or carbonate rocks pass through the marine and meteoric diagenesis environment during burial, they are placed in the burial diagenesis environment. In this environment, other factors and processes related to surface areas (marine and meteoric) do not have influence. The burial diagenesis environment is called deep phreatic or mesogenic. An important part of the life of carbonate sediments is spent in this environment, and only erosion or tectonic uplift can cause these sediments (or rocks) to be redeployed in surface (meteoric) environments. If the sediments in the previous environments have not fully endured diagenesis and petrification, they become petrified and lose most of their porosity (Rahimpour Bonab, 2010). Burial diagenesis includes any change or set of changes that takes place below the diagenesis zone close to the surface and above the low-grade metamorphic environment in sediments and rocks. These ranges are different in different environments and even in different parts of the same basin. Burial diagenesis is under the control of overburden pressure of upper younger strata, and other important controlling factors in the burial diagenesis environment include hydrology, chemistry of pore fluids, pressure and temperature. The dominant processes, environmental conditions, time, location and main products of burial diagenesis are completely different from near-surface diagenesis. Much more complex processes are active in the burial diagenesis environment. The most important of these processes include physical compaction and water loss, chemical compaction (pressure-dissolution), cementation, underground dolomitization, change of hydrated minerals to non-hydrated types, thermal reactions of stabilizing minerals, the transformation and maturation of organic matter that causes the production of hydrocarbons and organic acids. The long-term general trend in the burial environment is the increasing reduction of porosity by compaction and cementation, which occurs with increasing temperature and pressure in the presence of pore water. Effective factors in burial diagenesis are divided into two internal

and external groups. The most important internal factors controlling burial diagenesis are sediment mineralogy, organic materials and clay minerals. Among the external factors effective in burial diagenesis, we can mention lithostatic pressure, hydrostatic pressure and linear or directional pressure (Rahimpour Banab, 2019).

Materials and Methods

In this research, more than 800 sedimentary thin section samples of carbonate rocks of Lorestan sedimentary basin formations (Garu, Sarvak, Surgah, Ilam, Gurpi, Talehzang, Shahbazan, Asmari and carbonate units of Gachsaran formation) were examined by microscope Olympus-BH2 optics and lenses number 4 and 10 have been studied. In this study, stylolites were also imaged under an electron microscope (SEM). Classification (Dunham, 1962) has been used to name carbonate rocks.

Results and Discussion

Among the complications caused by physical compaction in carbonate rocks are types of contact between grains (point, longitudinal, convex-concave), creation of fitted fabric, telescopic rotation of grains, The reduction of porosity in larger grains, due to the change of packing from cubic to rhombohedral grain, placement of long grains parallel to the layering surfaces, thinning of the grain shell, in-situ fracture of the grain, fracture of the grain shell and penetration of cement into the grain, fracture of micrite coating - grain and cement, fracture He pointed out iodine coatings, spastolites of ooids grains, crushing of ooids, grain breakage due to recrystallization of cement crystals, fracture of the rock base and creation of porosity and plastic deformation of grains. Also, mechanical compression may lead to the fall of micrite coatings, if the initial phase of dissolution has taken place in aragonite bioclasts. The complications caused by chemical condensation in carbonate rocks are very diverse. Among these complications that have been observed in the studied carbonate rocks are dissolution joints in the place of grain contact, dissolution veins, very compact fabric and entanglement of grains due to intense chemical compaction, types of stylolites and stylomottle. The effects of

compressive dissolution caused by the effect of stylolites include grain dissolution and removal of part of it, bedrock dissolution, cement dissolution, dissolution of dolomite crystals during burial diagenesis, creation of diagenetic barriers through chemical deposition of insoluble materials along it is multi-stage stylolitization, displacement of grains relative to each other, formation of diagenesis nodules through the formation of stylomottle, displacement of fractures, dolomitization through stylolites ducts, creation of stylolites porosity and excessive entanglement of grains due to strong pressure-dissolution action were pointed out. As a result of physical compression, the grains are pressed together and the grain-by-grain fabric can be seen between the grains. Fractures resulting from physical compression are important in the interpretation of the post-depositional history because they are often signs of diagenesis (Cooke et al., 2006; Flugel, 2010; Strasser et al., 2015). The change in shape and closer arrangement of carbonate grains (rhomboidal arrangement) which are derived from the process of mechanical compression, occur before the petrification of sediments (Rahimpour Banab et al, 2014; Ronchi et al., 2011; Madlen and Wilson, 2013). Physical compression often occurs at a lower depth than chemical compression and often causes the fracture of allochems components in carbonate rocks. Pressure dissolution products can be divided into three categories: dissolution seams, dissolution veins and stylolites (Buxton and Sibley, 1981; Bathurst, 1987). Dissolution seams often bypass the grains and expand without breaking the grains (Logan and Semeniuk, 1976). Stylolites are formed at greater depths than dissolution joints and are observed in carbonate rocks as micro-stylolites (with a range of about 200 microns) (Tucker and Wright, 1990). The process of dissolution plays an essential role in creating porosity in rocks and leads to the creation of stylomottle. The transition between physical and mechanical compaction depends on the mineralogy, petrophysical properties of the sediment, burial depth and temperature changes (Nygaard et al., 2004). The surface of the stylolite is always perpendicular to the surface of maximum stress (Tucker, 1993). These fabrics are specific to the diagenetic

processes of the burial environment, which are observed in all mudstone, wackestone, packstone and grainstone facies (Giorgioni et al., 2016; Gabellone and Whittaker 2016, Janjuhah et al., 2019, Janjuhah and Alansari, 2020). The primary surface along which the dissolution starts is often parallel to the layering surface, although in some cases even this surface is perpendicular to the layering surface, the main controlling factor is the orientation of the linear stress axis, which is generally vertical and it is the result of overburden pressure (Bathurst, 1975). The surfaces created in stylolites can be in the form of columns, peaks with high and low amplitude, irregular surfaces, stacked and smooth surfaces. In terms of amplitude, stylolites are divided into peaks with a large amplitude (more than 1 mm) and stylolites with peaks with a small amplitude (less than 1 mm) (Sadd and Alsharhan, 2000). Among the common textures in stylomottle, we can mention nodular, shear, spot and compact textures. Stylomottle are very important conduits and paths for the passage of fluids (water and oil). During deep burial diagenesis, these channels can pass diagenesis fluids (especially dolomitizing fluids) through them and change the nature of the rock and make it dolomitized, this phenomenon reduces porosity (Giorgioni et al., 2016; Gabellone and Whittaker 2016; Janjuhah et al., 2019; Janjuhah and Alansari, 2020). The orientation of stylolites is important in reservoir rock characteristics because permeability decreases in the direction perpendicular to them (Nelson, 1981; Gabellone and Whittaker, 2016; Kohen et al., 2016). The insoluble materials associated with stylolites are clay minerals, bitumen, quartz, dolomite, pyrite and fluorite (Park and Schot, 1968; Carozzi and Vonbergen, 1987). Minerals with less solubility are placed at the top of the stylolite, and this part of the stylolite is jagged (Railsback, 1993; Tucker, 2001). Finally, it can be said that complications caused by burial diagenesis are in the range of mesogenic diagenesis, which causes complications caused by physical compaction in shallow parts of burial and complications caused by chemical compaction in deeper parts of burial diagenesis.

Conclusion

The results of petrographic studies on carbonate rocks show that a wide range of textural changes occur due to physical and chemical condensation in carbonate rocks, and these processes are in the realm of mesogenic diagenesis (shallow and deep burial) are placed. Among the complications caused by physical compaction in carbonate rocks, there are various types of contact between grains (point, longitudinal, convex-concave), creation of fitted fabric, telescopic rotation in grains, reduction of porosity in larger grains due to change of packing from cubic to rhomboidal state of grains, placement of long grains parallel to the layering surfaces, thinning of the shell of allochems, in-situ fracture of grains, fracture of the shell of allochems and infiltration of cement into the grains, fracture of micrite coating - grain and cement, fracture of ooids coatings, spastolization of ooids grains, crushing of peloids, falling of micrite coatings, grain breakage due to recrystallization of cement

crystals, fracture of the rock base, and creation of porosity and plastic deformation of grains. Complications of compressive dissolution are more complex and are classified into several categories: dissolution joints, dissolution veins, entangled fabric of grains due to intense chemical compression, stylolites and stylomottle. Among the effects of compressive dissolution caused by the effect of stylolites, one can include the dissolution of grain and removal of part of it, dissolution of bedrock, dissolution of cement, dissolution of dolomite crystals during burial diagenesis, creation of diagenetic barriers through chemical sedimentation of insoluble materials along it is the formation of nodules of insoluble materials at the top of stylolites, multi-stage stylolitization, movement of grains relative to each other, formation of diagenesis nodules through the formation of stylolites, movement of fractures, dolomitization through stylolites ducts and creation of stylolites porosity.



ارزیابی عوارض ناشی از فرآیندهای دیاژنتیکی تدفینی در سازندهای کربناته (مطالعه موردی، سازندهای حوضه رسوبی لرستان)

مصطفی صداقت‌نیا^{۱*}، ایرج مغفوری‌مقدم^۲، خیراله محمدی^۳ و محمد ملاح^۱

۱- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۳ کلیدواژه‌ها: تراکم فیزیکی تراکم شیمیایی سنگ‌های کربناته تغییرات بافتی	در این پژوهش، تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی (دیاژنز تدفینی) بر روی سازندهای کربناته دوران دوم و سوم حوضه رسوبی لرستان مورد بررسی قرار گرفته است. در راستای این هدف، بیش از ۸۰۰ مقطع نازک رسوبی مورد مطالعه سنگ‌شناسی قرار گرفته است. عوارض ناشی از دیاژنز تدفینی در دو گروه فشردگی فیزیکی و شیمیایی قرار می‌گیرند. از عوارض ناشی از تراکم فیزیکی در سنگ‌های کربناته مورد مطالعه می‌توان به انواع تماس بین دانه‌ها (نقطه‌ای، طولی، محدب-مقعر)، ایجاد فابریک دانه به دانه، چرخش تلسکوپی دانه‌ها، کاهش تخلخل در دانه‌های درشت‌تر به دلیل تغییر بسته‌بندی از حالت کوبیک به حالت رومبوئدری دانه‌ها، قرارگیری دانه‌های طولی به موازات سطوح لایه‌بندی، نازک‌شدگی پوسته آلوکم‌ها، شکستگی درجای دانه‌ها، شکستگی پوسته‌ای آلوکم‌ها و نفوذ سیمان به درون دانه‌ها، شکستگی پوشش میکرایتی - دانه و سیمان، شکستگی پوشش‌های الییدی، اسپاستولیتی شدن دانه‌های الییدی، له‌شدگی پلوتیدها، ریزش پوشش‌های میکرایتی، شکستگی دانه‌ها ناشی از تبلور مجدد بلورهای سیمان، شکستگی زمینه سنگ و ایجاد تخلخل و دگرشکلی پلاستیک دانه‌ها اشاره کرد. عوارض انحلال فشاری در چندین دسته درزه‌های انحلالی، رگچه‌های انحلالی، استیلولیت‌ها و استیلوموتل‌ها قرار می‌گیرند. از عوارض انحلال فشاری ناشی از تأثیر استیلولیت‌ها می‌توان به انحلال دانه و حذف بخشی از آن، انحلال زمینه سنگ، انحلال سیمان، انحلال بلورهای دولومیت در طی دیاژنز تدفینی، انحلال دانه‌های ناپایدار و ایجاد فابریک درهم در اثر تراکم شیمیایی شدید و تشکیل سیمان تدفینی در بین دانه‌ها، ایجاد سدهای دیاژنتیکی از طریق تهنشست شیمیایی مواد نامحلول در امتداد آن، تشکیل ندول‌هایی از مواد نامحلول در قله استیلولیت‌ها، استیلولیتی شدن چند مرحله‌ای، جابه‌جایی دانه‌ها نسبت به هم، تشکیل گره‌های دیاژنزی از طریق تشکیل استیلوموتل‌ها، جابه‌جایی شکستگی‌ها، دولومیتی شدن از طریق مجاری استیلولیتی، ایجاد تخلخل استیلولیتی و درهم فرو رفتن بیش از حد دانه‌ها به دلیل عمل فشار-انحلال شدید اشاره کرد. عوارض ناشی از انحلال فشاری (استیلولیت‌ها) بیشتر در سازندهای دوران دوم با سنگ‌شناسی غالب مادستونی دیده می‌شود، در حالی که عوارض فشردگی فیزیکی بیشتر در سازندهای دوران سوم با سنگ‌شناسی غالب پکستونی و گریستونی دیده می‌شود.

DOI: <https://doi.org/10.22084/NFAG.2024.29849.1634>

* نویسنده مسئول: مصطفی صداقت‌نیا، E-mail: Mostafasedaghat1364@gmail.com

استاد: مصطفی صداقت‌نیا، ایرج مغفوری‌مقدم، خیراله محمدی و محمد ملاح (۱۴۰۵). ارزیابی عوارض ناشی از فرآیندهای دیاژنتیکی تدفینی در سازندهای کربناته (مطالعه موردی، سازندهای حوضه رسوبی لرستان)، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۲۰، شماره ۳۹، صفحه ۱ تا ۱۷.

این نشریه علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را براساس لایسنس کرییتیوکامنز (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

پس از اینکه رسوبات یا سنگ‌های کربناته در حین تدفین از محیط دیاژنزی دریایی و جوی عبور کردند، در محیط دیاژنزی تدفینی قرار می‌گیرند. در این محیط دیگر عوامل و فرآیندهای مربوط به نواحی سطحی (دریایی و جوی) نفوذ ندارند. محیط دیاژنزی تدفینی را تحت عنوان فریاتیک عمیق یا مزوژنیک می‌نامند. بخش مهمی از عمر رسوبات کربناته در این محیط سپری می‌شود و فقط فرسایش و یا بالاآمدگی تکتونیکی می‌تواند موجب قرارگیری مجدد این رسوبات (یا سنگ‌ها) در محیط‌های سطحی (جوی) شود. اگر رسوبات در محیط‌های قبلی، دیاژن و سنگی شدن را به طور کامل تحمل نکرده باشند، تحجیر می‌شوند و بخش عمده تخلخل خود را از دست می‌دهند (رحیم‌پوربناب، ۱۳۸۹). دیاژن تدفینی شامل هر گونه تغییر یا مجموعه‌ای از تغییرات است که در پایین‌تر از منطقه دیاژنزی نزدیک به سطح و در بالای محیط دگرگونی درجه پایین، در رسوبات و سنگ‌ها صورت می‌گیرد. این محدوده‌ها در محیط‌های مختلف و حتی در بخش‌های مختلف یک حوضه متفاوت است. دیاژن تدفینی تحت کنترل فشار روباره‌ای طبقات جوان‌تر فوقانی است و عوامل کنترل کننده مهم دیگر در محیط دیاژن تدفینی شامل هیدرولوژی، شیمی سیالات حفره‌ای، فشار و دما است. فرآیندهای غالب، شرایط محیطی، موقعیت زمانی، مکانی و محصولات اصلی دیاژن تدفینی با دیاژن نزدیک به سطح کاملاً تفاوت دارد. در محیط دیاژن تدفینی فرآیندهای بسیار پیچیده‌تری فعال هستند. مهم‌ترین این فرآیندها شامل تراکم فیزیکی و از دست دادن آب، تراکم شیمیایی (فشار - انحلال)، سیمانی شدن، دولومیتی شدن زیرزمینی، دگرسانی کانی‌های آب‌دار به انواع بدون آب، واکنش‌های حرارتی پایداری سازی کانی‌ها، دگرسانی و بلوغ ماده آلی که موجب تولید هیدروکربن‌ها و اسیدهای آلی می‌شود. روند عمومی درازمدت در محیط تدفینی، کاهش فزاینده تخلخل به وسیله تراکم و سیمانی شدن است که با افزایش دما و فشار در حضور آب‌های حفره‌ای صورت می‌گیرد. عوامل موثر در دیاژن تدفینی به دو گروه درونی و بیرونی تقسیم می‌شوند. مهم‌ترین عوامل درونی کنترل کننده دیاژن تدفینی، کانی‌شناسی رسوبات، مواد آلی و کانی‌های رسی است. از عوامل بیرونی موثر در دیاژن تدفینی می‌توان به فشار لیتواستاتیک، فشار هیدرواستاتیک و فشار خطی یا جهت‌دار اشاره کرد

(رحیم‌پوربناب، ۱۳۸۹). شرایط فشار و دمای بالا در عمق تدفین رسوبات و سنگ‌های رسوبی (دمای 80°C درجه سانتی‌گراد و فشار 60MPa) سبب گردش سیالات دیاژنزی در بین رسوبات می‌گردد. این فرآیند علاوه بر اینکه سبب رسوب سیمان کلسیتی در بین منافذ رسوبات می‌شود، سبب کاهش تخلخل و نفوذپذیری نیز می‌گردد (نوگس و همکاران، ۲۰۱۴). در شرایط دیاژن تدفینی، عوامل و فاکتورهایی نظیر درجه سیمان‌شدگی، انحلال، فشردگی، تبلور مجدد، جانشینی، وارد شدن رسوبات به محدوده آب‌های جوی و خیلی شور، شیب زمین‌گرایی، استیلولیتی شدن، احیای ترموشیمیایی سولفات، چرخش آب‌های زیرسطحی در سیستم‌های دیاژنزی بسته، کیفیت مخزنی سازندهای کربناته را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (مچل، ۲۰۰۵). با توجه به توالی‌های نهشته شده از سازندهای دوران دوم و سوم حوضه رسوبی لرستان (به ترتیب سن نهشته شدن، شامل: سازندهای گرو (نئوکومین - کنیاسین)، سروک (سنومانین - تورونین)، سورگاه (سنونین)، ایلام (سانتونین - کامپانین)، گورپی (سانتونین - ماستریشیتین)، تله‌زنگ (پالئوسن - ائوسن)، شهبازان (ائوسن)، آسماری (الیگوسن - میوسن) و واحدهای کربناته سازند گچساران (میوسن) با سبب برای بیش از ۲۰۰۰ متر)، هدف اصلی پژوهش، بررسی عوارض ناشی از دیاژن تدفینی در این سازندها می‌باشد که می‌توان ارتباط معناداری بین سازندهای قدیمی و جدید و نوع عارضه دیاژنتیکی، با توجه به سن نهشته شدن آن‌ها برقرار کرد.

۲- روش مطالعه

در این پژوهش، بیش از ۸۰۰ نمونه مقطع نازک رسوبی از سنگ‌های کربناته سازندهای حوضه رسوبی لرستان، شامل سازندهای دوران دوم (سازندهای گرو، سروک، سورگاه، ایلام و گورپی) و سازندهای دوران سوم (سازندهای تله‌زنگ، شهبازان، آسماری و گچساران)، به‌وسیله میکروسکوپ نوری نوع Olympus-BH2 مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت نام‌گذاری سنگ‌های کربناته از تقسیم‌بندی (دانهام، ۱۹۶۲) استفاده شده است. از آنجا که مواد نامحلول ناشی از تراکم شیمیایی در سنگ‌های کربناته در نهایت در دامنه استیلولیت‌ها تجمع پیدا می‌کنند و این عوارض (استیلولیت‌ها) به‌صورت سدهای دیاژنتیکی مطرح می‌باشند؛ لذا، جهت ماهیت مواد نامحلول در طول

استیلولیت‌ها، با میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ مورد بررسی قرار گرفتند.

۳- تراکم فیزیکی (مکانیکی)

تراکم مکانیکی در عمق کم و مراحل اولیه دیاژنز تدفینی صورت گرفته و با فشرده شدن و نزدیک شدن دانه‌ها به یکدیگر مشخص می‌شود (رحیم‌پورناب و همکاران، ۲۰۱۴). این فرآیند، عمدتاً با فرآیند انحلال فشاری همراه می‌باشد. شروع ویژگی‌های فشردگی مکانیکی اغلب در حدود عمق تدفین ۵۰۰ متری انجام می‌گیرد (ریلسبک، ۱۹۹۳؛ نیکولاییدس و والاس، ۱۹۹۷). طی تدفین، تحت وزن رسوبات فوقانی، عمل تراکم صورت می‌گیرد. بدین ترتیب آب آن‌ها از دست می‌رود، تخلخل کاهش می‌یابد و ضخامت آن‌ها کم می‌شود. در عین حال، ذرات و ساختمان‌های رسوبی نیز تغییر شکل می‌دهند و بنا به میزان تخلخل و دانه یا گل‌پشتیبان بودن، دچار تغییراتی می‌گردند. این آثار به ویژه در رسوبات دانه‌ریز و گلی مشهودتر است. در این‌ها، تخلخل به میزان زیادی کاهش می‌یابد و ضخامت رسوبات در چند ده متر تا چند صد متر اولیه تدفین، به شدت کاهش می‌یابد. تراکم فیزیکی همچنین می‌تواند یک رخساره و کستون بایوکستی را به یک پکستون بایوکستی تغییر دهد (تاگر، ۲۰۰۱). فرآیند تراکم مکانیکی منجر به ایجاد شکستگی در ذرات و توده سنگ، تغییر شکل ذرات یا به عبارتی له‌شدن آلوکم‌ها، و تشکیل آرایش نزدیک به هم آن‌ها می‌شود. فشردگی فیزیکی عمدتاً در رخساره‌های دانه پشتیبان (پکستون و گرینستون) دیده می‌شود که باعث آرایش متراکم‌تر ذرات غیراسکلتی، شکستگی بیوکست‌ها یا خمش دانه‌های نرم‌تر و انواع تماس‌ها و نقطه‌ای، طولی، محدب-مقعر و انواع دگرشکلی‌ها می‌شود.

۴- عوارض ناشی از تراکم فیزیکی

از عوارض ناشی از تراکم فیزیکی در سنگ‌های کربناته می‌توان به انواع تماس بین دانه‌ها (نقطه‌ای، طولی، محدب-مقعر)، ایجاد فابریک دانه‌به‌دانه^۲، چرخش تلسکوپی دانه‌ها، کاهش تخلخل در دانه‌های درشت‌تر، به دلیل تغییر بسته‌بندی از حالت کوئیک به حالت رومبوئدری دانه‌ها،

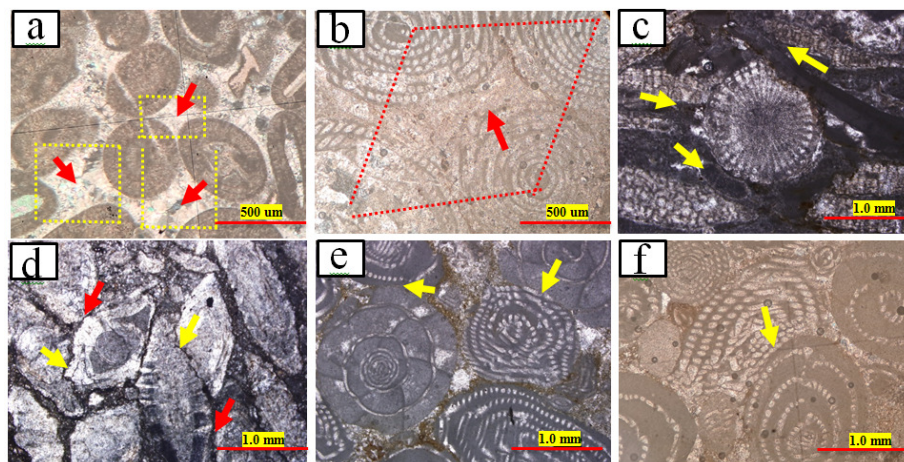
قرارگیری دانه‌های طولی به موازات سطوح لایه‌بندی، نازک‌شدگی پوسته آلوکم‌ها، شکستگی درجای دانه‌ها، شکستگی پوسته‌ای آلوکم‌ها و نفوذ سیمان به درون دانه‌ها، شکستگی پوشش میکرایتی-دانه و سیمان، شکستگی پوشش‌های اییدی، اسپاستولیتی شدن دانه‌های اییدی، له‌شدگی پلوییدها، شکستگی دانه‌ها ناشی از تبلور مجدد بلورهای سیمان، شکستگی زمینه سنگ و ایجاد تخلخل و دگرشکلی پلاستیک دانه‌ها اشاره کرد. همچنین فشردگی مکانیکی ممکن است منجر به ریزش پوشش‌های میکرایتی شود، البته اگر فاز اولیه انحلال در بایوکست‌های آراگونیتی صورت گرفته باشد. شکل‌های ۱ تا ۴ عوارض ناشی از تراکم فیزیکی در سنگ‌های کربناته مورد مطالعه به تصویر کشیده شده است.

۵- تراکم شیمیایی

تراکم شیمیایی یا فشار - انحلال دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای در دیاژنز سنگ‌های آهکی است. طی این فرآیند، که پس از تراکم فیزیکی روی می‌دهد، ضخامت لایه‌های آهکی حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین طی این فرآیند مواد لازم برای تشکیل سیمان‌های تدفینی ایجاد می‌شود. علاوه بر این، گاهی این سنگ‌ها چنان دچار تغییر می‌شوند که لایه‌بندی‌های اولیه حذف و لایه‌بندی‌های کاذب (ثانویه) در آن‌ها پدید می‌آید. درزه‌های انحلالی در محل تماس دانه‌ها، رگچه‌های انحلالی، فابریک‌های فشرده و استیلولیت‌ها از مهم‌ترین فرآیندهای حاصل از تراکم شیمیایی در سنگ‌های کربناته هستند. استیلولیت‌ها محصول فشار انحلالی در محل تماس دانه‌ها هستند که به‌صورت دندان‌های و با گسترش جانبی در سنگ‌های کربناته دیده می‌شوند و بیانگر تنش موضعی در سنگ‌های کربناته هستند. از آنجا که استیلولیت‌ها بر جریان سیال اثر دارند، همیشه مورد توجه بوده‌اند. استیلولیت‌ها عوارض دندان‌های شکل و نتیجه فشار انحلالی بین دانه‌ها هستند (کرویز و همکاران، ۲۰۱۳). استیلولیت‌ها در برخی موارد حتی می‌توانند تا ۱ کیلومتر نیز طول داشته باشند (سفریکس و داویسون، ۲۰۰۵). نقش آن‌ها بر جریان سیال در زمین‌شناسی مهندسی، علوم نفتی و زمین‌شناسی ساختمانی مورد توجه بوده است.

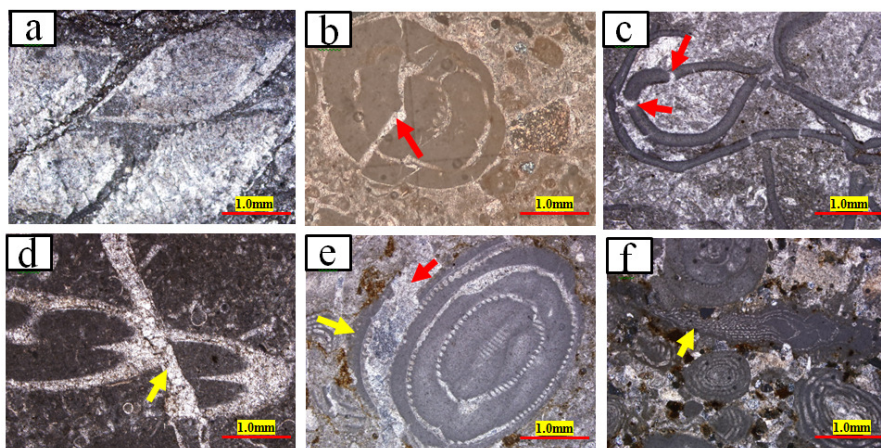
^۲ Fitted fabric

^۱ Scanning electron microscope



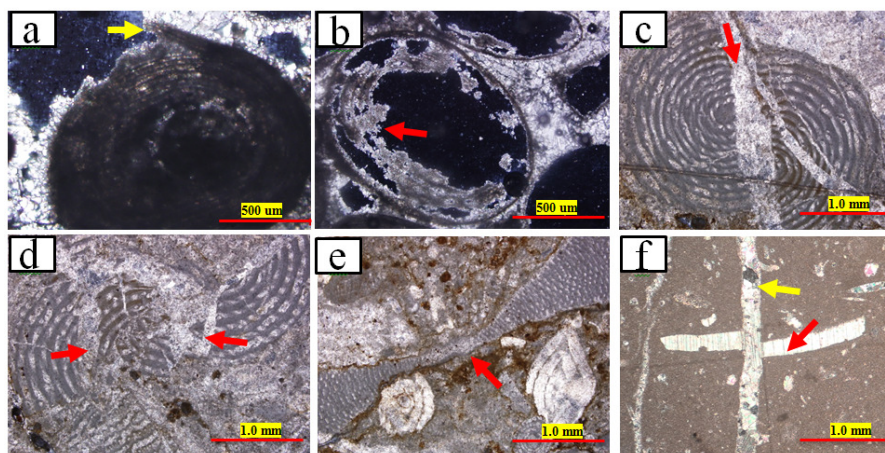
شکل ۱. a: ایجاد فابریک کوبیک در دانه‌های الییدی قبل از فشردگی در یک رخساره گرینستون الییدی. به وجود تخلخل بین دانه‌ای گسترش یافته در این فابریک توجه شود (پیکان‌های قرمز رنگ) (سازند گچساران، ناودیس افرینه). b: ایجاد فابریک لوزوجهی در دانه‌های الییدی پس از تراکم فیزیکی. به فضای محدود بین دانه‌ها که با سیمان کلسیتی پر شده است، توجه شود (پیکان قرمز). این سیمان پس از تراکم دانه‌ها تشکیل شده است. تخلخل قالبی در دانه‌های الیید به انحلال آن‌ها در طی دیازنز جوی مربوط می‌باشد (سازند تله‌زنگ، تاقدیس ریت). c: تغییر آرایش و جهت‌یابی دانه‌ها به دلیل تراکم فیزیکی (سازند شه‌بازان، تاقدیس خرم‌آباد). d: ایجاد فابریک دانه‌به‌دانه (Fitted fabric) در یک رخساره پکستون بایوکلستی. پیکان‌های قرمز تماس نقطه‌ای و پیکان‌های زرد رنگ تماس مضرسی را نشان می‌دهند (سازند تله‌زنگ، تاقدیس پاسان). e: تماس طولی بین دانه‌ها در یک رخساره پکستون بایوکلستی (سازند تله‌زنگ، تاقدیس ریت). f: تماس محدب - مقعر بین دانه‌ها در یک رخساره پکستون بایوکلستی (سازند تله‌زنگ، تاقدیس چناره).

Fig. 1. a: Formation of cubic fabric in ooids grains before compression in an ooids greenstone facies. Pay attention to the presence of expanded intergranular porosity in this fabric (red arrows) (Gachsaran Formation, Afrineh syncline). b: Creation of rhombohedra fabric in ooids grains after physical compaction. Pay attention to the limited space between the grains that is filled with calcite cement (red arrow). This cement is formed after the condensation of grains. Mold porosity in ooids grains is related to their dissolution during meteoric diagenesis (Talehzang Formation, Rit anticline). c: Changing the arrangement and orientation of grains due to physical compaction. (Shahbazan Formation, Khorram Abad anticline) d: Creation of fitted fabric in a bioclast facies. Red arrows indicate point contact and yellow arrows indicate sutured contact. (Talehzang Formation, Pasan anticline) e: Longitudinal contact between grains in a bioclastic packstone facies. (Talehzang Formation, Rit anticline) f: Convex-concave contact between grains in a bioclastic packstone facies. (Talehzang Formation, Chenareh anticline).



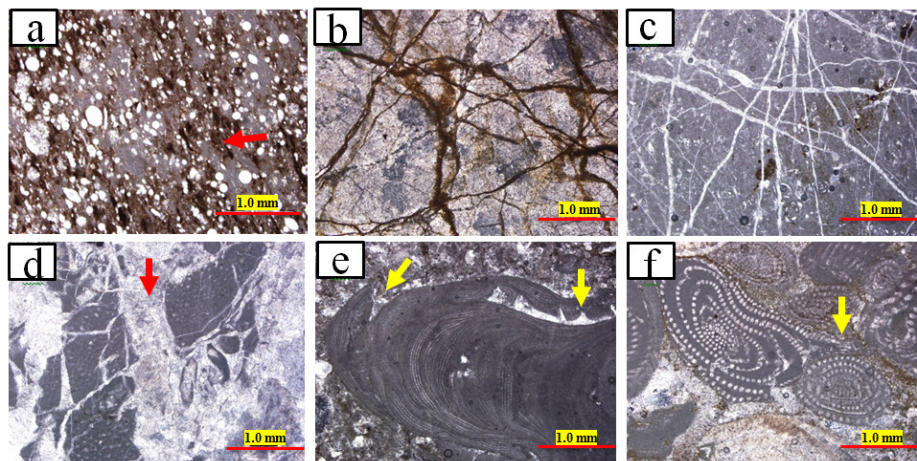
شکل ۲. a: ایجاد چرخش تلسکوپی در دانه‌ها در یک رخساره پکستون بایوکلستی (سازند تله‌زنگ، تاقدیس چناره). b: شکستگی‌های درج‌ای ایجاد شده در یک فسیل روزن‌دار که با سیمان اسپارایتی پر شده است (سازند تله‌زنگ، تاقدیس سرکان). c: شکستگی‌های درج‌ای تشکیل شده در جلبک قرمز که با سیمان کلسیتی پر شده است (سازند آسماری، تاقدیس سلطان). d: شکستگی در دانه آلوکم که مقداری جابه‌جا شده است (سازند آسماری، تاقدیس خرم‌آباد). e: شکستگی ایجاد شده در پوسته صدف آلئولینا (پیکان زرد رنگ) که در مرحله بعد، با نفوذ سیمان (پیکان قرمز) و رشد و تبلور بلورهای آن، پوسته از محل اولیه خود جابه‌جا شده است (سازند تله‌زنگ، تاقدیس پاسان). f: له‌شدگی فسیل آلئولینا به دلیل تراکم فیزیکی در یک رخساره پکستون بایوکلستی (سازند تله‌زنگ، تاقدیس پشت‌جنگل).

Fig. 2. a: Telescopic rotation of grains in a bioclastic packstone facies (Talehzang Formation, Chenareh anticline) b: In situ fractures formed in a porous fossil filled with sparite cement (Talehzang Formation, Sarkan anticline) c: In situ fractures formed in a red alga that filled with calcite cement (Asmari Formation, Soltan anticline) d: A fracture in the allochem that has been slightly displaced (Asmari Formation, Khorram Abad anticline) e: Fracture created in the shell of the Alveolina sp (yellow arrow) which, in the next stage, has been moved from its original location due to the penetration of cement (red arrow) and the growth and crystallization of its crystals (Talehzang Formation, Pasan anticline) f: Alveolina fossil crushing due to physical compaction in a bioclastic packstone facies (Talehzang Formation, Pusht- Jangal anticline).



شکل ۳. a: باز شدن لامینه‌های ائید بر اثر تراکم فیزیکی (سازند گچساران، ناودیس افرینه) b: ریزش پوشش‌های میکرایتی بر اثر تراکم فیزیکی. فاز اولیه انحلال در بایوکلست‌های آراگوئیتی صورت گرفته است و سبب ریزش پوشش‌های میکرایتی در اثر تراکم فیزیکی شده است (سازند گچساران، ناودیس افرینه). c: شکستگی‌های ایجاد شده در یک دانه که در مرحله بعد توسط سیمان کلسیت اسپاری پر شده است. شکستگی سبب جابه‌جایی دانه شده است (دانه مورد نظر یک فسیل آلونولین می‌باشد) (سازند تله‌زنگ، تاقدیس چناره). d: شکستگی‌های متعدد ایجاد شده در یک دانه به گونه‌ای که ساختار فسیل را تا حدودی از بین برده است (سازند تله‌زنگ، تاقدیس چناره). e: نازک شدن دانه فسیل بر اثر تراکم فیزیکی شدید (پیکان قرمز محل نازک‌شدگی را نشان می‌دهد) (سازند تله‌زنگ، تاقدیس ریت). f: شکستگی‌های متعدد ایجاد شده در یک رخساره وکستونی. شکستگی دوم (پیکان زردرنگ) جدیدتر بوده و سبب قطع و جابه‌جایی شکستگی اول (پیکان قرمز رنگ) شده است (سازند شهبازان، تاقدیس سرکان).

Fig. 3. a: Opening of ooids laminae due to physical compression (Gachsaran Formation, Afrineh syncline) b: Falling of micrite coatings due to physical compaction. The initial phase of dissolution took place in aragonite bioclast and caused the micrite coatings to fall off due to physical compaction. (Gachsaran Formation, Afrineh syncline) c: Fractures created in a grain that was filled by spar calcite cement in the next step. The fracture has caused displacement of the grain (the target grain is an alveolina fossil). (Talehzang Formation, Chenareh anticline) d: Multiple fractures created in a grain in such a way that the structure of the fossil has been destroyed to some extent. (Talehzang Formation, Chenareh anticline) e: Thinning of the fossil grain due to intense physical compaction (the red arrow shows the place of thinning). (Talehzang Formation, Rit anticline) f: Multiple fractures created in a wackestone facies. The second fracture (yellow arrow) is more recent and caused the first fracture (red arrow) to be cut off and displaced. (Shahbazan Formation, Sarkan anticline).



شکل ۴. a: آرایش متراکم و له‌شدگی دانه‌ها در رخساره وکستون تا پکستون بایوکلستی (سازند گرو، تاقدیس خرم‌آباد). b: شکستگی‌های متعدد و نامنظم ایجاد شده که در مرحله بعد توسط سیمان اکسید آهن پر شده است (سازند شهبازان، تاقدیس امیران). c: شکستگی‌های متعدد و نامنظم ایجاد شده که در مرحله بعد توسط سیمان کلسیتی پر شده است (سازند سروک، تاقدیس خرم‌آباد). d: شکستگی‌های متعدد سبب خرد شدن دانه شده است که در مرحله بعد توسط سیمان کلسیتی پر شده است (سازند سروک، تاقدیس خرم‌آباد). e: شکستگی در پوسته جلبک قرمز (پیکان‌های زردرنگ)، در مرحله بعد، نفوذ و توسعه سیمان سبب ایجاد فابریک استروماتاکتیس شده است (سازند آسماری، تاقدیس پشت‌جنگل). f: له‌شدگی بخشی از پوسته صدف آلونولین (پیکان زردرنگ)، به دلیل تراکم فیزیکی، بخشی از پوسته صدف که بین دو دانه قرار داشته است، دچار تراکم و له‌شدگی شده است (سازند تله‌زنگ، تاقدیس چناره).

Fig. 4. a: Dense arrangement and crushing of grains in the facies of wackestone to bioclastic packstone facies (Garū Formation, Khorram Abad anticline) b: Numerous and irregular fractures that were filled by iron oxide cement in the next step. (Shahbazan Formation, Amiran anticline) c: Numerous fractures and irregular created which is filled by calcite cement in the next step. (Sarvak Formation, Khorram Abad anticline) d: Multiple fractures caused the grain to be crushed, which was filled with calcite cement in the next step. (Sarvak Formation, Khorram Abad anticline) e: A fracture in the red algal shell (yellow arrows), in the next stage, the infiltration and development of cement has caused the formation of stromatolite fabric. (Asmari Formation, Pusht- Jangal anticline) f: Crushing of a part of Alveolina sp (yellow arrow), due to the physical compaction of a part of the oyster shell that was between two grains, it has been compacted and crushed. (Talehzang Formation, Chenareh anticline).

چند مرحله‌ای، جابجایی دانه‌ها نسبت به هم، تشکیل گرهک‌های دیاژنزی از طریق تشکیل استیلوموتل‌ها (به دلیل انحلال ناشی از تراکم شیمیایی، در سنگ‌های کربناته بافت‌های مختلفی ایجاد می‌شود؛ نظیر بافت ندولی یا گرهکی، بافت برشی و بافت لکه‌ای. این اشکال و بافت‌های مختلف را استیلوموتل می‌نامند)، جابجایی شکستگی‌ها، دولومیتی شدن از طریق مجاری استیلولیتی، ایجاد تخلخل استیلولیتی و درهم فرو رفتن بیش از حد دانه‌ها به دلیل عمل فشار - انحلال شدید اشاره کرد. اشکال ۵ تا ۸، تصاویر ناشی از تراکم شیمیایی در سازندهای کربناته مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

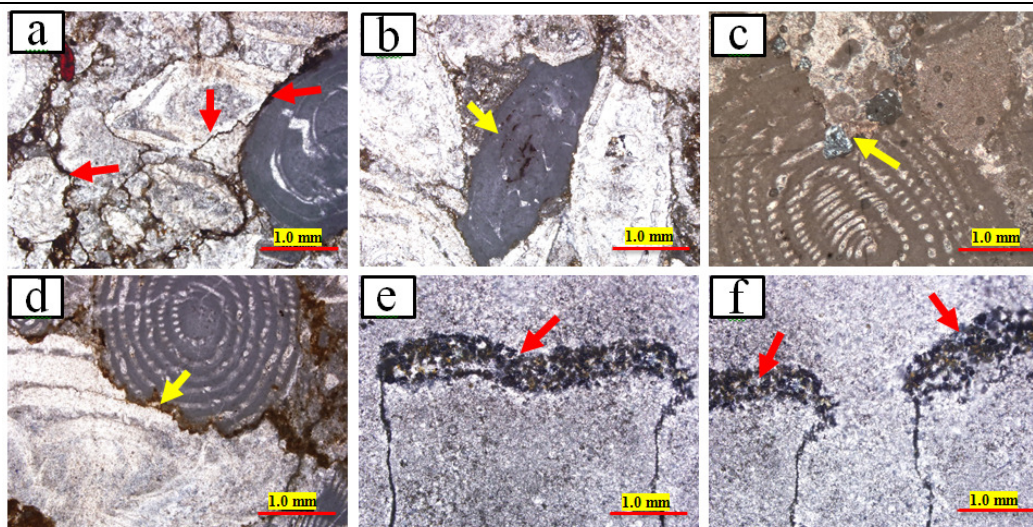
۷- بحث

در اثر فشردگی فیزیکی دانه‌ها به هم فشرده شده و فابریک دانه‌به‌دانه بین آلوکم‌ها دیده می‌شود. شکستگی‌های حاصل از فشردگی فیزیکی در تعبیر و تفسیر تاریخچه پس از رسوب‌گذاری اهمیت دارند زیرا اغلب نشانه‌های دیاژنز هستند (کوک و همکاران، ۲۰۰۶؛ فلوگل، ۲۰۱۰؛ استریسر و همکاران، ۲۰۱۵). تغییر شکل و آرایش نزدیک‌تر دانه‌های کربناته (آرایش لوزوجهی) که برگرفته از فرآیند فشردگی مکانیکی هستند، پیش از سنگ‌شدگی رسوبات رخ می‌دهند (رحیم‌پوربناب، ۱۳۸۹؛ رونچی و همکاران، ۲۰۱۱؛ ماندن و ویلسون، ۲۰۱۳). فشردگی فیزیکی اغلب در عمق کمتر نسبت به فشردگی شیمیایی رخ می‌دهد و سبب شکستگی اجزای آلوکم در سنگ‌های کربناته می‌شود. محصولات انحلال فشاری به سه دسته، شامل درزه‌های انحلالی، رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها قابل تفکیک هستند (باکستون و سیبلی، ۱۹۸۱؛ بترست، ۱۹۸۷). درزه‌های انحلالی اغلب دانه‌ها را دور می‌زنند و بدون قطع دانه‌ها گسترش پیدا می‌کنند (لوگان و سیمنیوک، ۱۹۷۶). استیلولیت‌ها در اعماق بیشتری نسبت به درزه‌های انحلالی شکل می‌گیرند و در سنگ‌های کربناته به صورت میکرواستیلولیت‌ها (با دامنه حدود ۲۰۰ میکرومتر) مشاهده می‌شوند (تاکر و رایت، ۱۹۹۰). در امتداد استیلولیت‌ها مواد تیره نامحلول باقیمانده از انحلال دانه‌ها و زمینه سنگ تجمع پیدا می‌کنند. شواهد فشردگی شیمیایی (انحلال فشاری) به صورت فابریک درهم ناشی از فشار-انحلال شدید، رگچه‌های انحلال فشاری و استیلولیت مشاهده می‌شود.

استیلولیت‌ها حاصل اتصال افقی و عمودی رگچه‌های فشار-انحلالی متعدد هستند (ننا و آیدین، ۲۰۱۳). استیلولیت‌هایی که مقدار فراوانی کانی نامحلول را به همراه دارند از پتانسیل و توان بیشتری برای ایجاد سد در مقابل عبور جریان سیال بهره‌مند هستند، این کانی‌های نامحلول بیشتر ساختار ورقه‌ای دارند (نظیر میکاها و کانی‌های رسی) و به سنگ میزبان مربوط می‌باشند. استیلولیت‌ها حاصل فرآیندهای فیزیکوشیمیایی هستند که در اثر فشردگی دفنی یا فشردگی‌های تکتونیکی پدید آمده‌اند. سه عارضه حاصل از فشار انحلالی، استیلولیت‌ها، رگچه‌های انحلالی و فابریک دانه به دانه است (باکستون و سیبلی، ۱۹۸۱). روی شکل‌شناسی استیلولیت‌ها و ناهموازی‌های آن‌ها نیز کار شده و مدل‌سازی‌هایی در این راستا انجام شده است (ابنر و همکاران، ۲۰۱۰). از مسائل پیچیده در مورد استیلولیت‌ها این است که آیا در تشکیل آن‌ها کانی‌های رسی نقش مثبت دارند یا نقش آن‌ها منفی است. در مخازن نفتی، به سبب اینکه استیلولیت‌ها تخلخل و نفوذپذیری را کم می‌کنند اثری شبیه به پرشدگی شکستگی‌های تکتونیکی دارند (نلسون، ۱۹۸۱). برای شروع استیلولیتی شدن در مخازن کربناته حوضه نفتی Bab Oil در امارات متحده عربی (دانینگتون، ۱۹۶۷) عمق ۶۰۰ تا ۹۰۰ متر را معرفی کرده است. استیلولیت‌ها علاوه بر سنگ‌های کربناته در چرت‌ها، ماسه‌سنگ‌ها و مرمرها نیز دیده می‌شوند. در مطالعات زمین‌شناسی نفتی مطالعه بر روی فرآیندهای دیاژنزی سنگ‌های کربناته اغلب جهت پی بردن به کیفیت مخزنی آن‌ها بسیار مهم و ضروری می‌باشد (فلوگل، ۲۰۱۰).

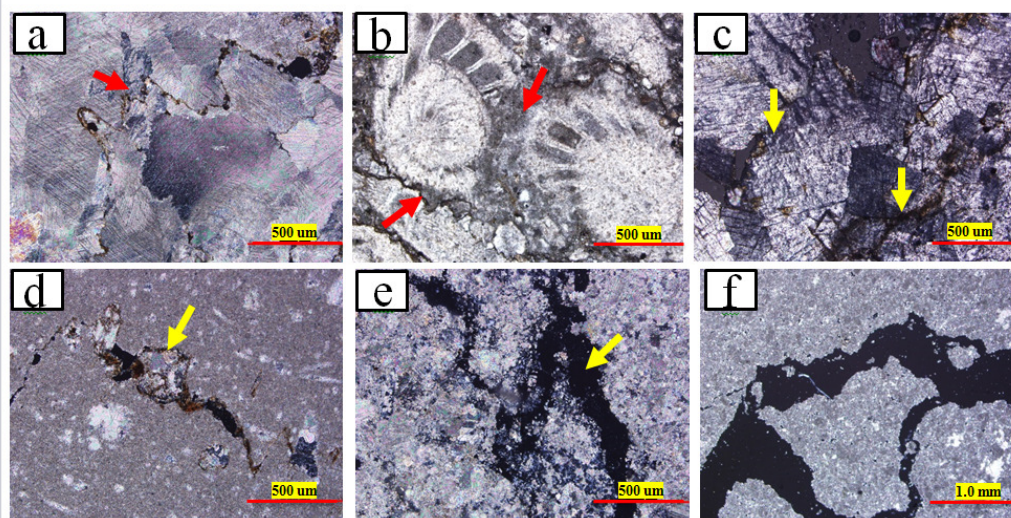
۶- عوارض ناشی از تراکم شیمیایی (فشار-انحلال)

عوارض ناشی از تراکم شیمیایی در سنگ‌های کربناته بسیار متنوع هستند. از جمله این عوارض که در سنگ‌های کربناته مورد مطالعه مشاهده شده است می‌توان به درزه‌های انحلالی در محل تماس دانه‌ها، رگچه‌های انحلالی، فابریک بسیار فشرده و درهم دانه‌ها بر اثر تراکم شیمیایی شدید، تشکیل انواع استیلولیت‌ها و استیلوموتل‌ها اشاره کرد. از عوارض انحلال فشاری ناشی از تأثیر استیلولیت‌ها می‌توان به انحلال دانه و حذف بخشی از آن، انحلال زمینه سنگ، انحلال سیمان، انحلال بلورهای دولومیت در طی دیاژنز تدفینی، ایجاد سدهای دیاژنتیکی از طریق ته‌نشست شیمیایی مواد نامحلول در امتداد آن، استیلولیتی شدن



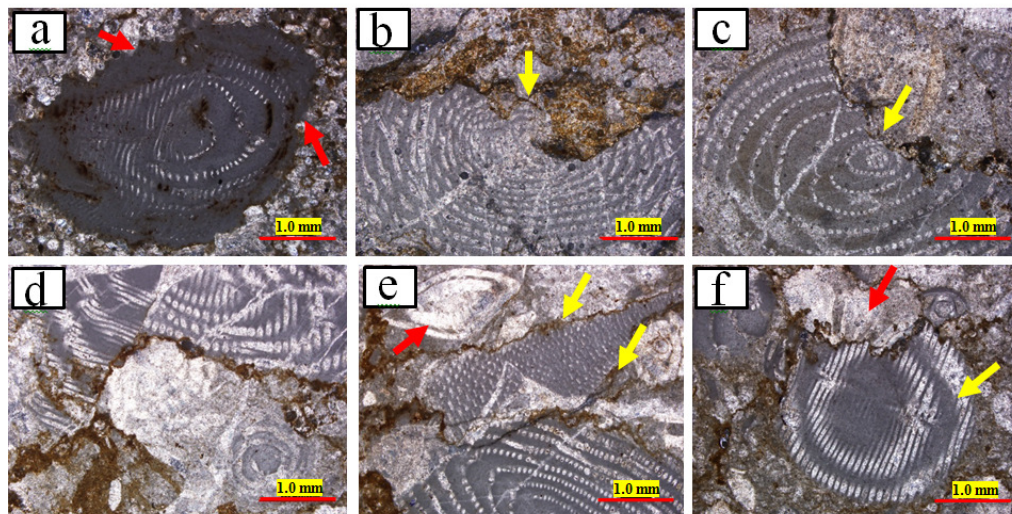
شکل ۵. a: تشکیل درزه‌های مضرسی ناشی از فشار- انحلال به دلیل اعمال تنش در مرز دانه‌ها (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس پاسان). b: انحلال بیش از حد یک دانه ناپایدار در بین سایر دانه‌ها به دلیل اعمال تراکم شیمیایی شدید. دانه مورد نظر (پیکان زرد) به احتمال زیاد فسیل آلئولین می‌باشد که در بین دانه‌های نومولیت قرار گرفته است (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس ریت). c: تشکیل استیلولیت و انحلال بخشی از دانه (دانه مورد نظر، فسیل آلئولین می‌باشد) (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس ماله‌کوه). d: تشکیل استیلولیت و انحلال بین دانه‌ها. هر دو دانه به یک اندازه دچار انحلال شده و درهم فرو رفته‌اند (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس پاسان). e و f: تشکیل ندول‌های دیاننتیکی در قله استیلولیت‌ها. رنگ تیره ندول‌ها به دلیل تمرکز مواد نامحلول از جمله کانی‌های رسی و مواد آلی است (سازند ایلام، تاق‌دیس پشت‌جنگل).

Fig. 5. a: The formation of sutured joints caused by pressure-dissolution due to the application of tension at the boundary of the grains. (Talehzang Formation, Pasan anticline) b: Excessive dissolution of an unstable grain among other grains due to the application of strong chemical compaction. The desired grain (yellow arrow) is most likely alveolina fossil, which is placed among the nummulite grains. (Talehzang Formation, Rit anticline) c: Formation of stylolite and dissolution of part of the grain (the grain in question is an alveolina fossil). (Talehzang Formation, Malekoh anticline) d: Stylolite formation and dissolution between grains. Both grains are equally dissolved and sunk into each other's. (Talehzang Formation, Pasan anticline). e and f: Formation of diagenetic nodules at the top of stylolites. The dark color of nodules is due to the concentration of insoluble materials such as clay minerals and organic materials. (Ilam Formation, Pusht- Jangal anticline).



شکل ۶. a: ایجاد استیلولیت در اثر انحلال سیمان. مواد نامحلول و ناخالصی‌های موجود در بلورهای سیمان در امتداد استیلولیت تجمع کرده‌اند (سازند سروک، تاق‌دیس ریت). b: فرو رفتن بیش از اندازه دانه‌ها و ایجاد فابریک درهم، به دلیل تراکم شیمیایی شدید (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس پاسان). c: تشکیل استیلولیت و انحلال بلورهای دولومیت (سازند شهبازان، تاق‌دیس خرم‌آباد). d: تشکیل استیلوموتل در رخساره وکستون بایوکلاستی (سازند سورگاه، تاق‌دیس خرم‌آباد). e: تخلخل حاصل از استیلولیت (سازند سروک، تاق‌دیس پشت‌جنگل). f: تخلخل حاصل از تشکیل استیلوموتل (سازند گورپی، تاق‌دیس ریت).

Fig. 6. a: Formation of stylolite due to dissolution of cement. Insoluble materials and impurities in the cement crystals have accumulated along the stylolite. (Sarvak Formation, Rit anticline). b: Excessive sinking of grains and creation of tangled fabric due to strong chemical compaction (Talehzang Formation, Pasan anticline). c: Formation of stylolite and dissolution of dolomite crystals (Shahbazan Formation, Khorram Abad anticline) d: Formation of stylomottle in bioclastic wackestone facies (Surgah Formation, Khorram Abad anticline) e: Formation of porosity resulting from stylolite. (Sarvak Formation, Pusht- Jangal anticline) f: Porosity resulting from stylomottle formation. (Gurpi Formation, Rit anticline).



شکل ۷. a: انحلال در مرز دانه، در اثر تراکم شیمیایی بین دانه فسیل و قطعات مقاوم چرتی (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس چناره). b: استیلولیت و حذف بخشی از دانه که در مرحله بعد، در امتداد استیلولیت سیمان دولومیتی گسترش یافته است (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس ریت). c: تشکیل استیلولیت و انحلال بخشی از دانه. فسیل نومولیت در جهت پیکان زرد رنگ به اندازه بخش انحلال یافته نفوذ کرده است (دانه انحلال یافته، فسیل آلونولین می‌باشد) (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس چناره). d: فرو رفتن بیش از حد دانه‌ها و ایجاد فابریک درهم به دلیل اعمال تراکم شیمیایی شدید به گونه‌ای که فقط قسمت کمی از فسیل‌ها باقی مانده است (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس چناره). e: تشکیل دو دسته استیلولیت (پیکان‌های زرد رنگ) که سبب انحلال شدید دانه‌ها شده است. پیکان قرمز رنگ فسیل نومولیت می‌باشد که به دلیل دور بودن از محل تنش سالم باقی مانده است (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس پاسان). f: تشکیل استیلولیت در یک رخساره پکستون بایوکلاستی. پیکان قرمز رنگ دانه مقاوم‌تر را نشان می‌دهد که به درون دانه ضعیف‌تر نفوذ کرده است (سازند تله‌زنگ، تاق‌دیس چناره).

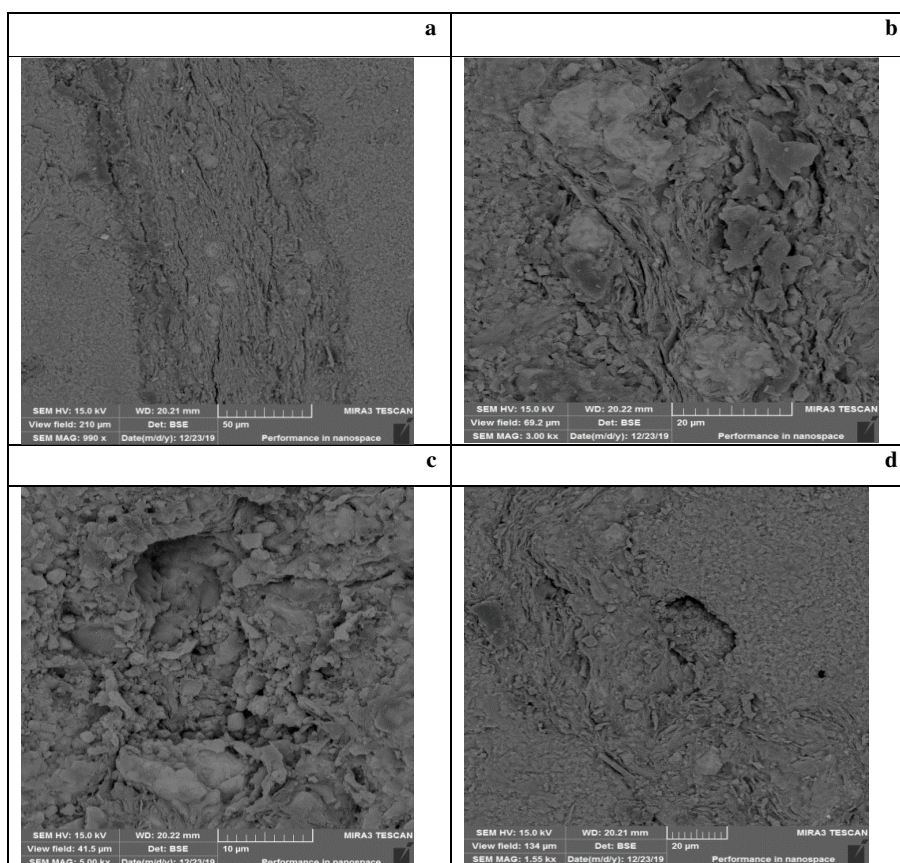
Fig. 7. a: Dissolution at the grain boundary due to chemical compaction between the fossil grain and the refractory cherty fragments. (Talehzang Formation, Chenareh anticline) b: Stylolite and removal of a part of the grain that is extended along the dolomite cement stylolite in the next step. (Talehzang Formation, Rit anticline) c: Stylolite formation and dissolution of part of the grain. Nummulite fossil has penetrated in the direction of the yellow arrow to the extent of the dissolved part (dissolved grain is alveolina fossil). Compaction (Talehzang Formation, Chenareh anticline) d: Excessive sinking of grains and creation of tangled fabric due to the application of intense chemical compaction in such a way that only a small part of the fossils remains. (Talehzang Formation, Chenareh anticline) e: The formation of two groups of stylolites (yellow arrows) which caused severe dissolution of grains. The red arrow is a nummulite fossil that has remained intact due to its distance from the stress area, compaction (Talehzang Formation, Pasan anticline) f: Stylolite formation in a bioclastic packstone facies. The red arrow is a more resistant grain that has penetrated into a weaker grain. (Talehzang Formation, Chenareh anticline).

ضخامت لایه‌های آهکی طی فشردگی شیمیایی ۲۰ تا ۳۵ درصد کاهش پیدا می‌کند و مواد لازم برای تشکیل سیمان-های دفنی را فراهم می‌کند (لامبرت و همکاران، ۲۰۰۶؛ فلوگل، ۲۰۱۰). استیلولیت‌ها در اعماق متوسط تا زیاد تشکیل می‌شوند و یکی از شواهد خاص محیط‌های دیاژنزی دفنی هستند (تاکر، ۱۹۹۳ و بود و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین در اثر انحلال فشاری (طی دیاژنر تدفینی) استیلوموتل نیز تشکیل می‌شود (لوگان و سمنیوک، ۱۹۷۶). فرآیند انحلال نقش اساسی در ایجاد تخلخل در سنگ‌ها ایفا کرده و منجر به ایجاد استیلوموتل‌ها می‌شود. گذر بین فشردگی فیزیکی و مکانیکی به کانی‌شناسی، خصوصیات پتروفیزیکی رسوب، عمق تدفین و تغییرات دمایی بستگی دارد (نیگارد و همکاران، ۲۰۰۴). استیلولیت‌ها سطوح نامنظمی در داخل یک طبقه هستند که با تداخل هر دو سطح در یکدیگر مشخص می‌شوند. این

فشردگی شیمیایی اغلب در رخساره‌های دولومادستون و وکستون دیده می‌شود. (زو و همکاران، ۲۰۱۵). وجود استیلولیت و مرزهای منحنی و مضرسی در بین بلورهای دولومیت درشت‌بلور نوع باروک (زین‌اسبی) شاهدی بر دیاژنر تدفینی عمیق است (گرگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ زو و همکاران، ۲۰۱۵؛ هو و همکاران، ۲۰۱۶؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۶؛ کریستم و همکاران، ۲۰۱۹). در فابریک درهم فشرده سطوح بین دانه‌ها منحنی، صفحه‌ای یا اندکی مضرسی هستند. رگچه‌های انحلال فشاری سطوح صاف و مواجی هستند که مرحله اولیه فشردگی شیمیایی را نشان می‌دهند (باکستون و سیلی، ۱۹۸۱؛ فلوگل، ۲۰۱۰). فرآیند فشار-انحلال موجب تولید و تشدید سطوح لایه‌بندی در سنگ‌های آهکی می‌گردد. بدین ترتیب در بسیاری از سنگ‌آهک‌های کم‌عمق و عمیق، سطوح لایه‌بندی، واقعی نبوده و در طی تدفین ایجاد شده‌اند (فلوگل، ۲۰۱۰).

گرینستونی مشاهده می‌شوند (جورجینیو و همکاران، ۲۰۱۶؛ گابریل و ویتاکر، ۲۰۱۶؛ جان‌جوهان و همکاران، ۲۰۱۹؛ جان‌جوهان و آلانسری، ۲۰۲۰). سطح اولیه‌ای که در امتداد آن انحلال آغاز می‌گردد، اغلب به موازات سطح لایه‌بندی است؛ اگرچه در برخی موارد، این سطح حتی می‌تواند عمود بر سطح لایه‌بندی نیز باشد. عامل کنترل‌کننده اصلی، جهت‌یابی محور تنش خطی است که عموماً قائم بوده و حاصل فشار روباره است (بترست، ۱۹۷۵).

سطوح به‌وسیله تجمع مواد نامحلولی مانند کانی‌های رسی، مواد آلی یا ترکیبات آهن‌دار مشخص می‌شوند. این سطوح تقریباً موازی سطوح لایه‌بندی بوده و به دلیل تغییرات جانبی در میزان حلالیت رسوبات ایجاد می‌شوند. استیلولیت می‌تواند به‌عنوان یک شکستگی غیرساختمانی ناشی از تراکم و انحلال فشاری در طول دیاژنز در نظر گرفته شود (راستیشلی، ۲۰۱۷). سطح استیلولیت همواره بر سطح بیشترین تنش عمود است (تاکر، ۱۹۹۳). این فابریک‌ها مختص فرآیندهای دیاژنتیکی محیط تدفینی هستند که در تمامی رخساره‌های مادستونی، وکستونی، پکستونی و



شکل ۸. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از مواد تجمع‌یافته در امتداد استیلولیت‌ها. این مواد غالباً کانی‌های رسی تشکیل شده‌اند. (تصویر a مربوط به سازند سروک، تصویر b مربوط به سازند ایلام، تصویر c مربوط به سازند سورگاه، تصویر d مربوط به سازند گرو است)

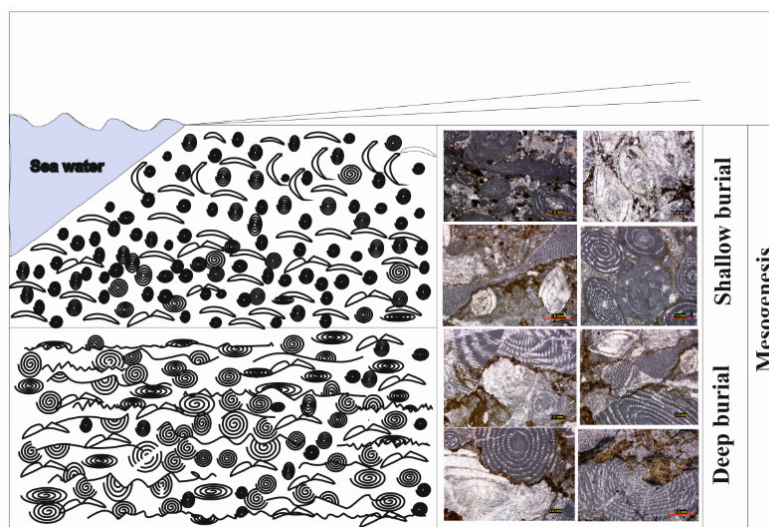
Fig. 8. Electron microscope images of accumulated materials along the stylolites. These materials are often clay minerals. Picture (a) related to Sarvak Formation, picture (b) related to Ilam Formation, picture (c) related to Surgah Formation, picture (d) related to Garu Formation.

۲۰۰۰). دامنه استیلولیت‌ها اغلب در گرینستون و پکستون بیشتر از مادستون و وکستون است و همچنین در آهک‌ها این دامنه نسبت به دولومیت‌ها بیشتر است (ریلسبک، ۱۹۹۳). دامنه استیلولیت‌ها نیز به فراوانی کانی‌های رسی وابسته است (آندرسون و ریلنسبک، ۱۹۹۷). استیلولیت‌ها همچنین به‌صورت دسته‌های موازی، دسته‌های مزدوج،

سطوح ایجاد شده در استیلولیت‌ها می‌تواند به‌صورت ستونی، قله‌هایی با دامنه بزرگی زیاد و کم، سطوح نامنظم، سطوح پشته‌ای و صاف باشد. از نظر بزرگی دامنه، استیلولیت‌ها را به قله‌هایی با دامنه بزرگی زیاد (بیشتر از ۱ میلی‌متر) و استیلولیت‌هایی با قله‌هایی با دامنه بزرگی کم (کمتر از ۱ میلی‌متر) تقسیم می‌کنند (سد و الشهران،

البته، علی‌رغم تأثیر منفی آن‌ها بر کاهش تخلخل و نفوذپذیری، مطالعات دیگری وجود بخش‌هایی با نفوذپذیری بالا در امتداد دامنه‌ها و قله‌های استیلولیت‌ها را نشان داده‌اند (برای مثال: ون جت و همکاران، ۲۰۰۰؛ هریس، ۲۰۰۶). ماهیت دندانهای و مضرسی استیلولیت‌ها و دامنه متوسط تا زیاد آن‌ها سبب تولید تخلخل ثانویه وابسته به فابریک می‌شود (کاروژی و وونبرجن، ۱۹۸۷؛ بریت ویت، ۱۹۸۹؛ لیند و همکاران، ۱۹۹۴). جهت‌گیری استیلولیت‌ها در تعیین خصوصیات سنگ مخزن مهم است، زیرا در جهت عمود بر آن‌ها نفوذپذیری کم می‌شود (نلسون، ۱۹۸۱؛ هود و همکاران، ۲۰۰۴؛ گابریل و ویتاکر، ۲۰۱۶؛ کوهن و همکاران، ۲۰۱۶). مواد نامحلول همراه استیلولیت‌ها شامل کانی‌های رسی، بیتومین، کوارتز، دولومیت، پیریت و فلوریت هستند (پارک و اسکوت، ۱۹۶۸؛ کاروژی و وونبرجن، ۱۹۸۷). کانی‌هایی با قابلیت انحلال کمتر در رأس استیلولیت قرار می‌گیرند و دندانهای بودن این بخش از استیلولیت نیز به همین علت است (ریلسبک، ۱۹۹۳؛ تاکر، ۲۰۰۱). در نهایت می‌توان گفت عوارض ناشی از دیاژنز تدفینی در محدوده دیاژنز مزوژنیک قرار می‌گیرند که عوارض ناشی از تراکم فیزیکی در بخش‌های کم‌عمق تدفین و عوارض ناشی از تراکم شیمیایی در بخش‌های عمیق‌تر تدفین ایجاد می‌شوند (شکل ۹).

دسته‌های نامنظم، شاخه‌ای و ندولی نیز تشکیل می‌شوند. از بافت‌های متداول در استیلوموتل‌ها می‌توان به بافت‌های گرهکی، برشی، لکه‌ای و بافت فشرده اشاره کرد. استیلوموتل‌ها مجراها و مسیرهای بسیار مهمی برای عبور سیالات (آب و نفت) هستند. این مجراها می‌توانند در طی دیاژنز تدفینی عمیق سیالات دیاژنزی (به‌ویژه سیالات دولومیت‌ساز) را از میان خود عبور دهند و ماهیت سنگ را تغییر داده و آن را دولومیتی کنند؛ این پدیده باعث کاهش تخلخل می‌شود (جورجینیو و همکاران، ۲۰۱۶؛ گابریل و ویتاکر، ۲۰۱۶؛ جان‌جوهان و همکاران، ۲۰۱۹؛ جان‌جوهان و آلانسی، ۲۰۲۰). شبکه استیلوموتل‌ها می‌توانند میزان تراوایی سنگ‌ها را نیز تغییر دهند؛ به‌گونه‌ای که در رخساره‌های گل‌پشتیبان، که تراوایی سنگ پایین است، این استیلوموتل‌ها می‌توانند مجراهایی برای عبور سیالات باشند. تمرکز بلورهای دولومیت در مجاری و حواشی استیلولیت‌ها نشان‌دهنده این است که آن‌ها از سیال‌های ناشی از انحلال فشاری در آخرین مراحل تدفین به وجود آمده‌اند (هود و همکاران، ۲۰۰۴؛ جورجینیو و همکاران، ۲۰۱۶؛ گابریل و ویتاکر، ۲۰۱۶؛ جان‌جوهان و همکاران، ۲۰۱۹؛ جان‌جوهان و آلانسی، ۲۰۲۰). دیدگاه کلی در مورد استیلولیت‌ها این است که بر تخلخل و نفوذپذیری سنگ میزبان تأثیر گذاشته، آن‌ها را کاهش می‌دهند و نیز به‌عنوان سدی در برابر جریان سیال عمل می‌کنند (الشهران و سد، ۲۰۰۰؛ هود و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۹. مدل دیاژنتیکی عوارض ناشی از دیاژنز تدفینی (فیزیکی و شیمیایی) در سنگ‌های کربناته (بدون مقیاس)

Fig. 9. Diagenetic model of complications caused by burial diagenesis (physical and chemical) in carbonate rocks (No to scale)

۸- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات سنگ‌نگاری بر روی سازندهای کربناته مورد مطالعه نشان می‌دهد که طیف وسیعی از انواع تغییرات بافتی ناشی از تراکم فیزیکی و شیمیایی در این سنگ‌ها رخ می‌دهد و این فرآیندها در قلمرو دیاژنز مزوژنیک (دیفینی کم‌عمق و عمیق) قرار می‌گیرند. از عوارض ناشی از تراکم فیزیکی در سنگ‌های کربناته می‌توان به انواع تماس بین دانه‌ها (نقطه‌ای، طولی، محدب-مقعر)، ایجاد فابریک دانه‌به‌دانه، چرخش تلسکوپی دانه‌ها، کاهش تخلخل در دانه‌های درشت‌تر به دلیل تغییر بسته‌بندی از حالت کوبیک به حالت رومبوئدری دانه‌ها، قرارگیری دانه‌های طولی به موازات سطوح لایه‌بندی، نازک‌شدگی پوسته آلومک‌ها، شکستگی درجای دانه‌ها، شکستگی پوسته آلومک‌ها و نفوذ سیمان به درون دانه‌ها، شکستگی پوشش میکرایتی بین دانه و سیمان، شکستگی پوشش‌های الییدی، اسپاستولیتی شدن دانه‌های الییدی، له‌شدگی پلوییدها، ریزش پوشش‌های میکرایتی، شکستگی دانه‌ها ناشی از تبلور مجدد بلورهای سیمان، شکستگی زمینه سنگ و ایجاد تخلخل و دگرشکلی پلاستیک دانه‌ها اشاره کرد. عوارض انحلال فشاری پیچیده‌تر بوده و در دسته‌های درزه‌های انحلالی، رگچه‌های انحلالی، فابریک درهم دانه‌ها بر اثر اعمال فشردگی شیمیایی شدید، استیلولیت‌ها و استیلوموتل‌ها قرار می‌گیرند. از عوارض انحلال فشاری ناشی از تأثیر استیلولیت‌ها می‌توان به انحلال دانه و حذف بخشی از آن، انحلال زمینه سنگ، انحلال سیمان، انحلال بلورهای دولومیت در طی دیاژنز تدفینی، ایجاد سدهای دیاژنتیکی از طریق ته‌نشست شیمیایی مواد نامحلول در امتداد آن، تشکیل ندول‌هایی از مواد نامحلول در قله استیلولیت‌ها، استیلولیتی شدن چندمرحله‌ای، جابه‌جایی دانه‌ها نسبت به یکدیگر، تشکیل گرهک‌های دیاژنزی از طریق تشکیل استیلوموتل‌ها، جابه‌جایی شکستگی‌ها، دولومیتی شدن از طریق مجاری استیلولیتی و ایجاد تخلخل استیلولیتی اشاره کرد. سازندهای دوران دوم حوضه‌ی رسوبی لرستان به دلیل تشکیل در حوضه‌ی رسوبی با عمق نسبتاً زیاد، از نظر سنگ‌شناسی دارای سنگ‌آهک‌های رسی هستند و عوارض ناشی از انحلال فشاری (استیلولیت‌ها) بیشتر در این سازندها مشاهده می‌شود؛ در مقابل، سازندهای دوران سوم به دلیل تشکیل در حوضه‌ی رسوبی کم‌عمق و سنگ‌شناسی

غالب پکستونی و گرینستونی، بیشتر آثار ناشی از فشردگی فیزیکی را نشان می‌دهند.

References

- Alshahrhan, A., Sadd, J. L. (2000) Stylolites in Lower Cretaceous carbonate reservoirs, U.A.E: Society for Sedimentary Geology Special Publication, 69: 185-207
- Andrews, L. M., Railsback, L. B. (1997) Controls on stylolitic development: Morphologic, Lithologic, and temporal evidence from bedding-parallel and transverse stylolites from the US Apalachians. *Journal of Geology*, 105(1): 59-73
- Bathurst, R. (1975) Carbonate sediments and their diagenesis, *Developments in Sedimentology*, Elsevier Science, Amsterdam, 658 p.
- Bathurst, R. (1987) Diagenetically enhanced bedding in argillaceous platform limestones: stratified cementation and selective compaction, *Sedimentology*, 34(5): 749-778.
- Braithwaite, C. J. R. (1989) Stylolites as open fluid conduits. *Marine and Petroleum Geology*, 6(1): 93-96
- Budd, D. A., Hammes, U., and Ward, W. B. (2000) Cathodoluminescence in calcite: New insights on Mn-activation, Fe-quenching, and sensitizing by Pb and Zn using synchrotron X-ray fluorescence. *Journal of Sedimentary Petrology*, 70: 217-226.
- Buxton, T. M., and Sibley, D. F. (1981) Pressure solution features in a shallow buried limestone, *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 19-26.
- Carozzi, A. V., Vonbergen, D. (1987) Stylolitic proosity in carbonates a Critical Factor for Deep Hydrocarbon Production. *Journal of Petroleum Geology*, 10(3): 267-282.
- Cooke, M. L., Simo, J. A., Underwood, C. A., and Rijken, P. (2006) Mechanical Stratigraphic controls on fracture
- Croize, D., Renard, F., Gratier, J. P. (2013) Chapter 3- Compaction and proosity reduction in carbonates: A review of observations: theory and experiments: *Advances in Geophysics*, 54: 181-238.
- Dunham, R. J. (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists*, 108-121.
- Dunnington, H. V. (1967) Aspects of diagenesis and shape change in stylolitic limestone reservoirs, *Proc. World pet. Congr. 7th*, Mexico, 2: 339-352.
- Ebner, M., Piazzolo, S., Renard, F., Kohen, D. (2010) Stylolites interfaces and surrounding Matrix material: Nature and role of heterogeneities in roughness and microstructural development. *Journal of Structural Geology*, 32(8): 1070-1084.

- Flügel, E. (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis Interpretation and Application*. Springer-Verlag, Berlin, 976p.
- 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.
- Giorgioni, M., Iannace, A. D., Amore, M., Dati, F., Galluccio, L., Guerriero, V. (2016) Impact of early dolomitization on multi-scale petrophysical heterogeneities and fracture intensity of low-porosity platform carbonates (Albian-Cenomanian, southern Apennines, Italy). *Marine and Petroleum Geology*, 73: 462–478.
- Gregg, J. M., Bish, D. L., Kaczmarek, S. E., Machels, H. G. (2015) Mineralogy, nucleation and growth of dolomite in the laboratory and sedimentary environment: A review, *Sedimentology*, 62(6): 1749–1796.
- Guo, C., Chen, D., Qing, H., Dong, S., Li, G., Wang, D. (2016) Multiple dolomitization and later hydrothermal alteration on the Upper Cambrian–Lower Ordovician carbonates in the northern Tarim Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 72: 295–316.
- Harris, N. B. (2006) Low-porosity haloes at stylolites in the feldspathic Upper Jurassic Ula sandstone, Norwegian North Sea: an integrated petrographic and chemical mass – balance approach. *Journal of Sedimentary Research*, 76 (3): 444–459.
- 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): implication for a volcanic influence: *Marine and Petroleum Geology*, 69: 38–52.
- Janjuhah, H. T., Alansari, A. (2020) Offshore carbonate facies characterization and reservoir quality of Miocene rocks in the southern margin of South China Sea. *Acta Geol. Sin.-Engl. Ed.*, 94: 1547–1561.
- Janjuhah, H. T., Alansari, A., Vintaned, J. A. G. (2019) Quantification of microporosity and its effect on permeability and acoustic velocity in Miocene carbonates, Central Luconia, offshore Sarawak, Malaysia. *J. Pet. Sci. Eng.* 175: 108–119.
- Koehn, D., Rood, M. P., Beaudoin, N., Chung, P., Bons, P. D., Gomez-Rivas, E. (2016) A new stylolite classification scheme to estimate compaction and local permeability variations. *Sedimentary Geology*, 346: 60–71.
- Kreitsmann, T., Külaviir, M., Lepland, A., Paiste, K., Paiste, P., Prave, A. R., Sepp, H., Romashkin, A. E., Rychanchik, D. V., Kirsimäe, K. (2019) Hydrothermal dedolomitisation of carbonate rocks of the Paleoproterozoic Zaonega Formation, NW Russia-Implications for the preservation of primary C isotope signals, *Chemical Geology*, 512: 43–57.
- Lambert, L., Durllet, C., Loreau, J. P., Marnier, G. (2006) Burial dissolution of micrite in Middle East carbonate reservoirs (Jurassic Cretaceous), keys for recognition and timing, *Marine and Petroleum Geology*, 23: 79–92.
- Logan, B. W., Semeniuk, V. (1976) Dynamic metamorphism, processes and products in Devonian carbonate rocks Canning Basin. Special Publication Geological Society of Australia, Western Australia, 6:113.
- Machel, H. (2005) Investigations of Burial Diagenesis in Carbonate Hydrocarbon Reservoir Rocks. 32 (3), *Geoscience Canada*, pp. 103–128.
- Madlen, R., Wilson, M. (2013) Diagenesis of a SE Asian Cenozoic carbonate platform margin and its adjacent basinal deposits, *Sedimentary Geology*, 286–287: 20–38.
- Nelson, R. A. (1981) Significance of fracture sets associated with stylolite zones: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, 65: 2417–2425.
- Nenna, F. A., Aydin, A. (2011) The formation and growth of pressure solution seams in clastic rocks: A field and analytical study. *Journal of Structural Geology*, 33: 633–643.
- Neveux, L., Grgic, D., Carpentier, C., Pironon, J., Truche, L. (2014) Experimental simulation of chemo- mechanical processes during deep burial diagenesis of carbonate rocks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119 (2): 984–1007. <https://doi.org/10.1002/2013JB010516>.
- Nicolaides, S., Wallace, M. W. (1997) Submarine cementation and subaerial exposure in Oligo-Miocene temperate carbonates, Torquay Basin, Australia. *Journal of Sedimentary Research*, 67 (3): 397–410.
- Nygard, R., Gutierrez, M., Gauta, R., Hoeg, K. (2004) Compaction behavior of argillaceous sediments as function of diagenesis., *Marine and petroleum Geology*, 21: 349–362.
- Park, W. C., Schot, E. H. (1968) Stylolites: their nature and origin. *Journal of Sedimentary Petrology*, 38 (1): 175–191.
- Rahimpur-Bonab, H. (2010) *Carbonate Petrology. Reservoir Quality Consideration*. Published of University of Tehran. 554 p. (in Persian).
- Rahimpur-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A. H., Navidtalab, A., Mehrabi, H. (2014) Appraisal of intra reservoir barriers in the Permo-Triassic successions of the central persian gulf, offshore Iran, *Geological Acta*, 12 (1): 87–107.
- Railsback, L. B. (1993) Lithologic controls on morphology of pressure-dissolution surfaces (stylolites and dissolution seams) in Paleozoic carbonate rocks from the mideastern United States. *Journal of Sedimentary Research*, 63 (3): 513–522.

- Ronchi, P., Jadoul, F., Ceriani, A., Giulio, A. D., Scotti, P., Ortenzi, A., Massara, E. P. (2011) Multistage dolomitization and distribution of dolomitized bodies in Early Jurassic carbonate platforms (Southern Alps, Italy), *Sedimentology*, 58: 532–565.
- Rustichelli, A., Iannace, A., Tondi, E., Di Celma, C., Cilona, A., Giorgioni, M. (2017) Fault-controlled dolomite bodies as palaeotectonic indicators and geofluid reservoirs: New insights from Gargano Promontory outcrops. *Sedimentology*, 64(7): 1871–1900. <https://doi.org/10.1111/sed.12378>.
- Sadd, J., Alsharhan, A. (2000) Stylolites in lower cretaceous carbonate reservoir, U.A.E. SEPM Special publication, 69: 185-207.
- Safaricz, M., Davison, I. (2005) Pressure solution in chalk. *AAPG Bulletin*, 89(3): 383-401.
- Strasser, A., Pittet, B., Hug, W. (2015) Palaeogeography of a shallow carbonate platform: The case of the Middle to Late Oxfordian in the Swiss Jura Mountains. *Journal of Palaeogeography*, 4(3): 251–268. <https://doi.org/10.1016/j.jop.2015.08.005>.
- Tucker, M. E. (2001) *Sedimentary Petrology*. 3rd Edition, Blackwell, Oxford, 260 p.
- Tucker, M. E., Wright, V. P. (1990) *Carbonate sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, 482 p.
- Tucker, M. E. (1993) Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy, In: V.P. Wright (editor), *Sedimentology Review*, Blackwells, Oxford, 51-72.
- Van Geet, M., Swennen, R., Wevers, M. (2000) Quantitative analysis of reservoir rocks by microfocus X-ray computerized tomography: *Sedimentary Geology*, 132: 25-36.
- Zhu, D., Meng, Q., Jin, Z., Liu, Q., Hu, W. (2015) Formation mechanism of deep Cambrian dolomite reservoirs in the Tarim basin, northwestern China, *Marine and Petroleum Geology*, 59: 232-244.