




Research Article

Silicification of the Eocene carbonate deposits in southeast of Nizar, Qom

Amir Mohammad Jamali¹, Ali Mobasher¹, Yadolah Ezampanah^{*2} , Zohreh darvish³

1-Exploration Directorate, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

2-Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3-Department of Geology, Faculty of Science, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 18 Sep 2023 Accepted: 03 Jun 2024

Extended Abstract

Introduction

The Eocene deposits in the study area composed of a thick succession of pyroclastic, volcanic, and sedimentary rocks (Hajian, 1970). This study is mainly focused on the E5 lithozone in Takht-e Chakab area which is composed of tuff, sedimentary rocks and rhyolite. Based on Hajian (1970), the Eocene deposits are subdivided into 6 informal lithozones (E1 to E6). i.e., the E1 unit are attributed to Ypresian–Lutetian and the E6 unit is attributed to Priabonian.

Materials and Methods

In order to determine effective diagenetic processes in the studied succession, one stratigraphic section is selected which is located in Takht-e Chakab anticline, 35 km north of Delijan city. 78 thin sections were prepared and analysed.

Results and Discussion

The component allochems identified in the carbonate E5-5 lithozone including skeletal grains especially benthic foraminifera (Nummulitidae and Discocyclinidae), planktonic foraminifera, bivalve, gastropod, serpulids, bryozoa, red algae and corals. Hybrid samples consist of in-situ carbonate particles, clastic components, ash and volcanic particles. Petrographic studies of the studied deposits indicate that these sediments severely affected by diagenetic processes, which led to constructive and destructive porosity. One of the diagenetic processes that affected Eocene carbonate deposits in burial environments is compaction. The mechanical compaction led to grain packing, deformation and sometimes crushed of the bioclasts. The grains contacts suturing and stylolite features are evidence of chemical compaction. Silicification is the main diagenetic processes in the studied section. Based on petrographic study some types of diagenetic silicification including chalcedony, micro and megaquartz that occurred in the form of secondary and replacement. Both selective and non-selective silicification is also recorded in some samples. Selectively silica replacement in the shell fragments, and pores filling siliceous cements were mainly filled interparticle porosities. The silica replacement of chalcedony type in bioclasts occurred as spherulitic replacement and controlled ones.

Citation: Jamali, A.M. et al, 2024. Silicification of the Eocene carbonate deposits in southeast of Nizar, Qom, *Res. Earth. Sci.*: 15(3), (39-56) DOI: 10.48308/esrj.2023.104048

* Corresponding author E-mail address: y.ezampanah@basu.ac.ir





The chalcedony fibers have radial pattern in the spherulitic replacement type and independent from microstructures of the test and its orientation. In contrast to spherulitic replacement, in the controlled type of replacement the position and configuration of chalcedony fibrous follow the microscopic structures of the test and showing preferential orientation. The microcrystalline quartz with equant crystals is less than 20 μm (Maliva and Siever, 1988). In some of bioclasts microquartz is replaced in the form of silica. This process occurred in some bioclasts such as *Assilina* and *Nummulites*. Megaquartz occurred as intraparticle and interparticle cements. While the interparticle cement involved higher frequently. The petrography of the studied succession reveals that the selective silicification is mostly take place in *Assilina*, *Nummulites* and, also ostra fragments. The effects of this process are not the same in different *Nummulites* species, as it is very common in larger shells rather than smaller ones. Silicification is more common in hyaline foraminifera, while it is absents in porcelaneous ones. Typically, this process is also different in hyaline foraminifera test (very developed in *Assilina* and *Nummulites*, it is, rare in *Discocyclina*, *Actinocyclina* and *Asetrocyclina*). The silica source for silicification is usually provided via the biogenic and volcanic activities (Robertson, 1977). Some authors considered the dissolution of biogenic Opal and or volcanic glasses in as the sources of silica in connate waters, while others considered clay minerals alteration (Nobel and Van Stempvoort, 1989). Based on rare occurrences of fossils with siliceous tests such as radiolarian and sponge spicules in the studied sections, the organic silica for this widespread silicification is not rational, so the volcanic materials are a valid source for silicification in these deposits (Okhravi and Mobasheri, 1997).

Conclusion


The carbonate deposits belong to lithozone 5 (E5) consist of limestone, tuffa limestone and marl. Hybrid limestones are also observed in some horizons. Silicification as the main diagenetic process determined as replacing silica and pore-filling siliceous cement that influenced the studied strata. Skeletal factors play vital roles in type and amounts of silicification. Based on petrographic analysis, perforate hyaline foraminifera have undergo more silicification process in compare with other present bioclasts.

Keywords: Diagenetic processes, Eocene, Nizar Qom, Central Iran Basin.





سیلیسی شدن در نهشته‌های کربناته ائوسن جنوب خاور نیزار قم

امیرمحمد جمالی^۱، علی مبشری^۱، یداله عظام پناه^{۲*} , زهره درویش^۳

۱- مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۳- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۴

چکیده گسترده

مقدمه

نهشته‌های ائوسن در منطقه مورد مطالعه از توالی ضخیمی از سنگ‌های پیروکلاستیک، آتشفشانی و رسوبی تشکیل شده است (Hajian, 1970). در این پژوهش نهشته‌های کربناته متعلق به واحد سنگی E₅ در منطقه تخت چکاب (جنوب خاور نیزار) مورد بررسی قرار گرفته که به طور عمده از توف، سنگ‌های رسوبی و همچنین ریولیت تشکیل شده است. برحسب مطالعات (Hajian, 1970) نهشته‌های ائوسن به ۶ واحد سنگی غیر رسمی (E₁ تا E₆) تقسیم شده است، به طوری که واحد E₁ به ایبریزین-لوتسین و واحد E₆ به پریابونین نسبت داده شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور شناسایی فرآیندهای دیاژنتیکی موثر در این نهشته‌ها، یک برش چینه‌شناسی در تقادیس تخت چکاب در ۳۵ کیلومتری شمال دلیجان انتخاب و مطالعه شده است. در این راستا تعداد ۸۷ مقطع نازک آماده و مطالعه شده است.

نتایج و بحث

آلوکم‌های عمده تشکیل دهنده واحد سنگی کربناته E₅ از اجزای اسکلتی روزن‌داران کفزی (Nummulitidae and Discocyclinidae) و مقداری پلانکتون، دوکفه‌ای‌ها، شکم‌پایان و به میزان کمتر سرپولید، بریوزوئر، جلبک قرمز و گاه خرچنگ و مرجان تشکیل شده‌اند. نمونه‌ها یا سنگ آهک‌های هیبرید در نمونه‌های مورد مطالعه از اجزای کربناته درون حوضه‌ای، اجزای تخریبی برون حوضه‌ای و خاکسترها و قطعات آتشفشانی تشکیل شده‌اند. مطالعه پتروگرافی نهشته‌های مورد مطالعه بیانگر آن هست که این نهشته‌ها به شدت تحت تاثیر فرآیندهای دیاژنتیکی قرار گرفته‌اند و منجر به ایجاد و یا از بین رفتن تخلخل شده‌اند. از فرآیندهای دیاژنتیکی که در محیط تدفینی بر روی نهشته‌های کربناته ائوسن تاثیر نموده است، فرآیند فشردگی است که منجر به آرایش نزدیک‌تر دانه‌ها، تغییر شکل و گاه شکستگی بایوکلاست‌ها شده است. ایجاد مرزهای مضرس بین دانه‌ها و همچنین استیلولیت از نشانه‌های تراکم شیمیایی در نهشته‌های مورد مطالعه است. بارزترین پدیده دیاژنتیکی در نهشته‌های مورد مطالعه فرآیند سیلیسی شدن است. براساس بررسی نمونه‌ها، انواع سیلیس دیاژنتیکی شامل کلسدونی، میکروکوارتز و مگاکوارتز شناسایی شده است که به صورت ثانویه و جانیشینی ایجاد شده‌اند. این فرآیند به دو صورت انتخابی و غیر انتخابی در برخی از نمونه رخ داده است.

استناد: جمالی، ام. و همکاران، ۱۴۰۳. سیلیسی شدن در نهشته‌های کربناته ائوسن جنوب خاور نیزار قم، پژوهشهای دانش زمین:

DOI: 10.48308/esrj.2023.104048، (۵۶-۳۹)، (۳) ۱۵

E-mail: y.ezamanah@basu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



سیلیس جانشینی به صورت انتخابی در پوسته فسیل‌ها ایجاد شده است و سیمان سیلیسی پرکننده حفرات در خلل و فرج رسوبات به ویژه در تخلخل‌های درون‌دانه‌ای دیده می‌شود. فرآیند جانشینی سیلیس از نوع کلسدونی در بایوکلاست‌ها، در دو نوع بافت جانشینی اسفرولیتی و جانشینی کنترل شده صورت گرفته است. در جانشینی اسفرولیتی، رشته‌های کلسدونی دارای آرایش شعاعی هستند و از ساختمان میکروسکوپی صدف (Microstructure) و جهت یافتگی آن تبعیت نمی‌کند. در جانشینی کنترل شده، نحوه قرارگیری و آرایش فیبرهای کلسدونی از ساختمان میکروسکوپی پوسته تبعیت می‌کنند و جهت‌یافتگی ترجیحی منطبق با ساختمان میکروسکوپی صدف را نشان می‌دهند. کوارتز میکروکریستالین دارای بلورهای هم بعد، با قطری کم‌تر از ۲۰ میکرون هستند (Maliva and Siever, 1988). در برخی از بایوکلاست‌ها، کوارتز میکروکریستالین به صورت سیلیس جانشینی ایجاد شده است. این فرآیند در برخی از بایوکلاست‌ها مانند *Assilina* و *Nummulites* مشاهده شده است. بلورهای مگا کوارتز به‌طور عمده از نوع سیمان بین‌دانه‌ای و سیمان درون‌دانه‌ای است که از این میان سیمان درون‌دانه‌ای گسترش بیشتری دارد. مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک نشان می‌دهد که سیلیسی شدن انتخابی در بین بایوکلاست‌ها، بیشترین تاثیر را در پوسته *Assilina* و *Nummulites* و نیز استراها داشته است. مطالعات انجام شده بیانگر آن است که سیلیسی شدن در گونه‌های مختلف جنس *Nummulites* نیز به صورت متفاوت عمل نموده است، به طوری که این پدیده در گونه‌هایی با پوسته‌های بزرگ‌تر بسیار متداول‌تر از گونه‌های با پوسته‌های کوچک‌تر است. بیشترین میزان سیلیسی شدن در روزن‌داران با پوسته هیالین دیده می‌شود، اما این پدیده در روزن‌داران با پوسته‌های پورسلانوز مشاهده نشده است. تاثیر این فرآیند در بین روزن‌داران با پوسته هیالین نیز متفاوت است، به نحوی که بیشترین سیلیسی شدن در جنس‌های *Assilina* و *Nummulites* دیده می‌شود، اما در برخی از قبیل *Actinocyclus*، *Discocyclus* و *Asetrocyclina* این فرآیند تاثیر نکرده و یا به صورت نادر به مقدار بسیار جزئی تاثیر کرده است. سیلیس مورد نیاز جهت پدیده سیلیسی شدن از دو منشا آلی و یا آتشفشانی تامین می‌شود (Robertson, 1977). بسیاری از محققین تمرکز سیلیس در آب‌های روزه‌ای رسوبات را ناشی از انحلال اپال با منشا زیستی (Scholle and Ulmer-Scholle, 2003; Chang et al, 2018) و یا شیشه آتشفشانی می‌دانند و از سویی دیگر برخی نیز دگرسان شدن کانی‌های رسی را منشا احتمالی دیگر برای این مسئله در نظر گرفته‌اند (Nobel and Van Stempvoort, 1989). با توجه به مقدار ناچیز فسیل‌های با پوسته سیلیسی به ویژه رادیولر و سوزن‌های سیلیسی اسفنج در نهشته‌های مورد مطالعه، نمی‌توان منشا آلی برای پدیده سیلیسی شدن در نظر گرفت، بنابراین سیلیس مورد نیاز جهت پدیده سیلیسی شدن در مناطق مورد مطالعه از منشا آتشفشانی تامین شده است (Okhravi and Mobasheri, 1998).

نتیجه‌گیری

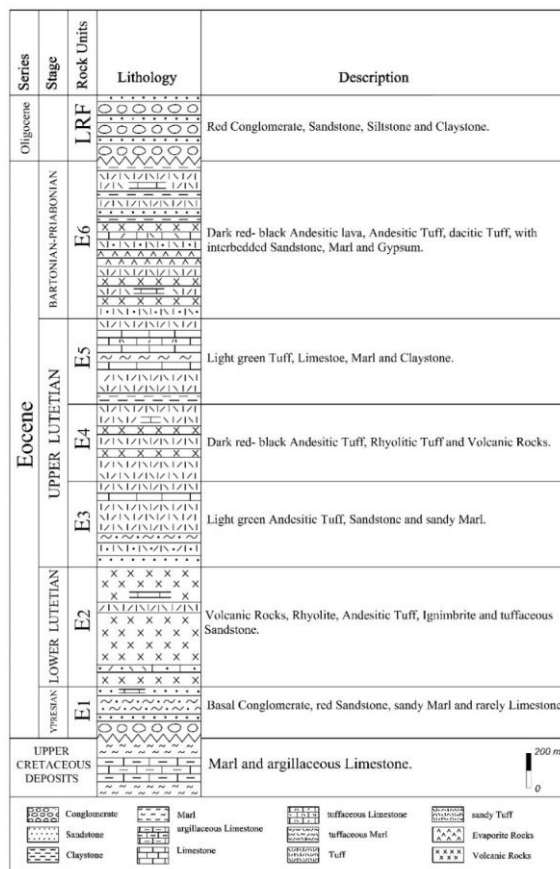
نهشته‌های کربناته متعلق به واحد سنگی E5 به‌طور عمده از سنگ آهک، سنگ آهک توفی و مارن تشکیل شده است. این نهشته‌ها در برخی از افق‌ها به صورت سنگ آهک‌های هیبرید می‌باشند. فرآیند سیلیسی شدن مهم‌ترین پدیده دیاژنتیکی شناخته شده در نهشته‌های مورد مطالعه است که به دو صورت سیلیس جانشینی و سیمان سیلیسی پرکننده خلل و فرج سنگ‌ها مشاهده می‌شود. فاکتورهای اسکلتی نقش بارزی در میزان و نوع سیلیسی شدن ایفا نموده‌اند. براساس مطالعات پتروگرافی سیلیسی شدن روزن‌داران با پوسته هیالین را نسبت به سایر قطعات بایوکلاستی بیشتر تحت تاثیر قرار داده است.

واژگان کلیدی: فرآیندهای دیاژنتری، ائوسن، نيزار قم، حوضه ايران مرکزی.

مقدمه

دوره گرمایی شدیدی که از پالئوسن شروع شده بود در ابتدای ائوسن به اوج خود رسید به طوری که زمین گرم‌ترین شرایط خود را در دوران سنوزوئیک در زمان ائوسن تجربه کرده است (Westerhold et al, 2020; Westacott et al, 2023). رویدادهای ماگمایی و سنگ‌های آتشفشانی بسیار وسیع در کمربند ارومیه دختر که از پالئوسن پسین شروع شده بود، در زمان ائوسن به اوج گسترش خود رسید (McQuarrie et al, 2003; Moghadam et al, 2015; Rajabpour et al, 2017). رخنمون‌های ائوسن زیرین قدیمی‌ترین رسوبات مربوط به دوران سنوزوئیک در حوضه قم را تشکیل می‌دهند و زیربنای این حوضه از سری‌های ولکانیکی ائوسن تشکیل شده است (Emami, 1991). در این ناحیه شواهدی مبنی بر رسوب‌گذاری در زمان پالئوسن وجود ندارد. عملکرد فاز زمین‌ساختی لارامید در اواخر کرتاسه پسین - آغاز سنوزوئیک سبب چین‌خوردگی و در نتیجه ایجاد بلندی‌های جدید شده است. پس از تاثیر این

فاز کوهزایی، فرسایش ارتفاعات موجب شد تا نهشته‌های آواری قاعده ائوسن به صورت ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی رخنمون‌های قدیمی‌تر رسوب‌گذاری نماید (Hajian, 1970). در این پژوهش نهشته‌های کربناته متعلق به واحد سنگی E₅ در جنوب خاور نیزار مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در زیرپهنه آتشفشانی ارومیه- دختر در حوضه ایران مرکزی قرار دارد. بیشتر سنگ‌های آذرین این کمربند در زمان ائوسن ایجاد و استقرار یافته‌اند (Hajian, 1970). در زمان ائوسن توالی ضخیمی از سنگ‌ها با خاستگاه آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی دریایی و قاره‌ای با ستبرای بیش از سه تا چهار هزار متر بر جای گذاشته شده است (Hajian, 1970; Alavi, 2007; Verdel et al, 2011). این برونزدها به‌طور عمده شامل توف و آندزیت با میان لایه‌هایی از نهشته‌های کربناته، تخریبی و تبخیری است. رخنمون‌های ائوسن در منطقه مورد مطالعه به واحدهای رسمی تقسیم‌بندی نشده‌اند. این برونزدها در برگ‌برنده شش واحد سنگی E₁ تا E₆ می‌باشند (Hajian, 1970) (شکل ۱).



شکل ۱: ستون چین‌شناسی شماتیک منطقه تفرش و آشتیان- نراق.

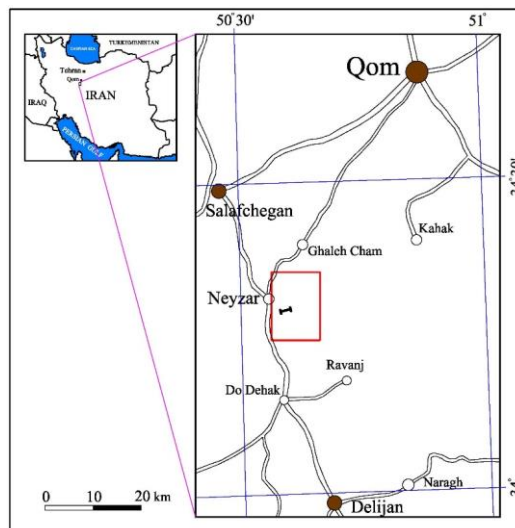
(Mousaveian, 1997). در این ناحیه نهشته‌های سازند قرمز زیرین (ائوسن پسین-الیگوسن پیشین) به صورت ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی واحدهای مختلف نهشته‌های ائوسن قرار گرفته‌اند.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه پتروگرافی و شناسایی فرآیندهای دیاژنتیکی موثر در این نهشته‌ها، یک برش چینه‌شناسی در تاقدیس تخت‌چکاب در ۳۵ کیلومتری شمال دلیجان انتخاب و مطالعه شده است. این برش در ۴ کیلومتری شمال-شمال باختر معدن گچ سیمان سپاهان (معدن گچ حاجی‌آباد نیزار) واقع شده و قاعده آن دارای مختصات جغرافیایی $58^{\circ} 15' 58''$ عرض شمالی و $50^{\circ} 35' 20''$ طول خاوری است (شکل ۲). در این مطالعه در مجموع ۸۷ مقطع نازک مورد بررسی قرار گرفته است که از این تعداد، ۴۶ نمونه مربوط به نهشته‌های کربناته واحد E₅₋₅ بوده و ۴۱ نمونه نیز از واحدهای مختلف ائوسن، شامل واحدهای ولکانیکی، آذرآواری و تبخیری برداشت شده است.

واحد کربناته مورد مطالعه در این پژوهش، بخشی از واحد سنگی E₅ را تشکیل می‌دهد. واحد سنگی E₅ که به سری سبز بالایی موسوم است، از توف، سنگ‌های رسوبی و همچنین ریولیت تشکیل شده است. این واحد سنگی در منطقه خاور نیزار از توف‌های ماسه‌ای سبز تیره تا خاکستری، توف‌های سبز، شیل توفی، گچ، سنگ آهک و مارن تشکیل شده است. افق‌های فسیل‌دار در بخش بالایی سری سبز بالایی نشان دهنده سن لوتسین پسین است، اما گاهی ردیف‌هایی از آن تا زمان ائوسن پسین ادامه می‌یابد (Hajian, 1970).

در زمان تشکیل سری سبز بالایی، ولکانیسم‌های اسیدی بسیار پراهمیت بوده و توف‌های اسیدی (ریولیتی تا ریوداسیتی) و گدازه‌های ریولیتی را به وجود آورده است (Emami, 1991). در منطقه مورد مطالعه در واحد سنگی E₅ یا سری سبز بالایی یک واحد لیتولوژیکی کربناته به نام E₅₋₅ وجود دارد. این واحد لیتولوژیکی با ستبرای ۲۱۶/۵ متر از سنگ آهک، سنگ آهک توفی، مارن کرم مایل تا قهوه‌ای روشن و سبز و گاه توف تشکیل شده است. سن این نهشته‌ها لوتسین پسین تا پریابونین تعیین شده است



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.

مطالعه از سه دسته اجزای کربناته درون حوضه‌ای، اجزای تخریبی برون حوضه‌ای و خاکسترها و قطعات درشت‌تر آتشفشانی (هم زمان با رسوب‌گذاری) تشکیل شده‌اند. این اجزا انواع متنوعی از رسوبات را تشکیل می‌دهند (Zuffa, 1980). آلوکم‌های موجود در نمونه‌های مورد مطالعه، به‌طور عمده از اجزای اسکلتی به ویژه روزن‌داران کفزی (به

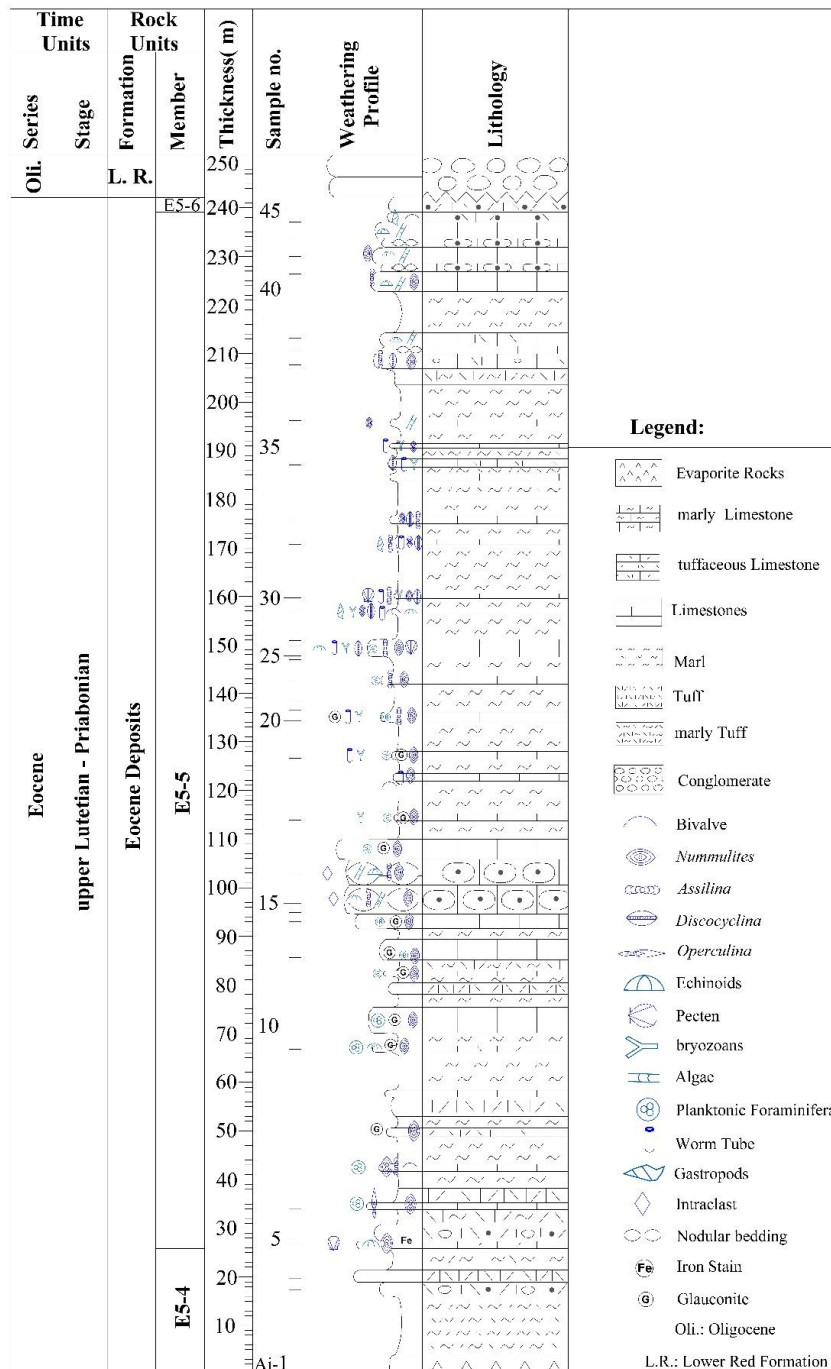
نتایج

پتروگرافی نهشته‌های مورد مطالعه

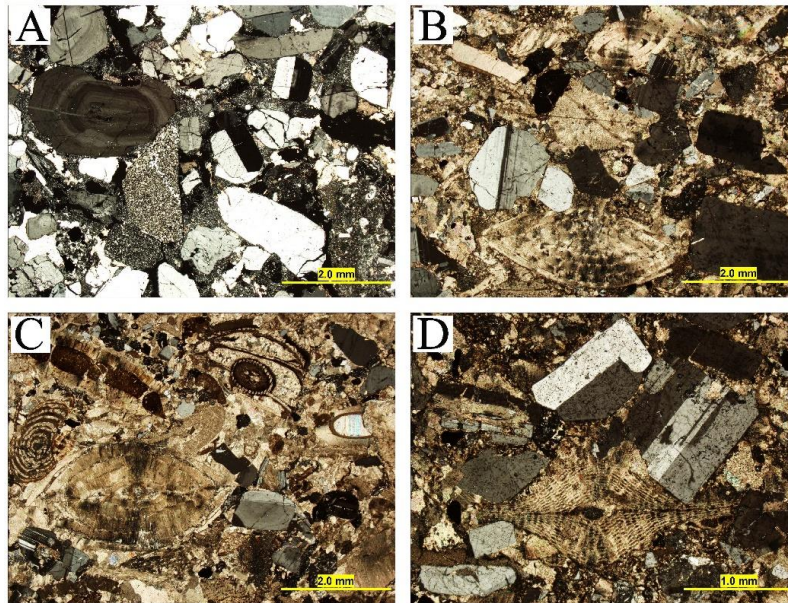
واحد کربناته E₅₋₅ به‌طور عمده از سنگ آهک، سنگ آهک توفی و مارن تشکیل شده است. این نهشته‌ها در برخی از افق‌ها به صورت سنگ آهک‌های هیبرید^۱ می‌باشند (شکل-های ۳ و ۴). سنگ آهک‌های هیبرید در نمونه‌های مورد

رسوبی و روش سوم قطعات آواری حاصل از تخریب سنگ-های آتشفشانی قدیمی تر، بنابراین اجزای آتشفشانی به طور کلی شامل اپی کلاستیک ها و پیرو کلاستیک ها می باشند (Zuffa, 1980). قطعات اپی کلاستیکی فرسایش و حمل و نقل را تحمل نموده و برخی از آن ها دارای گردشگری هستند.

خصوص افراد خانواده Nummulitidae و Discocyclinidae)، دوکفه ای ها و شکم پایان و روزن داران پلانکتونی و به میزان کمتر سرپولید، بریوزوئر، جلبک قرمز و گاه خرچنگ و مرجان تشکیل شده اند. قطعات آتشفشانی به سه روش وارد حوضه رسوبی می شوند. روش اول در اثر فعالیت آتشفشان های زیر دریایی هم زمان با رسوب گذاری، روش دوم در اثر فعالیت آتشفشان های خارج از حوضه



شکل ۳: ستون چینه شناسی نهشته های کربناته مربوط به واحد E5 در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴: A: توف کریستالین حاوی خاکسترهای کریستالین به ویژه پلاژیوکلازهای یوهدرال و ساب‌هدرال و همچنین خاکسترهای لیتیک، B تا D: سنگ آهک‌های هیبرید با اجزای کربناته درون حوضه‌ای (به ویژه اجزای اسکلتی از قبیل روزن‌داران کفزی) و خاکسترهای آتشفشانی (کلیه تصاویر با نور پلاریزه عکس‌برداری شده‌اند).

فلدسپات هستند. خرده‌سنگ‌ها به‌طور عمده آندزیتی بوده، اما گاهی به صورت شیشه‌های آتشفشانی مشاهده می‌شوند. خرده‌سنگ‌های رسوبی نیز در برخی از نمونه‌ها مشاهده می‌شوند. این قطعات براساس جنس ذرات و مقدار حمل‌شدگی، به صورت دانه‌های بسیار گرد شده تا دانه‌های زاویه‌دار می‌باشند.

فرآیندهای دیاژنتیکی

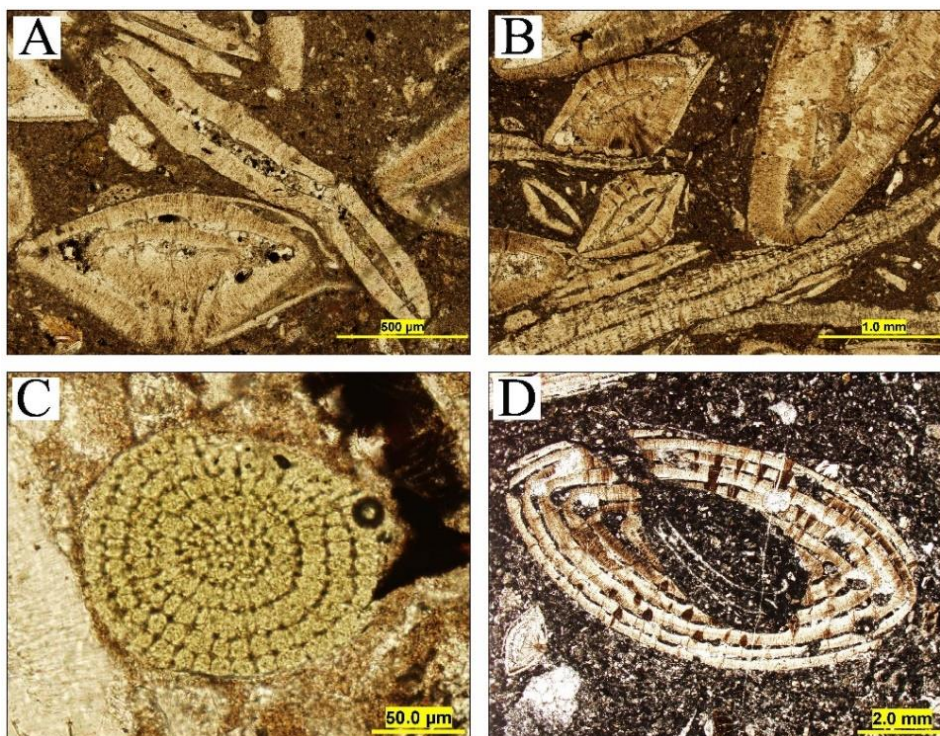
مطالعه نهشته‌های کربناته به سن لوتسین پسین تا پریابونین نشان می‌دهد که این رسوبات فرآیندهای پیچیده دیاژنتیکی هم‌زمان با رسوب‌گذاری تا شرایط تدفینی و متئوریک را تحمل کرده‌اند. این فرآیندها موجب ایجاد و یا از بین رفتن تخلخل شده‌اند. تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای و تخلخل ناشی از شکستگی از انواع تخلخل‌های مشاهده شده در نهشته‌های مورد مطالعه می‌باشند. بیشتر این خلل و فرج‌ها در اثر پشدگی توسط کلسیت و یا سیلیس مسدود شده‌اند. از فرآیندهای دیاژنتیکی که در محیط تدفینی بر روی نهشته‌های کربناته ائوسن تاثیر نموده است، فرآیند فشردگی است که در اثر افزایش فشار حاصل از وزن طبقات بالایی ایجاد شده است. تاثیر فشردگی در رسوبات کربناته به دو صورت مکانیکی و شیمیایی است (Tucker and Wright, 1990). فشردگی مکانیکی منجر به آرایش نزدیک‌تر دانه‌ها، تغییر شکل و گاه

قطعات پیروکلاستیکی بر اثر فوران آتشفشان‌های زیردریایی و یا آتشفشان‌های خارج از دریا (هم‌زمان با رسوب‌گذاری)، به‌طور مستقیم وارد حوضه رسوبی می‌شوند. پیروکلاستیک‌ها شامل قطعات شارد، کریستال‌ها، لیتیک‌ها و پومیس‌ها هستند (Lajoie and Stix, 1994). این قطعات در اثر نیروی ثقل، به‌طور ریزشی یا جریان‌ی، در خشکی یا زیر آب رسوب می‌کنند. سرعت ته‌نشینی این ذرات به وزن مخصوص، شکل و اندازه قطعات بستگی دارد (Zuffa, 1980). فلدسپات‌ها در اکثر رخساره‌های کربناته هیبرید وجود دارد و به‌طور عمده از پلاژیوکلاز و به ندرت سانیدین تشکیل شده‌اند. بیشتر فلدسپات‌ها یوهدرال و تجزیه نشده هستند، اما برخی از آن‌ها به شدت تجزیه شده‌اند. کوارتز از دیگر اجزای تخریبی تشکیل دهنده رخساره‌های مورد مطالعه می‌باشد.

این کانی به صورت اجزای آتشفشانی هم‌زمان با رسوب‌گذاری و یا تخریبی و نیز دیاژنتیکی وجود دارد. کوارتز آتشفشانی به شکل دانه‌های منظم و یا نیمه منظم با سطوح صاف و مستقیم و همچنین فرورفتگی‌های خلیجی شکل یافت می‌شود. این کوارتزها دارای خاموشی مستقیم، فاقد اینکلوزیون و شفاف هستند. خرده‌سنگ‌های آتشفشانی از دیگر اجزای تخریبی رخساره‌های مورد مطالعه می‌باشند. این قطعات اغلب دربردارنده بلورهای کوچک و نازک

روزن‌داران (Flügel, 2010) و گاه به صورت کاملاً جانشین شده با رادیولرها مشاهده می‌شود (شکل ۵ C). در برخی از نمونه‌ها آثار حفاری^۲ بر روی پوسته موجودات توسط موجودات حفار دیده می‌شود (شکل ۵ D).

شکستگی بایوکلاست‌ها شده (شکل ۵ A) و تراکم شیمیایی موجب ایجاد مرزهای مضرس بین دانه‌ها (شکل ۵ B) و همچنین استیلولیت شده است. گلوکونیتی‌شدن از دیگر فرآیندهای مشاهده شده در نمونه‌های مورد مطالعه است و به صورت دانه‌های مجزا و یا به صورت درج‌ازا درون حجرات



شکل ۵: A: فشردگی مکانیکی و شکستگی در بایوکلاست‌ها، B: تراکم شیمیایی و ایجاد مرزهای مضرس در بین برخی از بایوکلاست‌ها، C: رادیولر جانشین شده توسط گلوکونیت، D: حفاری پوسته *Nummulites* توسط موجودات حفار.

تراکم سنگ‌ها می‌شود (Guilhaumou et al, 1998; Menezes et al, 2019). این پدیده در نهشته‌های مورد مطالعه به دو صورت سیلیس جانیشینی و سیمان سیلیسی پرکننده خلل و فرج سنگ‌ها مشاهده می‌شود. سیلیس جانیشینی به صورت انتخابی در پوسته فسیل‌ها ایجاد شده است و سیمان سیلیسی پرکننده حفرات در خلل و فرج رسوبات به ویژه در تخلخل‌های درون‌دانه‌ای دیده می‌شود. بر اساس مطالعات ویلیامز و همکاران (Williams et al, 1985) در روند عمومی سیلیسی‌شدن، اپال A که همان لجن سیلیسی بیوژنیک است، ابتدا به اپال A' یا سیلیس ثانویه آمورف تغییر می‌یابد و پس از تبدیل به اپال CT، به اپال CT منظم و در نهایت به کوارتز میکروکریستالین تبدیل می‌شود (Matysik et al, 2018). انواع سیلیس دیاژنتزی شناسایی شده در نهشته‌های مورد مطالعه به شرح زیر است.

مطالعه پتروگرافی نهشته‌های کربناته ائوسن نشان می‌دهد که بارزترین پدیده دیاژنتیکی در رسوبات مورد مطالعه فرآیند سیلیسی‌شدن است که در ذیل شرح داده می‌شود.

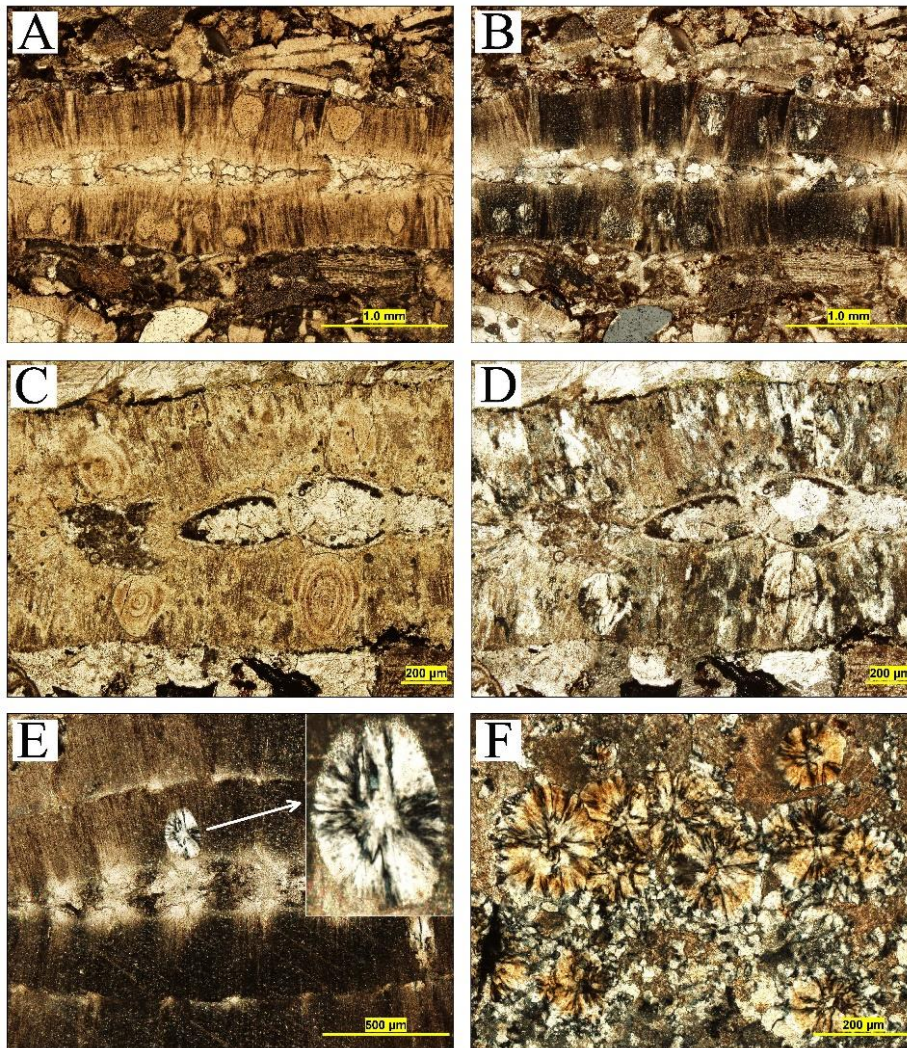
سیلیسی‌شدن

مهم‌ترین پدیده دیاژنتیکی شناسایی شده در نهشته‌های مورد مطالعه فرآیند سیلیسی‌شدن است. بر اساس بررسی نمونه‌ها، انواع سیلیس دیاژنتیکی شامل کلسدونی، میکروکوارتز و مگاکوارتز شناسایی شده است که به صورت ثانویه و جانیشینی ایجاد شده‌اند. به‌طور کلی سیلیس در سنگ‌های کربناته به صورت نودول، لایه‌ها یا لنزهای عدسی شکل و سایر تجمعات نامنظم دیده می‌شوند (Bustillo, 2010; Chang et al, 2020). سیلیسی‌شدن یک فرآیند دیاژنتیکی و ثانویه است که در طی آن سیالات غنی از سیلیس سنگ میزبان را تحت‌تاثیر قرار داده و سبب تغییر در بافت، کانی‌شناسی، کاهش تخلخل و افزایش میزان

الف) کلسدونی

فرآیند جانیشینی سیلیس از نوع کلسدونی در بایوکلاست‌ها، در دو نوع بافت جانیشینی اسفرولیتی و جانیشینی کنترل شده صورت گرفته است. در جانیشینی اسفرولیتی، رشته‌های کالسدونی دارای آرایش شعاعی هستند. در این جانیشینی، نحوه قرارگیری رشته‌های کلسدونی از ساختمان

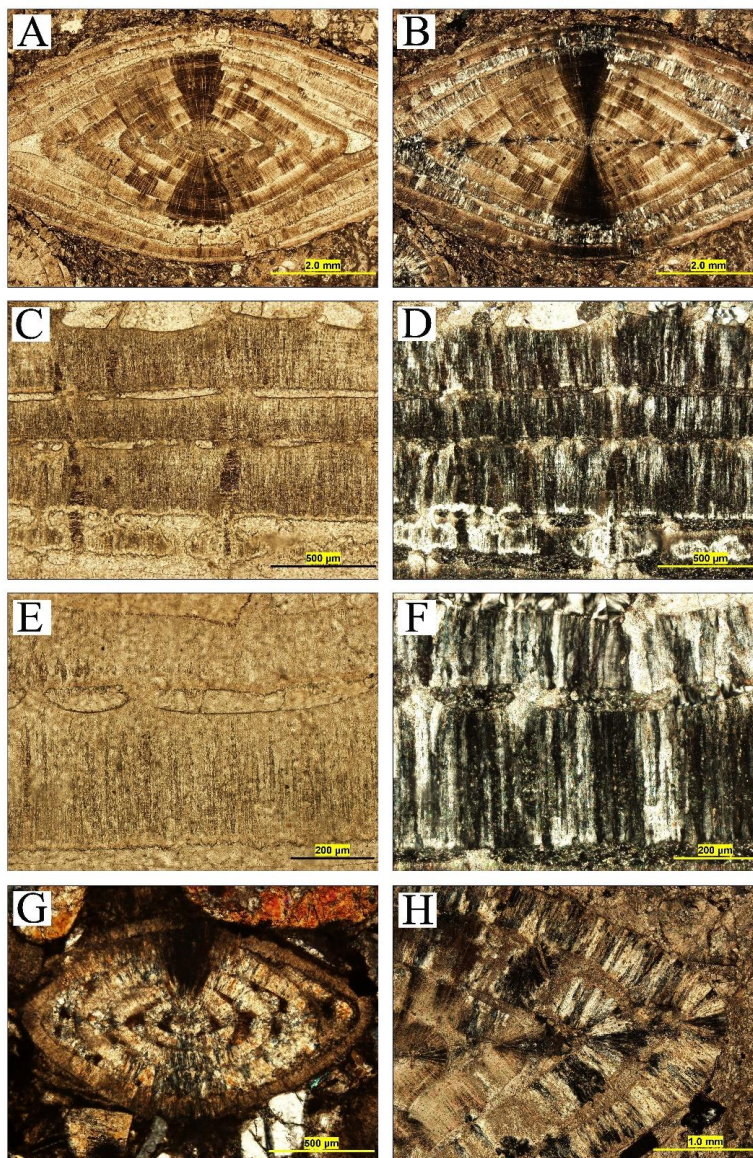
میکروسکوپی صدف (Microstructure) و جهت یافتگی آن تبعیت نمی‌کند (شکل ۶ A تا F) و مستقل از بافت اولیه پوسته می‌باشد (Maliva and Siever, 1988). این نوع بافت با آرایش شعاعی رشته‌های کلسدونی همراه است. رشته‌های شعاعی از مرکز به سمت سطح خارجی امتداد دارند (شکل ۶ E).



شکل ۶: A تا F: جانیشینی اسفرولیتی که رشته‌های کالسدونی با آرایش شعاعی از ساختمان میکروسکوپی صدف و جهت یافتگی آن تبعیت نمی‌کنند و مستقل از بافت اولیه پوسته هستند (تصاویر A و C با نور عادی و بقیه تصاویر با نور پلاریزه عکس‌برداری شده‌اند).

هیالین با ساختمان رشته‌ای- شعاعی با منافذ درشت هستند، توسط رشته‌های کلسدونی موازی و هم جهت با محور منشورهای اولیه پوسته جانشین شده‌اند (شکل ۷ C تا F). در نمونه‌های مطالعه شده، برای کلسدونی دو نوع طولی‌شدگی مثبت و منفی قابل مشاهده است که کالسدونی با طولی‌شدگی مثبت متداول‌تر است.

در جانیشینی کنترل شده، نحوه قرارگیری و آرایش فیبرهای کلسدونی از ساختمان میکروسکوپی پوسته تبعیت می‌کنند و جهت یافتگی ترجیحی منطبق با ساختمان میکروسکوپی صدف را نشان می‌دهند (شکل ۷ A تا H). در این حالت شکل دروغینی از ساختمان داخلی صدف‌ها نشان داده می‌شود. پوسته افراد خانواده Nummulitidae به ویژه جنس‌های *Nummulites* و *Assilina* که دارای دیواره



شکل ۷: A تا H: جانشینی کنترل شده توسط فیبرهای کالسدونی در پوسته *Nummulites* ها. در این جانشینی نحوه قرارگیری و آرایش فیبرهای کالسدونی از ساختمان میکروسکوپی پوسته تبعیت می کند و رشته های کالسدونی موازی و هم جهت با محور منشورهای اولیه پوسته جانشین شده اند. (تصاویر A، C و E با نور عادی و بقیه تصاویر با نور پلاریزه عکس برداری شده اند).

ب) کوارتز میکروکریستالین

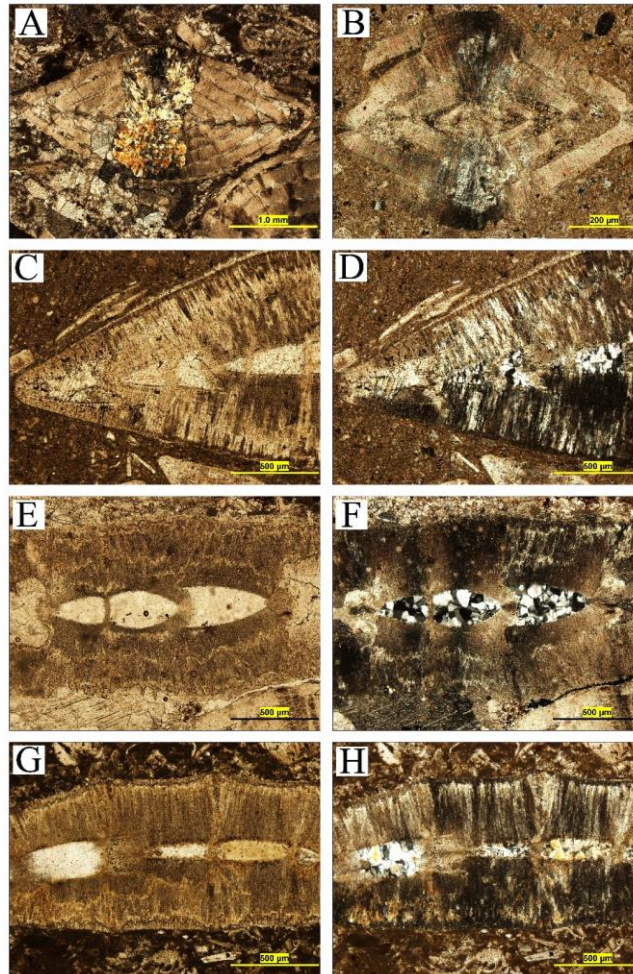
کوارتز میکروکریستالین یا میکروکوارتزها (Maliva et al, 2005) دارای بلورهای هم بعد، با قطری کم تر از ۲۰ میکرون هستند (Maliva and Siever, 1988). در برخی از بایوکلاست ها، کوارتز میکروکریستالین به صورت سیلیس جانشینی ایجاد شده است. گاهی اوقات در اثر این فرآیند، آثار شبیح ماندی از ساختمان داخلی اولیه صدف حفظ شده است. فرآیند سیلیس جانشینی به صورت کوارتز میکروکریستالین در برخی از بایوکلاست ها مانند *Assilina* و *Nummulites* مشاهده می شود.

ج) مگا کوارتز

بلورهای مگا کوارتز دارای قطری بزرگ تر از ۲۰ میکرون بوده و به عنوان کوارتز غیررشته ای موسوم هستند (Folk and Pittman, 1971). فرآیند جانشینی سیلیس به صورت مگا کوارتز در نمونه های مورد مطالعه دیده می شود. این جانشینی به طور عمده از نوع سیمان بین دانه ای و سیمان درون دانه ای است که از این میان سیمان درون دانه ای گسترش بیشتری دارد (شکل ۸ C تا H). سیمان درون دانه ای بیشتر به صورت موزائیکی از بلورهای کوارتز با مرزهای غیرمنتظم و بی شکل در حجات فسیل ها وجود

نیز به صورت متفاوت عمل نموده است، به طوری که این پدیده در گونه‌هایی با پوسته‌های بزرگ‌تر بسیار متداول‌تر از گونه‌های با پوسته‌های کوچک‌تر است (شکل ۹ C). پدیده سیلیسی شدن حتی در گونه‌های مشابه نیز به صورت انتخابی صورت گرفته است، برای مثال در یک نمونه، برخی از گونه‌ها سیلیسی شده و در تعدادی دیگر از گونه‌های مشابه، این فرآیند تاثیر نکرده است.

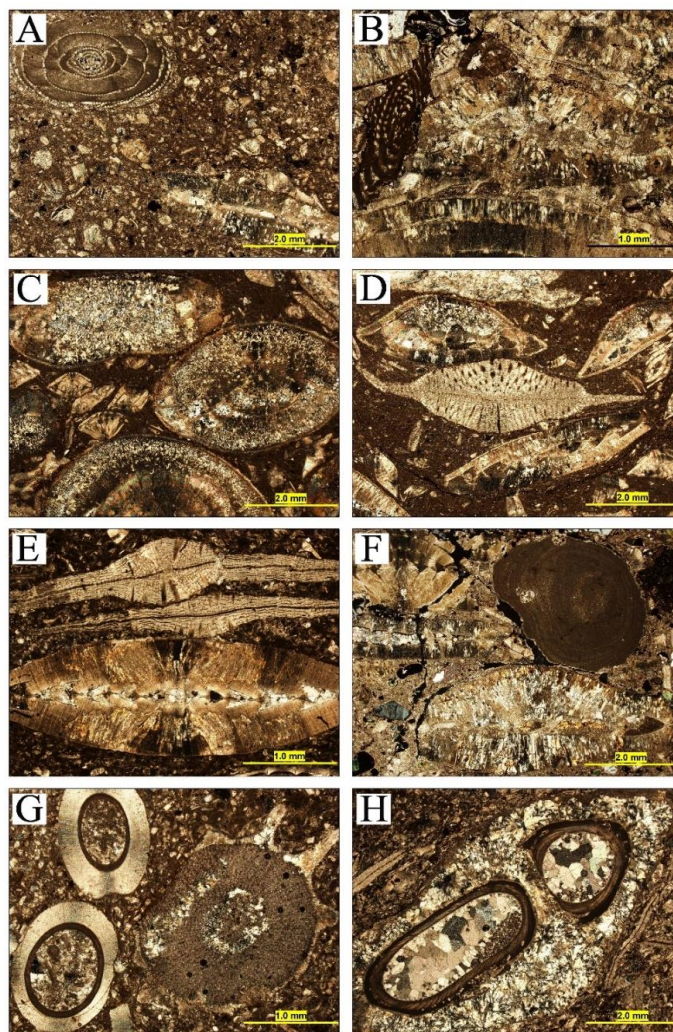
دارد. سیلیسی شدن انتخابی: مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک نشان می‌دهد که سیلیسی شدن انتخابی در بین بایوکلاست‌ها، بیشترین تاثیر را در پوسته *Assilina* و *Nummulites* و نیز استراها داشته است. در نمونه‌های سیلیسی شده فرآیند جانیشینی سیلیس به صورت ناقص یا کامل اتفاق افتاده است. مطالعات انجام شده بیانگر آن است که سیلیسی شدن در گونه‌های مختلف جنس *Nummulites*



شکل ۸: A: جانیشینی غیرانتخابی در پوسته *Nummulites*; B: جانیشینی کنترل شده کالسدونی در برجستگی میانی پوسته *Nummulites*; C تا H: تاثیر فرآیند سیلیسی شدن به صورت سیمان مگاوارتز پرکننده فضای خالی درون حجرات *Assilina* توام با جانیشینی کنترل شده فیبرهای کالسدونی در پوسته (تصاویر C، E و G با نور عادی و بقیه تصاویر با نور پلاریزه عکس برداری شده‌اند).

بیشترین میزان سیلیسی شدن در روزن داران با پوسته هیالین (پوسته آهکی منفردار) دیده می‌شود، اما این پدیده در روزن داران با پوسته‌های پورسلانوز (پوسته آهکی بدون منفذ) مشاهده نشده است (شکل ۹ تصاویر A و B). تاثیر این فرآیند در بین روزن داران با پوسته هیالین نیز متفاوت است، به نحوی که بیشترین سیلیسی شدن در جنس‌های

بیشترین میزان سیلیسی شدن در روزن داران با پوسته هیالین (پوسته آهکی منفردار) دیده می‌شود، اما این پدیده در روزن داران با پوسته‌های پورسلانوز (پوسته آهکی بدون منفذ) مشاهده نشده است (شکل ۹ تصاویر A و B). تاثیر این فرآیند در بین روزن داران با پوسته هیالین نیز متفاوت است، به نحوی که بیشترین سیلیسی شدن در جنس‌های



شکل ۹: A و B: سیلیسی شدن در روزن داران با پوسته هیالین و عدم تاثیر این پدیده در روزن داران با پوسته پورسلانوز، C: متداول بودن سیلیسی شدن در گونه های *Nummulites* با پوسته های بزرگتر نسبت به گونه هایی با پوسته های کوچکتر، D و E: سیلیسی شدن در جنس های *Assilina* و *Nummulites* و عدم تاثیر این پدیده در *Discocyclina*، F: سیلیسی نشدن جلبک های قرمز، G: سیلیسی شدن خارپوستان و عدم تاثیر این پدیده بر روی *Ditrupa*، H: عدم تاثیر سیلیسی شدن بر روی دیواره اصلی سرپولیده ها. (تمامی تصاویر با نور پلاریزه عکس برداری شده اند).

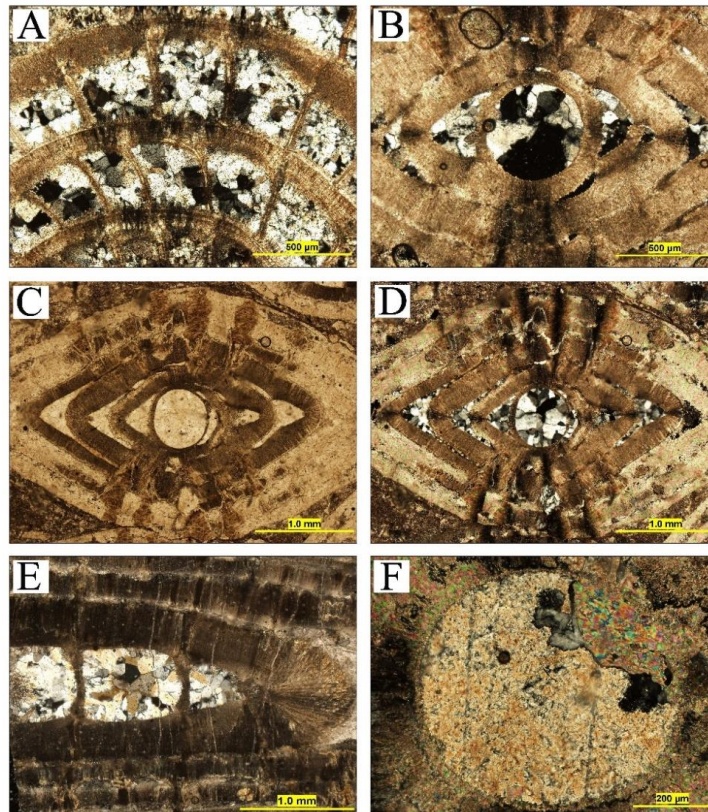
را قطع نموده و در سطح خارجی پوسته ظاهر می شود. کانال ها در جنس های مختلف دارای اندازه های متفاوت از ۵ تا ۲۰ میکرون می باشند (Loeblich and Tappan, 1988). به نظر می رسد که این ویژگی ها موجب شده که محلول های فوق اشباع از سیلیس به راحتی در این پوسته ها و به ویژه در انواعی که دارای کانال ها و منافذ بزرگتر هستند، نفوذ کنند. در جنس های *Assilina* و *Nummulites* بلورهای کلسدونی و کوارتز میکروکریستالین جانشینی از جهت یافتگی بلورهای منشوری ساختمان میکروسکوپی پوسته تبعیت می کنند. پوسته هیالین در جنس های *Assilina* و *Nummulites* به صورت آهکی هیالین رشته ای-

پدیده سیلیسی شدن در بعضی از روزن داران با پوسته هیالین مانند جنس های *Operculina*، *Amphistegina* و *Rotalia* دیده نشده است. پوسته های هیالین به دو صورت هیالین رشته ای- شعاعی و هیالین گرانولار وجود دارند (Scholle and Ulmer-Scholle, 2003). این پوسته ها از ذرات کلسیتی در اندازه ۰/۲ میکرون و یا بیشتر تشکیل شده اند که به صورت رشته ها و ردیف های عمود و گاه مایل نسبت به سطح پوسته قرار می گیرند. در این پوسته ها یک لایه نازک درونی کیتینوئیدی وجود دارد که برخلاف پوسته های پورسلانوز مینرالیزه نمی باشد. از ویژگی های این پوسته ها وجود کانال های مستقیم است که ضخامت دیواره

(Loeblich and Tappan, 1988)، بنابراین این پوسته‌ها در مقابل نفوذ محلول‌هایی که از نظر فاز سیلیس فوق اشباع هستند، مقاوم می‌باشند. براساس مطالعات انجام شده بایوکلاست‌هایی مانند جلبک‌های قرمز، سرپولیدها و بریوزترها تحت‌تأثیر سیلیسی شدن قرار نگرفته‌اند (شکل ۹ تصاویر F تا H)، در صورتی که در صدف برخی از بی‌مهرگان مانند دوکفه‌ای‌ها به ویژه ایستراها سیلیسی شدن دیده می‌شود (Martín Penela and Barragán, 1995).

سیمان سیلیسی: سیلیس پرکننده حفرات از سیمان‌های دیاژنتیکی و ثانویه است که در شکل‌ها و ترکیبات گوناگون در نمونه‌های مورد مطالعه دیده می‌شود. سیمان سیلیسی به دو صورت سیمان بین‌دانه‌ای و سیمان درون‌دانه‌ای در رسوبات مورد مطالعه دیده شده است که در این میان سیمان درون‌دانه‌ای گسترش بیشتری دارد (شکل ۱۰ تصاویر A تا F).

شعاعی با کانال‌های بزرگ است. در انواع هیالین رشته‌ای-شعاعی، بلورهای کلسیت با محورهای عمود بر سطح پوسته قرار می‌گیرند. این پوسته‌ها در زیر میکروسکوپ با نور پلاریزه دارای یک صلیب دروغین با حلقه‌های رنگین متحدالمرکز هستند. سیلیسی شدن در روزن‌داران با پوسته‌های هیالین گرانولار که از روی هم قرار گرفتن دانه‌های کلسیتی در اندازه‌های ۵ تا ۱۰ میکرون تشکیل می‌شوند، تأثیر نداشته و یا به مقدار بسیار جزئی تأثیر کرده است. در روزن‌داران با پوسته پورسلانوز مانند افراد خانواده Miliolidae و Alveolinidae هیچ گونه آثاری از سیلیسی شدن جانشینی دیده نمی‌شود (شکل ۹ تصاویر A و B). پوسته پورسلانوز از روی هم قرار گرفتن عناصر کروی یا استوانه‌ای به قطر ۰/۲ تا ۱ میکرون تشکیل شده است. این عناصر در سطح خارجی پوسته به صورت سنگ‌فرش در یک خمیره همگن کیتینوئیدی قرار دارند (Armstrong and Brasier, 2005). در این پوسته‌ها یک لایه نازک درونی کیتینوئیدی و به طور محلی مینرالیزه وجود دارد



شکل ۱۰: A تا E: سیلیسی شدن به صورت سیمان درون‌دانه‌ای، در این تصاویر سیلیس به صورت مگاوارتز با بافت گرانولار حشرات *Nummulites* را پر کرده است، F: سیلیسی شدن به صورت سیمان درون‌دانه‌ای در حجره جنینی *Nummulites*، در قسمت بالای سمت راست حجره جنینی مقداری کلسیت باقیمانده مشاهده می‌شود (تصویر C با نور عادی و بقیه تصاویر با نور پلاریزه عکس‌برداری شده‌اند).

سیلیس‌های محلول در نتیجه تغییر PH و کاهش درجه حرارت در حفرات مذکور رسوب کرده است.

بحث

عوامل مختلفی در نوع و میزان سیلیسی شدن موثر هستند. این عوامل به‌طور کلی به دو دسته فاکتورهای اسکلتی و غیراسکلتی تقسیم می‌شوند. فاکتورهای اسکلتی شامل کانی‌شناسی پوسته، ساختمان میکروسکوپی، میزان تمرکز مواد آلی در آن‌ها و ضخامت پوسته می‌باشند. این فاکتورها در نوع و میزان سیلیسی شدن بسیار حائز اهمیت هستند. پوسته هر فسیلی دارای تخلخل ذره‌بینی^۳ مخصوص به خود است و سطحی از پوسته که در تماس با محلول سیلیسی قرار می‌گیرد و نیز جنس دیواره و به ویژه ساختمان میکروسکوپی آن در میزان سیلیسی شدن خرده‌های اسکلتی بسیار مهم است. فاکتورهای غیراسکلتی کنترل کننده سیلیسی شدن شامل نرخ رشد هسته، میزان تمرکز سیلیس در محلول، نفوذپذیری ماتریکس در زمان سیلیسی شدن و سرعت ته‌نشینی سیلیس است. در رسوبات مورد مطالعه این فاکتورها در درجه دوم اهمیت قرار دارند، زیرا در غیر این صورت می‌بایست سیلیسی شدن به‌طور یکنواخت در تمامی اجزای اسکلتی و حتی زمینه سنگ صورت می‌گرفت. به‌طور کلی فرآیند سیلیسی شدن در بخش‌هایی صورت می‌گیرد که در آن انحلال سریع کربنات کلسیم انجام شده است. فرآیند سیلیسی شدن در اسکلت بایوکلاست‌ها در دو مرحله انحلال پوسته‌های کلسیتی و خروج کربنات کلسیم و سپس نفوذ محلول سیلیس‌دار و رسوب کوارتز یا اپال CT انجام می‌شود (Maliva and Siever, 1988). کربنات کلسیم محلول بعدها به صورت سیمان کربنات کلسیم در بخش‌هایی که سیلیسی نشده است و یا به صورت پرکننده شکستگی‌ها، رسوب‌گذاری می‌نماید. مالیوا و سیور (Maliva and Siever, 1988) معتقدند که فاز سیلیس، موجب سهولت انحلال بعضی از صدف‌های کربناته در محیط دیاژنتیکی می‌شود. بهترین و بارزترین شاهد در نمونه‌های مورد مطالعه این است که انحلال خرده‌های اسکلتی کربناته تنها در محل تماس و مرز سیلیس با کربنات کلسیم رخ داده است. انحلال کلسیت توسط سیلیس با توجه به وجود کوارتزهای بلورین با اشکال منظم، قابل اثبات است، زیرا انحلال مجزای کلسیت

سیمان بین‌دانه‌ای به‌طور عمده دارای ترکیب مگاکوارتز بوده و بافت گرانولار دارد. سیمان درون‌دانه‌ای ممکن است با اشکال متفاوت در فضای خالی داخل دانه‌ها ایجاد شود. این نوع سیمان، پرکننده فضای خالی درون دانه‌ها و به ویژه بایوکلاست‌های موجود مانند حجرات روزن‌داران و فضای خالی صدف شکم‌پایان و دوکفه‌ای‌ها است. با توجه به این که در هیچ یک از محیط‌های رسوبی کربناته امروزی، رسوب‌گذاری هم‌زمان سیمان سیلیسی به همراه دانه‌های کربناته گزارش نشده است (Beach, 1993)، بنابراین منشأ جان‌نشینی برای آن‌ها قابل اثبات است.

منشاء سیلیس

سیلیس مورد نیاز جهت پدیده سیلیسی شدن از دو منشأ آلی و یا آتشفشانی تامین می‌شود (Robertson, 1977; Meyers 1977; Flügel, 2010; Blinkenberg et al, 2020). بسیاری از محققین تمرکز سیلیس در آب‌های روزنه‌ای رسوبات را ناشی از انحلال اپال با منشأ زیستی (Scholle and Ulmer-Scholle, 2003; Chang et al, 2018) و یا شیشه آتشفشانی می‌دانند و از سویی دیگر دگرسان شدن کانی‌های رسی و افزایش میزان هوازدهی قاره‌ای را منشأ احتمالی دیگر برای این مسئله در نظر گرفته‌اند (Nobel and Van Stempvoort, 1989; Niu et al, 2018; Westacott et al, 2023). با توجه به مقدار ناچیز فسیل‌های با پوسته سیلیسی به ویژه رادیولر و سوزن‌های سیلیسی اسفنج در نهشته‌های مورد مطالعه، نمی‌توان منشأ آلی برای پدیده سیلیسی شدن در نظر گرفت و این میزان سیلیس با منشأ آلی نمی‌تواند تمامی سیلیس لازم جهت انجام این فرآیند دیاژنتیکی را فراهم نمایند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که سیلیس مورد نیاز جهت پدیده سیلیسی شدن در مناطق مورد مطالعه از منشأ آتشفشانی تامین شده است (Okhravi and Mobasheri, 1998). این میزان سیلیس اغلب از تجزیه شیمیایی مواد آتشفشانی در بخش‌های از سنگ میزبان تامین می‌شود، بنابراین با ورود حجم زیادی از خاکسترهای آتشفشانی که به صورت مستقیم به داخل حوضه رسوبی ریزش کرده‌اند و همچنین خرده‌سنگ‌های آتشفشانی حمل شده و انحلال آن‌ها توسط آب‌های بین ذره‌ای در طی تدفین رسوبات، مقدار زیادی سیلیس در PH بالاتر از ۹ به صورت محلول وجود داشته است (Williams et al, 1985; Bustillo, 2010). این

اطراف آن‌ها تائید کننده این مسئله می‌باشند که فرآیند نهایی تشکیل سیلیس دیاژنتیکی پس از فرآیندهای دیاژنتیکی ابتدایی صورت گرفته است (Mobasher et al, 2010)، البته با در نظر گرفتن مقدار سیلیس در دریای ائوسن، تصور می‌شود که شروع تشکیل سیلیس دیاژنتیکی به مراحل اولیه فرآیندهای دیاژنتیکی برمی‌گردد (Mobasher, 1998)، اما فرآیند سیلیسی شدن به صورت گسترده پس از فرآیندهای دیاژنتیکی اولیه و به ویژه در مراحل تدفینی به وقوع پیوسته است.

نتیجه‌گیری

نهشته‌های کربناته متعلق به واحد سنگی E5 به‌طور عمده از سنگ آهک، سنگ آهک توفی و مارن تشکیل شده است. این نهشته‌ها در برخی از افق‌ها به صورت سنگ آهک‌های هیبرید می‌باشند. مهم‌ترین پدیده دیاژنتیکی شناخته شده در این رسوبات، فرآیند سیلیسی شدن است. سیلیسی شدن در نهشته‌های مورد مطالعه به دو صورت سیلیس جانشینی و سیمان سیلیسی پرکننده خلل و فرج سنگ‌ها مشاهده می‌شود. مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک نشان می‌دهد که سیلیسی شدن جانشینی در پوسته *Assilina* و *Nummulites* و دوکفه‌ای از جنس ایستر تأثیر بیشتری نسبت به سایر بایوکلاست‌ها داشته است. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که فاکتورهای اسکلتی به ویژه کانی‌شناسی و ساختمان میکروسکوپی پوسته‌ها در نحوه و میزان سیلیسی شدن بسیار حائز اهمیت می‌باشند. سیلیسی شدن در روزن‌داران با پوسته هیالین بیشتر دیده می‌شود، اما این پدیده در روزن‌داران با پوسته‌های پورسلانوز مشاهده نشده است. تأثیر این فرآیند در بین روزن‌داران با پوسته هیالین نیز متفاوت است، به نحوی که بیشترین سیلیسی شدن در پوسته‌های هیالین رشته‌ای- شعاعی به ویژه در جنس‌های *Nummulites* و *Assilina* دیده می‌شود، اما در برخی از روزن‌داران با پوسته هیالین از قبیل *Discocyclina*، *Actinocyclina* و *Asetrocyclina* این فرآیند تأثیر نکرده و یا به صورت نادر به مقدار بسیار جزئی مشاهده شده است. پدیده سیلیسی شدن در بعضی از روزن‌داران با پوسته هیالین مانند جنس‌های *Operculina*، *Amphistegina* و *Rotalia* دیده نشده است. به نظر می‌رسد ساختمان میکروسکوپی پوسته‌های هیالین رشته‌ای- شعاعی موجب

نمی‌تواند حفرات منظم و شکل‌دار برای کوارتز بلورین منظم ایجاد نماید (Mobasher, 1998). یک مکانیسم احتمالی برای جانشینی سیلیس، انحلال بخشی از پوسته‌ها و سپس رسوب سیلیس در حفرات ایجاد شده است (Schmitt and Boyd, 1981). این مکانیسم در ارتباط با برخی از نمونه‌های مورد مطالعه به دلیل وجود آثاری از کلسیت جانشین نشده در زمینه سیلیس مورد تأیید است. مکانیسم دیگری جهت سیلیسی شدن بایوکلاست‌ها بیان شده است. روند این مکانیسم به این صورت است انحلال کربنات کلسیم و سپس رسوب‌گذاری سیلیس از طریق لایه نازک انحلالی^۴ در میان دو فاز سیلیسی و کربناته صورت می‌گیرد. در این حالت ساختمان میکروسکوپی پوسته در اندازه‌های میکرومتری حفظ می‌شود. مکانیسمی دیگر رسوب شیمیایی ساده است که در زمانی اتفاق می‌افتد که محلول از نظر سیلیس فوق اشباع و از نظر کربنات کلسیم تحت اشباع است (Hesse, 1989). این مکانیسم در اثر ایجاد تغییرات در شیمی آب منفذی رسوبات حاصل می‌شود. بدین معنی که در آب منفذی، قابلیت انحلال کربنات کلسیم افزایش یابد و در مقابل قابلیت انحلال سیلیس کاهش می‌یابد. سیلیسی شدن در این حالت در نقاطی اتفاق می‌افتد که از نظر کانی‌شناسی پایدار نیستند، به عنوان مثال می‌توان بایوکلاست‌هایی با بلورهای بسیار ریز کلسیت و یا دارای ترکیب آراگونیت یا کلسیت پرمینیم (HMC) را نام برد (Hesse, 1987; Maliva and Siever, 1988). مطالعه نمونه‌های سیلیسی شده منطقه مورد بررسی نشان دهنده فراوانی آثار و شب‌هایی از ساختمان میکروسکوپی اسکلتی در درون نمونه‌های فوق و هم‌چنین وجود اینکلوزیون‌های کلسیت در بخش‌های سیلیسی شده می‌باشد. این موارد همگی شاهی بر اثبات هم‌زمانی انحلال کربنات کلسیم و رسوب فاز سیلیسی در نمونه‌های مورد مطالعه است. مکانیسم سیلیسی شدن در برخی از نمونه‌های مورد مطالعه مشابه مکانیسم پیشنهادی (Maliva and Siever, 1988) است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مکانیسم سیلیسی شدن در بعضی قسمت‌ها به شکل مولکول به مولکول رخ داده است. وجود اینکلوزیون‌های کلسیت و به میزان کم‌تر رمبوند‌های میکرومولومیت در درون بخش‌های سیلیسی شده و هم‌چنین وجود خرده‌های خارپوستان سیلیسی شده به همراه سیمان سین‌تکسیال

سنگ‌های آتشفشانی در بخش‌های از سنگ میزبان تأمین شده است.

سپاسگزاری

نویسنده این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

شده است که محلول‌های فوق اشباع از سیلیس به راحتی در این پوسته‌ها و به ویژه در انواعی که دارای کانال‌ها و منافذ بزرگ‌تر هستند، نفوذ کنند. با توجه به مقدار ناچیز اجزای اسکلتی با پوسته سیلیسی در نهشته‌های مورد مطالعه، نمی‌توان منشأ آلی برای پدیده سیلیسی شدن در نظر گرفت، بنابراین سیلیس مورد نیاز از تجزیه شیمیایی مواد آتشفشانی به ویژه خاکسترها و همچنین خرده

پانویس

1-Hybrid Limestone
2-Boring

3-Micropores
4-Thin Solution Films

References

- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, v. 307, p. 1064-1095.
- Armstrong, H.A. and Braiser, M.D., 2005. *Microfossils*, second edition, Blackwell publishing, 296 p.
- Beach, D.K., 1993. Submarine cementation of subsurface Pliocene carbonates from the interior of Great Bahama bank, *Journal of Sedimentary Research*, v. 63, p. 1059-1069.
- Blinkenberg, K.H., Anderskov, K., Sheldon, E., Bjerrum, C.J. and Stemmerik, L., 2020. Stratigraphically controlled silicification in Danian chalk and its implications for reservoir properties, southern Danish Central Graben. *Marine and Petroleum Geology*, v. 115, p. 104-134.
- Bustillo, M.A., 2010. Silicification of Continental Carbonates. *Developments in Sedimentology*, p. 153-178.
- Chang, S., Feng, Q. and Zhang, L., 2018. New siliceous microfossils from the Terreneuvian Yanjiahe Formation, South China: the possible earliest radiolarian fossil record. *Journal of Earth Science*, v. 29, p. 912-919.
- Chang, S., Zhang, L., Clausenc, S. and Fenga, Q., 2020. Source of silica and silicification of the lowermost Cambrian Yanjiahe Formation in the Three Gorges area, South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 548, p. 109697.
- Emami, M.H., 1991. Description of the geological map of Qom quadrant (scale (1:250,000), p. 179.
- Folk, R.L. and Pittman, J.S., 1971. Length-Slow chalcedony, A new testament for vanished evaporates, *Journal of Sedimentary Research*, v. 41, p. 1045-1058.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of carbonate rocks, analysis interpretation and application*, 2nd edition. Springer-Verlag, Berlin, 976 p.
- Guilhaumou, N., Cordon, S., Durand, C. and Sommer, F., 1998. PT condition of sandstons silicification from the Brent Group (Dunbar, North Sea), *European Jour. Mineralogy*, v. 10, p. 355-366.
- Hajian, J., 1970. *Geologie de la region de Tafresh (N.W de Iran central) These Doctorat Etat Lyon*, 295 p.
- Hesse, R., 1987. Selective and reversible carbonate—silica replacements in Lower Cretaceous carbonate-bearing turbidites of the Eastern Alps. *Sedimentology*, v. 34, p. 1055-1077.
- Hesse, R., 1989. Silica diagenesis: origin of inorganic and replacement cherts. *Earth-Science Reviews*, v. 26, p. 253-284.
- Lajoie, J. and Stix, J., 1994. Volcaniclastic rocks, in: *Facies models as a response sea level change*, Ed. By Walter, R.G. and James, N.P., *Geoscience Canada*, p. 39-52.
- Loeblich, Jr., A.R. and Tappan, H., 1988. *Foraminiferal genera and their classification (2 volumes)*. Van Nostrand Reinhold, New York, 970 p.
- McQuarrie, N., Stock, J.M., Verdel, C. and Wernicke, B.P., 2003. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions, *Geophysical Research Letters*, v. 30, p. 20-36.
- Maliva, R.G. and Siever, R., 1988. Mechanism and controls of silicification of fossils in limestones, *The Journal of Geology*, v. 96, p. 387-368.
- Maliva, R.G., Knoll, A.H. and Simonson, B.M., 2005. Secular change in the Precambrian silica cycle: Insights from chert petrology, *Geological Society of America Bulletin*, v. 117, p. 835-845.
- Martín Penela, A.J. and Barragán, G., 1995. Silicification of carbonate clasts in a marine environment (Upper Miocene, Vera Basin, SE Spain), *Sedimentary Geology*, v. 97, p. 21-32.
- Matysik, M., Stemmerik, L., Olausen, S. and Brunstad, H., 2018. Diagenesis of spiculites and

- carbonates in a Permian temperate ramp succession –Tempelfjorden Group, Spitsbergen, Arctic Norway, *Sedimentology*, v. 65, p. 745-774.
- Menezesa, C.P., Bezerrab, F.H.R., Balsamoc, F., Mozafari, M., Vieira, M.M., Srivastava, N.K. and de Castro, D.L., 2019. Hydrothermal silicification along faults affecting carbonate-sandstone units and its impact on reservoir quality, Potiguar Basin, Brazil, *Marine and Petroleum Geology*, v. 110, p. 198-217.
- Meyers, W.J., 1977. Mechanism Chertification in the Mississippian Lake Vally Formation, Sacramento Mountains, New Mexico. *Sedimentology*, v. 24, p. 75-105.
- Mobasheri, A., 1998. Investigating the sedimentary environment, microfacies and diagenesis of the Eocene limestones of Amoreh (Qom-Tafresh), Unpublished MSc thesis, University of Tehran, 189 p (In Persian).
- Mobasheri, A. and Okhravi, R., 2010. The role of skeletal microstructure during selective silicification in foraminiferal components of the Eocene Hybrid Limestones, Amoreh – Qom, Central Iran, the 63rd Geological congress of Turkey.
- Moghadam, H., Li, X.H., Ling, X.X., Santos, J.F., Stern, R.J., Li, Q.L. and Ghorbani, G., 2015. Eocene Kashmar granitoids (NE Iran): petrogenetic constraints from U–Pb zircon geochronology and isotope geochemistry, *Lithos*, v. 216, p. 118-135.
- Molina, E., Cosovic, V., Gonzalvo, C. and von Salis, K., 2000. Integrated biostratigraphy across the Ypresian/Lutetian boundary at Agost, Spain. *Revue de Micropaléontologie*, v. 43, p. 381-391.
- Niu, X., Yan, D., Zhuang, X., Liu, Z., Li, B., Wei, X. and Xu, H., 2018. Origin of quartz in the lower Cambrian Niutitang Formation in south Hubei Province, upper Yangtze platform. *Marine and Petroleum Geology*, v. 96, p. 271-287.
- Mousaveian, M., 1997. Microbiostratigraphy of the Eocene deposits in Naizar area (SW. of Qom), Unpublished MSc thesis, University of Shahid Beheshti, 202 p (In Persian).
- Nobel, J.P.A. and Van Stempvoort, D.R., 1989. Early burial quartz authigenesis in Silurian platform carbonates, New Burnswick, Canada. *Journal of Sedimentary Research*, v. 59, p. 65-76.
- Okhravi, R. and Mobasheri, A., 1998. Selective silicification in Eocene sediments of Amoreh Qom region, The 2nd conference of the Geological Society of Iran, Coference paper.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Silver, R., 1987. Sand and sandstone, Springer-Verlag, New York, 553 p.
- Rajabpour, Sh., Behzadi, M., Jiang, S.Y., Rasa, I., Lehmann, B. and Ma, Y., 2017. Sulfide chemistry and sulfur isotope characteristics of the Cenozoic volcanichosted Kuh-Pang copper deposit, Saveh county, northwestern Central Iran. *Ore Geology Reviews*, v. 86, p. 563-583.
- Robertson, A.H.F., 1977. The origin and diagenesis of cherts from Cyprus. *Sedimentology*, v. 24, p. 11-30.
- Schmitt, J.G. and Boyd, D.W., 1981. Patterns of silicification in Permian pelecypods and brachiopods from Wyoming. *Journal of Sedimentary Research*, v. 51, p. 1297-1308.
- Scholle, P.A. and Ulmer-Scholle, D.S., 2003. A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 77, 470 p.
- Tucker, M.E. and Wright, V.P., 1990. Carbonate sedimentology. Cambridge, Blackwell Science, 482 p.
- Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J. and Guest, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare-up in Iran, *Tectonics*, v. 30, p. 3008-3302.
- Westacott, S., Hollis, C.J., Pascher, K.M., Dickens, G.R. and Hull, P.M., 2023. Radiolarian size and silicification across the Paleocene-Eocene boundary and into the early Eocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 609, p. 111287.
- Westerhold, T., Marwan, N., Drury, A.J., Liebrand, D., Agnini, C., Anagnostou, E., Barnet, J.S.K., Bohaty, S.M., De Vleeschouwer, D., Florindo, F., Frederichs, T., Hodell, D.A., Holbourn, A.E., Kroon, D., Lauretano, V., Littler, K., Lourens, L.J., Lyle, M., P'aliqe, H., R'ohl, U., Tian, J., Wilkens, R.H., Wilson, P.A., Zachos, J.C., 2020. An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years. *Science*, v. 369, p. 1383-1388.
- Wilson, J.L., 1975. Carbonate facies in geologic history: New York, Springer-Verlag, 471 p.
- Williams, L.A., Parks, G.A. and Crerar, D.A., 1985. Silica diagenesis, I. Solubility controls, *Journal of Sedimentary Research*, v. 55, p. 301-311.
- Zuffa, G.G., 1980. Hybrid arenites: their composition and classification, *Journal of Sedimentary Research*, v. 50, p. 21-29.