

تأثیر ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری و کربناته بر تاریخچه پس از رسوب‌گذاری: بررسی موردی از سازند نایبند و نهشته‌های کرتاسه پایینی، شمال خاور اصفهان

زهرا مزروعی‌سبدانی^۱، محمدعلی صالحی^{۲*}، حمیدرضا پاکزاد^۳ و علی بهرامی^۴

۱، ۲، ۳ و ۴- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اصفهان

نویسنده مسئول: ma.salehi@sci.ui.ac.ir

دریافت: ۹۶/۱/۱۹ پذیرش: ۹۶/۷/۱۰

چکیده

این پژوهش به بررسی فرآیندهای دیاژنزی توالی آواری و کربناته تریاس بالایی و کرتاسه پایینی در برش کوه بجاره شمال خاور اصفهان می‌پردازد. روش بررسی در این پژوهش شامل مطالعات میدانی و نمونه‌برداری سیستماتیک و سپس پتروگرافی برش نازک سنگ‌های آواری و کربناته به وسیله میکروسکوپ پلاریزان و کاتدولومینسانس بوده است. توالی مورد بررسی دارای ۱۶۷ متر ستبرای بوده و دربرگیرنده بخش‌های بالایی بخش قدیر سازند نایبند و توالی آواری (واحد K₁) و کربناته (واحد K₂) قاعده کرتاسه پایینی می‌باشد. مطالعات دیاژنزی در رخساره‌های آواری منجر به شناسایی فرآیندهای آشفستگی زیستی، دگرسانی فلدسپات، نوع همبری دانه‌ها، انواع سیمان شامل کلسیتی، اکسید آهن و کانی رسی (مربوط به مرحله ائوژنز) و فشردگی شیمیایی، انواع سیمان دولومیتی، رشد هم‌محور کوارتز و کانی رسی (مربوط به مرحله مزوژنز) گردیده است. سیمان اکسید آهن و کانی رسی، شکستگی و پرشدگی رگه توسط سیمان دولومیتی مربوط به مرحله تلوژنز می‌باشد. بررسی‌های انجام شده نشانگر تأثیر ترکیب ماسه‌سنگ‌ها بر روند و محصولات دیاژنزی است. از جمله تأثیرات ترکیب سیلیسی آواری‌ها بر روی فرآیندهای دیاژنزی فراوانی بالای سیمان کانی رسی، هم‌چنین افزایش دگرسانی فلدسپات در پتروفاسیس‌های ماسه‌سنگی سرشار از فلدسپات بخش قدیر است. بررسی‌ها هم‌چنین نشانگر فراوانی بالای فرآیند سیمان رشد هم‌محور سیلیسی در پتروفاسیس‌های ماسه‌سنگی سرشار از کوارتز در واحد K₁ می‌باشد. در بررسی دیاژنزی سنگ‌های کربناته واحد K₂ نیز فرآیندهای میکرایتی شدن و آشفستگی زیستی، سیمان فیبری هم ستبرای در مرحله دیاژنزی دریایی و سیمان آویزه‌ای و اکسید آهن مربوط به مرحله دیاژنزی هواده شناسایی شد. سیمان آویزه‌ای و کلسیت دروزی و دندان‌های، سیمان اکسید آهن، مربوط به مرحله دیاژنزی اشباع از آب مرحله جوی است. از جمله فرآیندهای دیاژنزی مرحله دفنی انواع سیمان تیغه‌ای-منشوری، دولومیتی، بلوکی، رشد هم‌محور و فرآیندهای فشردگی و شکستگی می‌باشد. سیمان محیط‌های مختلف دارای لومینسانس تیره، قرمز تا بدون لومینسانس هستند که منجر به جدایش فازهای گوناگون سیمانی در نهشته‌های کربناته گردیده است. در طی بالآمدگی نیز سیمان اکسید آهن و شکستگی و پر شدن آن رخ داده است. بررسی تمامی فرآیندهای دیاژنزی رخساره‌های آواری و کربناته نشانگر انواع مراحل مختلف دیاژنزی آغازین، میانی، دفنی، تدفین ژرف و بالا آمدگی و رخداد آن‌ها زیر تأثیر ترکیب نهشته‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دیاژنزی، بخش قدیر، کرتاسه پایینی، شمال خاور اصفهان

۱- مقدمه

بررسی نقش ترکیب کانی‌شناسی رسوبات بر روند دیاژنزی موضوع پژوهش بسیاری از پژوهش‌های دیاژنزی در سنگ‌های رسوبی است.

در محدوده منطقه‌ی مورد بررسی چندین پژوهش بر روی توالی تریاس پسین و کرتاسه پیشین از دید زیست‌چینه‌نگاری، سنگ‌چینه‌نگاری، شناسایی محیط رسوبی بر پایه ویژگی‌های زیستی انجام گرفته است (منانی و یزدی، ۲۰۰۹؛ صنوبری داریان و رشیدی، ۲۰۱۰؛ نوتزل و همکاران، ۲۰۱۰؛ سید امامی و ویلمسن، ۲۰۱۶). اما بررسی توالی‌های رسوبی در مرز رتولیا تا

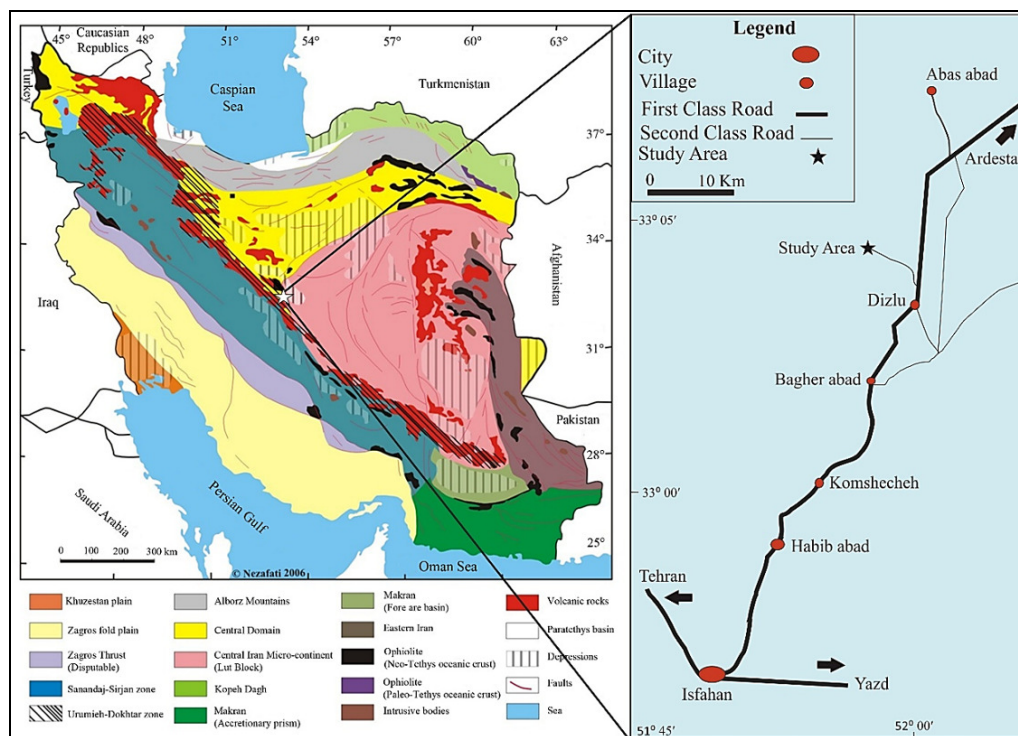
محیط رسوبی، آب و هوا، ترکیب و بافت رسوب، تاریخچه دفن همراه با شیمی آب‌های منفذی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر دیاژنزی رسوبات است (کیم و همکاران، ۲۰۰۷). ترکیب کانی‌شناسی رسوبات آواری نزدیک ۵۰ الی ۹۰ درصد از رویدادهای دیاژنزی را که بر سنگ حاکم خواهد بود، در کنترل دارد. هم‌چنین سن رسوبات و شکل هندسی لایه‌ها، اقلیم و محیط رسوبی (تاکر و رایت، ۱۹۹۰؛ پارسه ریس، ۲۰۰۶) و رخساره‌های سنگی (مولنر و همکاران، ۲۰۰۷) نیز نقش به‌سزایی در دیاژنزی دارند.

کرتاسه پایینی به عنوان اولین نهشته‌ها پس از رخداد سیمین به صورت ناپیوسته بر روی نهشته‌های آواری تریاس در این منطقه نهشته شده‌است. برش مورد بررسی در ۴۷ کیلومتری شمال‌خاور اصفهان در نزدیکی روستای دیزلو و در دامنه جنوبی کوه بجاره قرار دارد. مختصات جغرافیایی این برش بدین شرح می‌باشد: $N 33^{\circ} 05'$ و $E 51^{\circ} 57' 34.9''$ (شکل ۱). این برش دارای بخش‌های پایانی تریاس و بخش‌های آغازین کرتاسه پایینی (واحدهای K_1 و K_2) با ستبرای ۱۶۷ متر است (شکل ۲ الف). در برش مورد بررسی ۱۰ واحد جدا شد (شکل ۲ ب) که شامل بخش‌های پایانی بخش قدیر از سازند ناپبند و بخش‌های آغازین کرتاسه پایینی است و یک واحد در بخش قدیر و ۹ واحد در کرتاسه پایینی جدا گردید (شکل ۲ ب). مرز پایینی بخش قدیر توسط دشت پوشیده شده و مرز بالایی با ناپیوستگی فرسایشی در زیر کنگلومرای قاعده کرتاسه قرار گرفته است (منانی و یزدی، ۱۳۹۴). لازم به یادآوری است، واحدهای آواری کرتاسه (واحد K_1) (شکل ۲ ج) توسط توالی‌های کربناته (شکل ۲ د) واحد K_2 به صورت پیوسته و تدریجی پوشیده می‌شود.

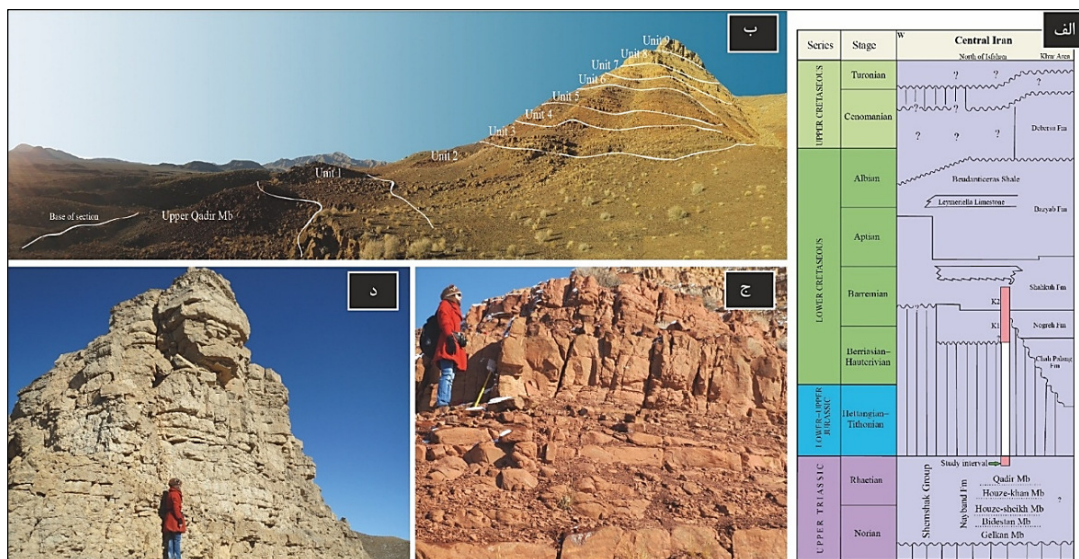
کرتاسه پیشین از دید سنگ‌شناسی رسوبی مورد بررسی دقیق قرار نگرفته است. از همین روی، بررسی فرآیندهای دیاژنزی حاکم در زمان ته‌نشست توالی‌های رسوبی تریاس پسین و کرتاسه پیشین می‌تواند به شناخت بهتر حوضه رسوب‌گذاری و فرآیندهای حاکم بر آن در طی این بازه زمانی و تاریخچه پس از رسوب‌گذاری کمک نماید. هدف این پژوهش بررسی فرآیندهای دیاژنزی بخش پایانی بخش قدیر سازند ناپبند و توالی آواری و کربناته کرتاسه پایینی و بررسی نقش ترکیب نهشته‌ها در پیدایش فرآیندهای دیاژنزی است.

۲- جایگاه جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی، از دید پهنه‌های ساختاری، در لبه‌ی شمال‌خاوری پهنه سنجند- سیرجان و کناره باختری صفحه ایران مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱). این مناطق در زمان مزوزوئیک به منطقه‌ای پر تحرک و پویا تبدیل شده‌اند؛ به طوری که شواهد فرسایش و نبود رسوب‌گذاری گسترده‌ای در زمان تریاس بالایی تا کرتاسه زیرین در این ناحیه وجود داشته است (آقناباتی، ۱۳۸۵؛ ویلمسن و همکاران ۲۰۱۵). نهشته‌های آواری و کربناته



شکل ۱. جایگاه پهنه‌های ساختاری ایران (آقناباتی، ۱۳۸۵) و راه‌های دسترسی به منطقه مورد بررسی (اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۴)



شکل ۲. الف: ستون چینه‌شناسی تریاس پسین (اقتباس با تغییراتی از سید امامی، ۲۰۰۳) - کرتاسه پیشین در ایران مرکزی (برگرفته با تغییراتی ایمل و همکاران، ۱۹۹۷؛ ویلمسن و همکاران ۲۰۱۵). ب: تفکیک واحدهای چینه‌شناسی بر روی تصویر میدانی در برش مورد بررسی، ج: تصویر میدانی ماسه‌سنگ‌های کرتاسه پایینی، د: تصویر واحدهای آهکی کرتاسه پایینی

۳- روش پژوهش

در برش کوه بجاره ستبرای واحدها توسط ژاکوب اندازه‌گیری و نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک بوده است. ۷۴ نمونه برش نازک توسط میکروسکوپ پلاریزان از بخش پایانی بخش قدیر و نهشته‌های کنگلومرایی، ماسه‌سنگی و کربناته توالی کرتاسه پایینی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های آواری به روش نقطه شماری گزی‌دیکینسون (نقل از اینگرسول ۱۹۸۴) مورد شمارش حدود ۳۰۰ نقطه قرار گرفت و نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از فولک (۱۹۸۰) انجام شد. برای شناسایی کانی کلسیت از دولومیت برش‌های نازک توسط محلول آلیزاین سرخ و فروسیانید پتاسیم به روش دیکسون (۱۹۶۵) رنگ‌آمیزی شدند. نام‌گذاری و بررسی برش‌های کربناته بر پایه روش دانه‌م (۱۹۶۲) انجام شد، همچنین برای بازسازی کامل‌تر توالی پارائنز کربنات‌ها برش‌های نازک صیقلی دارای سیمان کربناته توسط دستگاه کاتدولومینسانس مدل CTL MK5-1 متصل به میکروسکوپ پلاریزان در گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان مورد بررسی قرار گرفت.

۴- نتایج

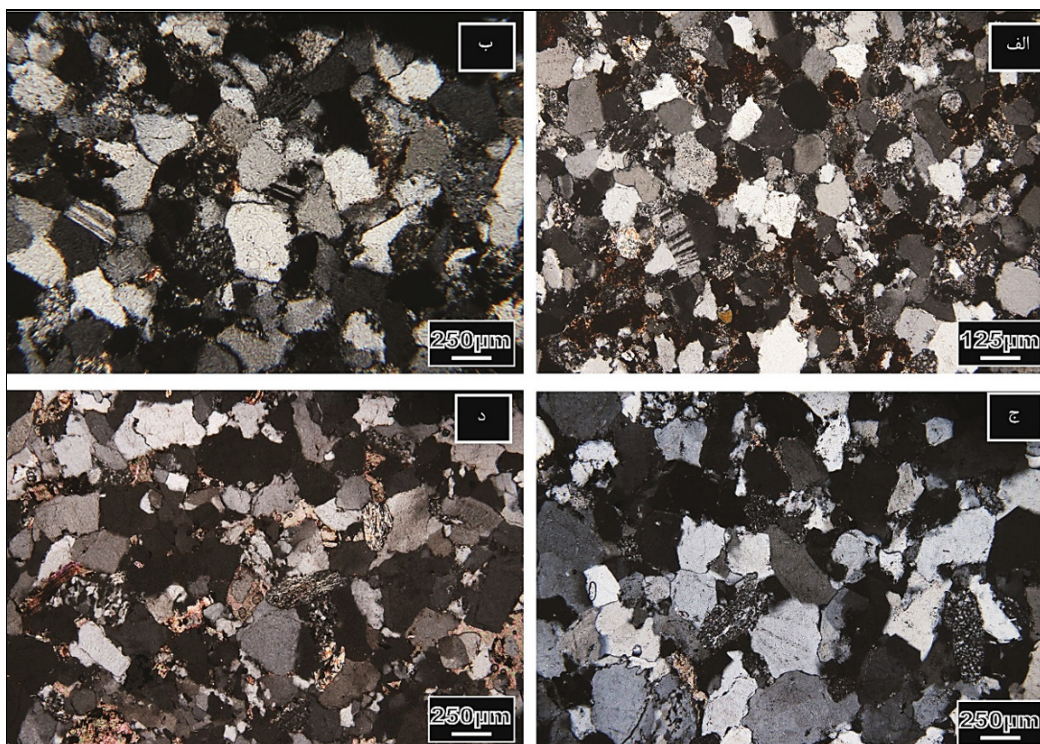
۴-۱- پتروگرافی

مطالعات پتروگرافی اطلاعات با ارزشی در رابطه با تاریخچه رسوب‌گذاری و سپس شرایط آب و هوایی،

محیط رسوبی و جغرافیای دیرینه در اختیار می‌گذارد (دیکینسون، ۱۹۸۸). بر پایه بررسی‌های پتروگرافی و نقطه‌شماری بر روی برش‌های ماسه‌سنگ‌های توالی مورد بررسی دو پتروفاسیس آرکوز و لیتیک‌آرکوز در بخش قدیر و دو پتروفاسیس ساب چرت‌آرنایت و ساب فیلارنایت در کرتاسه پایینی تفکیک شده است (مزرعی سیدانی و همکاران، ۱۳۹۵). آرکوزها در بخش قدیر دارای جورشدگی خوب و نسبتاً گرد شده و دارای رسیدگی بافتی نیمه‌رسیده^۱ می‌باشند (شکل ۳ الف). لیتیک آرکوزها از نوع بسیار ریز دانه و دارای جورشدگی خوب و نسبتاً گرد شده و رسیدگی بافتی نیمه‌رسیده می‌باشند (شکل ۳ ب). برخی نمونه‌های ماسه‌سنگی کرتاسه پایینی از نوع ساب سداآرنایت هستند (شکل ۳ ج). البته در تقسیم‌بندی جزئی‌تر در محدوده ساب چرت‌آرنایت واقع شده‌اند و قطعات خرده‌سنگی از نوع چرت بخش عمده آن‌ها را تشکیل می‌دهد. سایر نمونه‌های ماسه‌سنگی در این توالی ساب فیلارنایت هستند (شکل ۳ د). در این پتروفاسیس دانه‌ها بسیار ریز دانه تا ریز، جورشدگی خوب و نیمه گرد شده و دارای رسیدگی بافتی رسیده^۲ می‌باشد.

¹ submature

² mature



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی پتروفاسیس‌های بخش قدیر و واحد K₁ کرتاسه پایینی. الف: پتروفاسیس آرکوز از بخش قدیر (مقطع B۱۹)؛ ب: پتروفاسیس لیتیک آرکوز از بخش قدیر (مقطع B۰)؛ ج: پتروفاسیس ساب چرت آرنایت از کرتاسه پایینی (مقطع B۵۷)؛ د: پتروفاسیس ساب فیلارنایت از کرتاسه پایینی (مقطع B ۸۶/۵)

ریختگی لایه‌بندی و ساخت‌های رسوبی می‌شود و به صورت رخساره‌های توده‌ای در ماسه‌سنگ‌های توالی مورد بررسی وجود دارد.

۴-۲-۲-۲-۴- فشردگی فیزیکی^۲

از جمله آثار این نوع فشردگی انواع همبری‌های نقطه‌ای و طولی می‌باشد (شکل ۴ ب). فشردگی فیزیکی سبب آب‌زدایی، کاهش حجم و هم‌چنین کاهش تخلخل در رسوبات و فشردگی کم می‌شود (مورک و موئن، ۲۰۰۷). معمولاً فشردگی فیزیکی در ۵۰۰ متر اولیه تدفین به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد (وردن و بورلی، ۲۰۰۳). هم‌چنین در کنگلومراهای مورد بررسی انواع همبری‌های نقطه‌ای و طولی دیده شد (شکل ۴ ج). فشردگی فیزیکی در نمونه‌های بخش قدیر نسبت به کرتاسه بیشتر دیده شد، که از جمله دلایل آن ریزتر بودن ماسه‌سنگ‌های قدیر و میزان کم سیمان (به ویژه سیمان رشد هم‌محور) است.

۴-۲-۱-۲-۴- آشفتنگی زیستی^۱

از جمله فرآیندهای دیاژنزی شناسایی شده در ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر سازند نایبند و کرتاسه پایینی شامل آشفتنگی زیستی، فشردگی، دگرسانی فلدسپات، انواع سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی، اکسید آهن، رشد هم‌محور سیلیس، کانی رسی، شکستگی و پر شدگی رگه‌ها می‌باشد، هم‌چنین فرآیندهای دیاژنزی در کنگلومراها شامل سیمان اکسید آهن، سیمان کلسیت دروزی، سیمان دولومیتی، سیمان دولومیتی آهن‌دار حفره پرکن و انواع همبری‌های طولی، کاو-کوژ و مضرس می‌باشد که در ادامه به توضیح و تفسیر آن‌ها پرداخته خواهد شد.

از جمله ابتدایی‌ترین فرآیندهای دیاژنزی که در روی زمین نیز دیده می‌شود آشفتنگی زیستی است (شکل ۴ الف). این فرآیند در اثر فعالیت موجودات باعث به هم

² Compaction

¹ Bioturbation

۴-۲-۳- دگرسانی فلدسپات^۳

می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴). میانگین این سیمان در ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر ۴ درصد و در ماسه‌سنگ‌های کرتاسه پایینی ۲ درصد است (جدول ۱). عوامل گوناگونی در ساخت سیمان کربناته دخالت دارد که محتمل‌ترین آن‌ها سیمانی شدن کربناته در اثر انحلال کانی‌های ناپایدار مانند آراگونیت و جابه‌جایی یون‌ها طی مسافت‌های دراز توسط آب‌های زیرسطحی و تدفینی، انحلال دانه‌ها در اثر فشردگی شیمیایی را می‌توان به عنوان منبع تأمین‌کننده کلسیم در نظر گرفت (شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). همچنین کلسیت از واپاشی فلدسپات‌ها نیز پدید می‌آید (مراد، ۱۹۹۸). سیمان کلسیتی بیش‌تر در بخش قدیر به دلیل دگرسانی فلدسپات دیده می‌شود. گاهی دانه‌ها توسط سیمان کربناته جانشین می‌شوند که این فرآیند با تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محیط ساخت و افزایش pH محیط در دمای بالا انجام می‌پذیرد (مراد، ۱۹۹۸). سیمان کربناته در نمونه‌های کنگلومرایی مورد بررسی به صورت پراکنده و پیوسته به همراه ماتریکس آواری در پیرامون دانه‌ها دیده می‌شود. این سیمان به دو صورت کلسیت بلوکی، کلسیت با فابریک دروزی (شکل ۴ و) وجود دارد. سیمان کلسیت دروزی احتمالاً طی مراحل اولیه دیاژنز ساخته شده است (مراد و همکاران، ۲۰۱۰).

۴-۲-۶- سیمان دولومیتی^۷

سیمان دولومیتی به همراه زون‌بندی در برش‌های مورد بررسی قابل شناسایی است (شکل ۴ ی). سیال‌های اشباع از یون منیزیم که از بخش‌های کناری تأمین شده‌اند و هم‌چنین تبدیل کانی‌های رسی به یکدیگر سبب فوق‌اشباع شدن سیال منفذی از یون منیزیم شده است. منیزیم مورد نیاز برای ته‌نشینی دولومیت ثانویه می‌تواند از تبدیل رس‌ها به یکدیگر و یا انحلال سیلیکات‌های سرشار از منیزیم سرچشمه گرفته باشد (تاگر، ۱۹۹۰؛ رید و همکاران، ۲۰۰۵). در نمونه‌های کنگلومرایی مورد بررسی بلورهای خودشکل دولومیت قابل مشاهده بوده و هم‌چنین سیمان دولومیتی آهن‌دار به صورت حفره پر کن در فضای حفره قرار گرفته است (شکل ۴ ز).

دگرسانی فلدسپات‌ها بیش‌تر در طول شکستگی‌های کوچک^۴، رخ‌ها و سطوح تماس رخ داده است (شکل ۴ د). شکستگی‌های کوچک در فلدسپارها در اثر فرآیند فشردگی گسترش می‌یابد. بنابراین، سیال منفذی به آسانی از این شکستگی‌ها گذر کرده و دگرسانی فلدسپات‌ها را سبب می‌شود (کیم و همکاران، ۲۰۰۷). دگرسانی فلدسپات‌ها طی دفن و قبل از تشکیل سیمان سیلیسی و در دمای ۹۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد (رید و همکاران، ۲۰۰۵). البته فرآیند دگرسانی در ناحیه منشأ نیز امکان تشکیل دارد که در این صورت ارتباطی با فرآیندهای دیاژنزی ندارد (برنت و بست، ۲۰۰۵). در صورتی که فلدسپات‌ها در ناحیه منشأ دگرسان و سپس جابه‌جا شده باشد با توجه به ناپایداری دانه‌های فلدسپات، این دانه‌ها از بین رفته و یا دگرسانی به شدت پیشرفت داشته و دگرسانی کامل انجام می‌گیرد (شول، ۱۹۷۹). اما در نمونه‌های مورد بررسی وجود فلدسپات مشخص؛ یکنواخت بودن دگرسانی و نبود دگرسانی شدید احتمالاً نشان از دگرسانی طی دیاژنز است. دگرسانی فلدسپات‌ها بیش‌تر در پتروفاسیس‌های آرکوز و لیتیک آرکوز بخش قدیر، به دلیل فلدسپات فراوان، دیده می‌شود. رایج‌ترین دگرسانی در دانه‌های فلدسپات دیده شده است که در نمونه‌های ماسه‌سنگی بخش قدیر نسبت به کرتاسه پایینی فراوان‌تر است (شکل ۶).

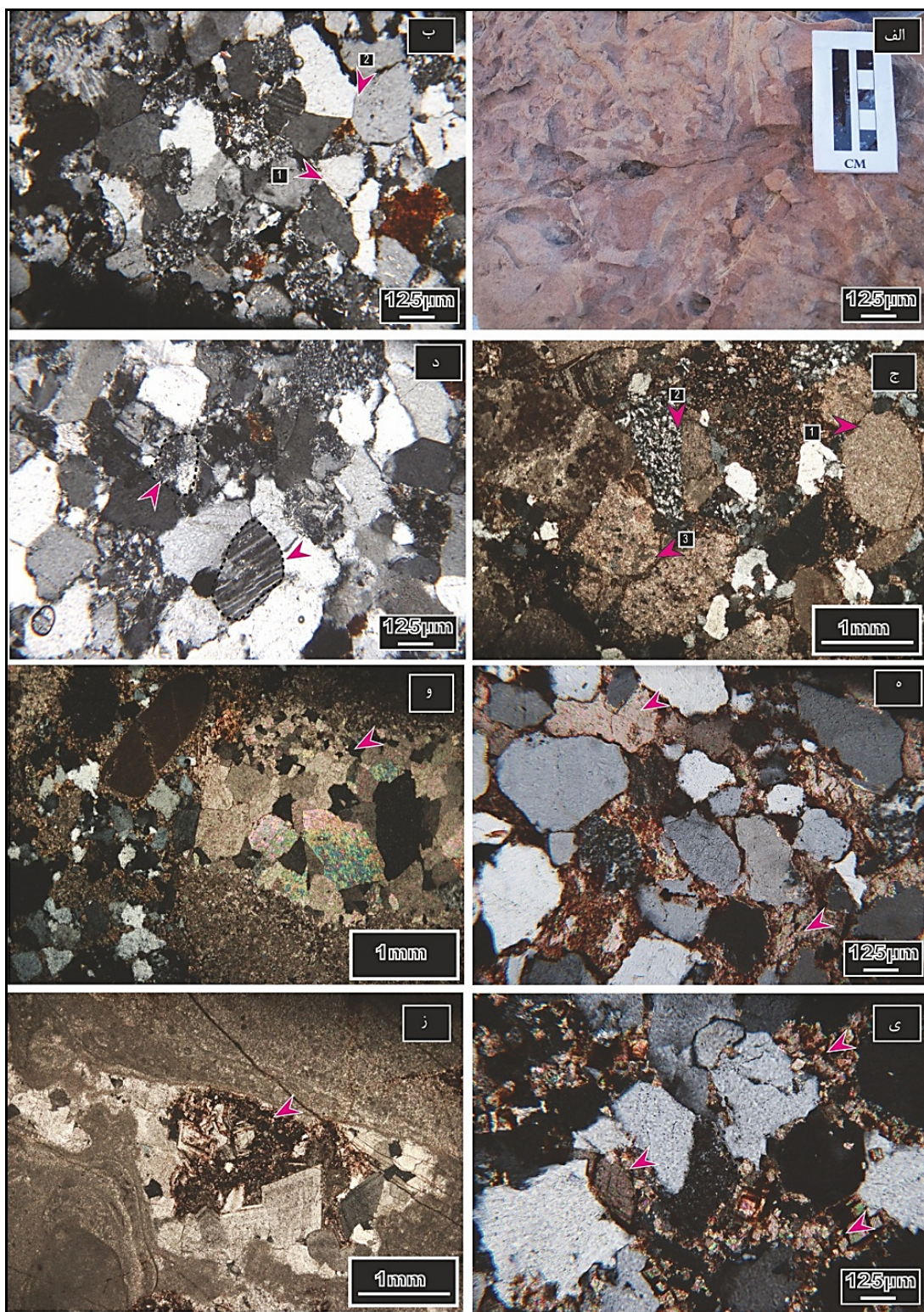
۴-۲-۴- سیمانی شدن^۵

از عوامل کنترل‌کننده سیمانی شدن می‌توان به ترکیب شیمیایی سنگ میزبان و خلوص کانی‌شناسی اشاره کرد (وردن و بورلی، ۲۰۰۳). از مهم‌ترین سیمان‌های شناسایی شده در ماسه‌سنگ‌های توالی مورد بررسی می‌توان به سیمان کلسیتی، سیمان دولومیتی، سیمان اکسید آهن، سیمان رشد هم‌محور سیلیس و سیمان کانی رسی اشاره کرد.

۴-۲-۵- سیمان کلسیتی^۶

سیمان کربناته در برش‌های گوناگون شناسایی شد که از مقدار کم تا زیاد در پیرامون دانه‌ها و زمینه را شامل

³ Alteration of feldspars⁴ Microfracture⁵ Cementation⁶ Calcite cement⁷ Dolomite cement



شکل ۴. فرآیندهای دیازنزی در ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر و ماسه‌سنگ و کنگلومرای واحد K₁. الف: آشفستگی زیستی (نمونه B۷۹)؛ ب: انواع تماس نقطه‌ای (۱)، طولی (۲)، (نمونه B۱)؛ ج: انواع تماس‌ها شامل تماس نقطه‌ای (۱)، تماس طولی (۲) و تماس کاو-کوژ (۳) (نمونه B۶۵)؛ د: دگرسانی دانه‌های فلدسپات (با پیکان مشخص شده است) (نمونه B۱)؛ ه: سیمان کلسیتی (نمونه B۷۳)؛ و: سیمان کلسیت دروزی (نمونه B۴۱)؛ ی: سیمان دولومیتی (نمونه B۶۴)؛ ز: سیمان دولومیتی آهن‌دار حفره پر کن (نمونه B۶۹)

۴-۲-۷- سیمان اکسید آهن^۱

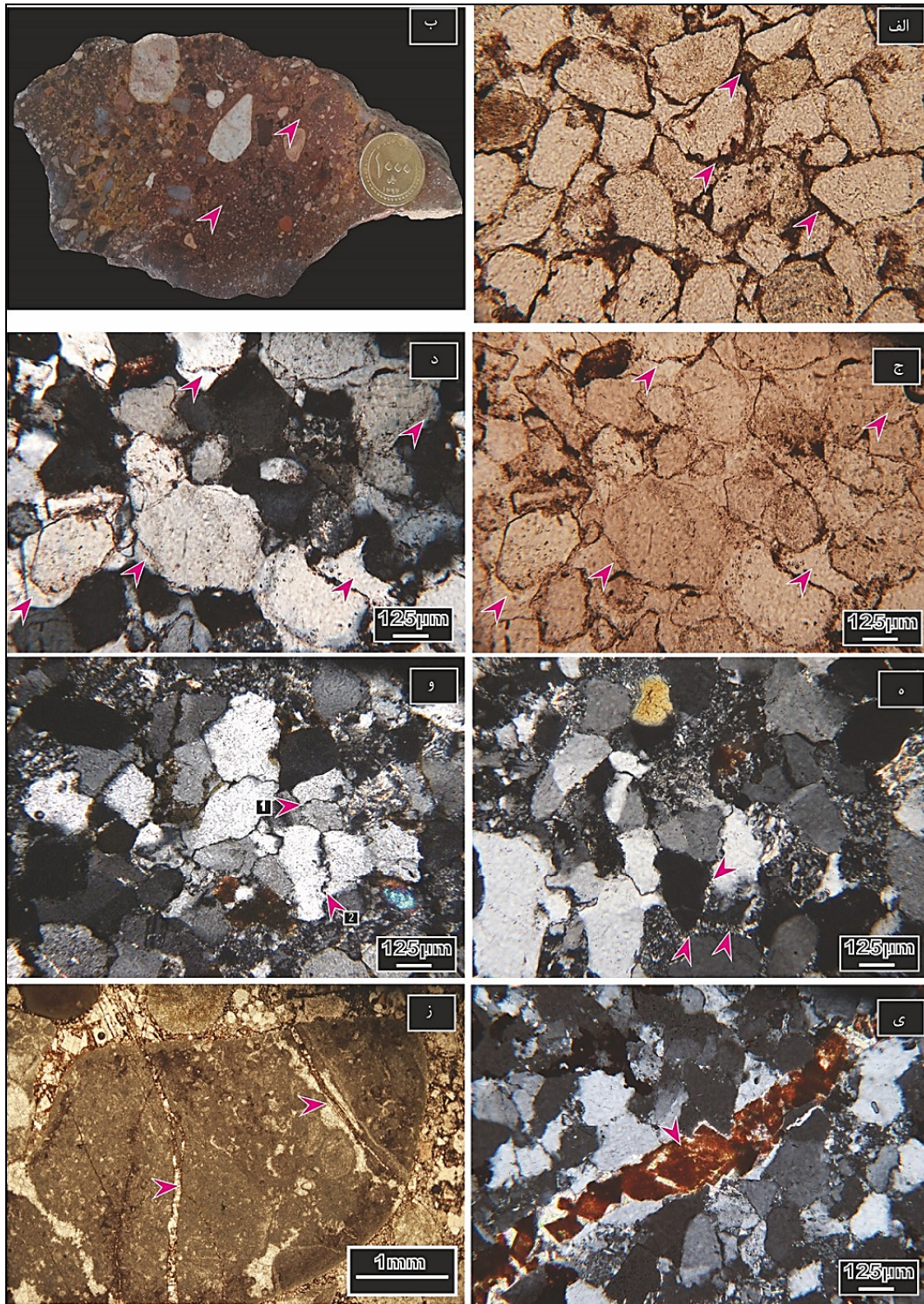
سیمان اکسید آهن از جمله سیمان‌های فراوان در سنگ‌های آواری توالی مورد بررسی بوده به طوری که به کل توالی آواری کرتاسه پایینی رنگ سرخ تیره تا روشن داده است. در نمونه‌های مورد بررسی سیمان آهن‌دار به دو شکل پوشاننده سطح دانه‌ها و هم‌چنین عمدتاً پر کننده فضای بین دانه‌ها و در میان شکستگی‌ها دیده می‌شود که گاهی با سیمان رسی همراه است. اکسید آهن به طور تیپیک به فرم یک پوشش خیلی نازک در پیرامون دانه‌ها وجود دارد و گاهی این سیمان پیرامون دانه‌ها را زیر تأثیر قرار داده و رنگ سرخ به زمینه داده است (شکل ۵ الف-ب، ۶). سیمان اکسید آهن موجود در نمونه‌های مورد بررسی گاهی به صورت ترکیب با سیمان بلوری کربناته و گاهی به صورت ترکیب با ماتریکس رسی می‌باشد؛ که ترکیب با ماتریکس رسی بیش‌تر در نهشته‌های بخش قدیر دیده شده است (شکل ۵ و). این سیمان در بخش ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر دارای میانگین ۷ درصد و در کرتاسه پایینی ۸ درصد است (جدول ۱). منشأ آهن می‌تواند هم به صورت دیاژنزی و هم به صورت آواری باشد. سیمان اکسید آهن که بیش‌تر به صورت پوشش نسبتاً پیوسته در پیرامون دانه‌ها تشکیل شده‌اند (شکل ۵ الف) از نوع سیمان هماتیته آواری (حمل شده) است و سیمان اکسید آهن که به صورت فراگیر و پر کننده بین دانه‌ها بوده بیش‌تر در مراحل پایانی دیاژنز ساخته شده است (امینی، ۲۰۱۱؛ اولیواریوس و همکاران، ۲۰۱۵). سیمان اکسید آهن به طور معمول در ژرفای کم تدفین و در مناطق وادوز ساخته می‌شود، افزون بر این، طی بالا آمدگی نیز امکان ساخت این نوع سیمان وجود دارد (اینسل، ۲۰۰۰). از جمله منشأ آهن در توالی مورد بررسی، هوازدگی سنگ‌های ناحیه خاستگاه است. هوازدگی سبب آزاد شدن یون آهن و ترابری آن به محیط رسوب‌گذاری می‌شود و سپس به صورت محلول در آب میان دانه‌های قرار گرفته و در شرایط اکسیدی به صورت سیمان اکسید آهن ته‌نشین می‌شود (امینی، ۲۰۱۱). هم‌چنین یون‌های لازم برای تشکیل سیمان هماتیته حاصل از واپاشی درون چینه‌های سیلیکات‌های آواری و آبکافت^۲ کانی‌های

رسی است که آهن را جذب می‌کنند، پدید می‌آیند (تاگر و رایت، ۱۹۹۰). سیمان اکسید آهن موجود در شکستگی‌ها طی تدفین شکل گرفته است، اگرچه امکان ساخت این سیمان در طی بالا آمدگی نیز وجود دارد (اینسل، ۲۰۰۰). وجود این سیمان بازتاب کننده شرایط اکسیدی می‌باشد (جیمز اسپینو و جیمز میلان، ۲۰۰۳).

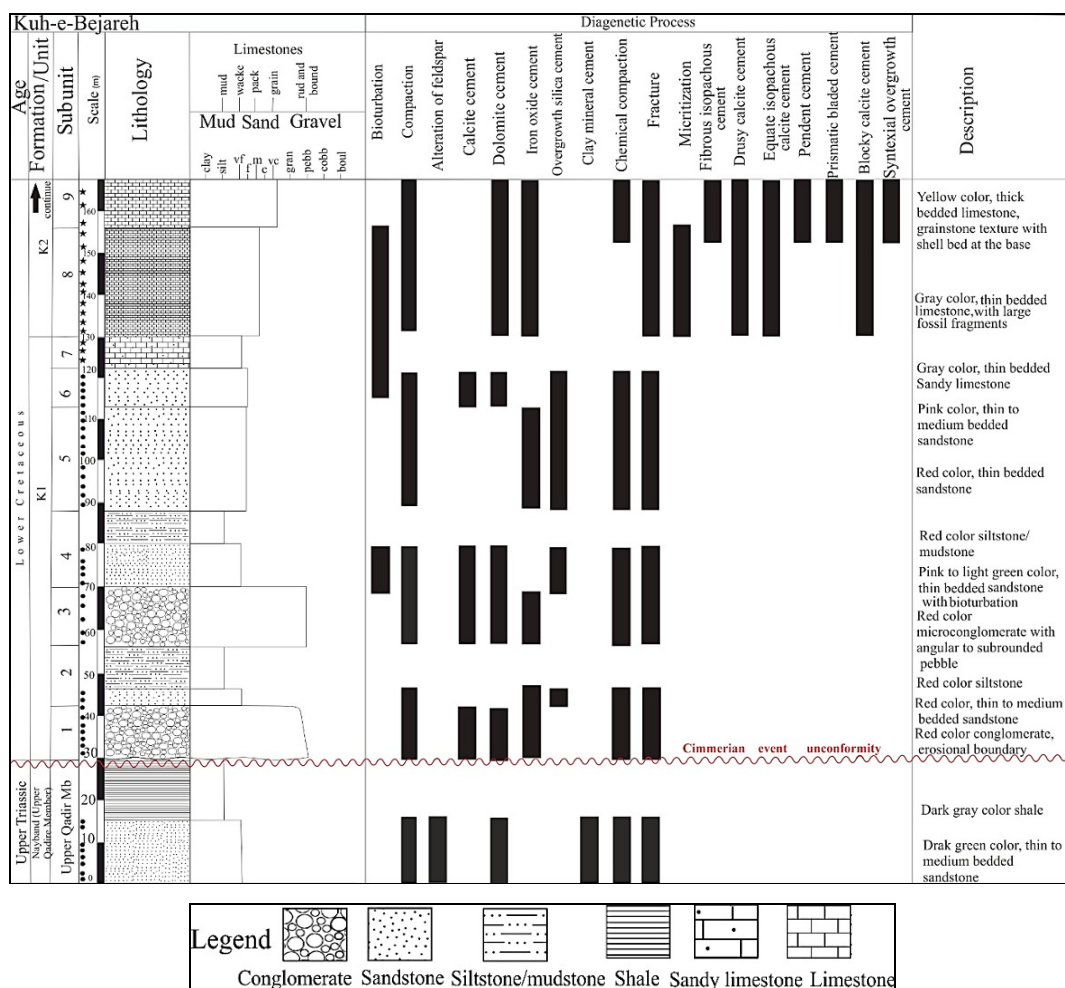
۴-۲-۸- سیمان رشد هم‌محور سیلیس^۳

میزان سیمان رشد هم‌محور در ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر دارای میانگین ۱ درصد و در ماسه‌سنگ‌های کرتاسه پایینی دارای میزان ۲ درصد است (جدول ۱). سیمان رشد هم‌محور در پیرامون دانه‌های کوارتز دارای پیوستگی نوری با دانه‌های کوارتز بوده و توسط روکشی از اکسید آهن (حاشیه غبار آلود) از دانه‌ی اصلی جدا می‌شود (شکل ۵ ج، د). ترکیب ماسه‌سنگ، زمان اقامت در پنجره تغییرپذیری سیلیس، ترکیب سیال و میزان جریان از عوامل اصلی کنترل کننده میزان سیمان سیلیسی در ماسه‌سنگ‌ها است (مک براید، ۱۹۸۹). بنابراین فرآیند سیمانی شدن به شدت توسط نوع حوضه رسوبی که ماسه‌سنگ‌ها در آن ساخته می‌شوند کنترل می‌شود (مک براید، ۱۹۸۹). سیمان‌های سیلیسی طی دیاژنز تدفینی در دمایی بیش از ۹۰ درجه سانتی‌گراد (وردن و بوری، ۲۰۰۳) و گاهی در دمای ۱۲۵ تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد ساخته می‌شود (وبر و ریکن، ۲۰۰۵). منشأ سیلیس برای تشکیل این سیمان در توالی مورد بررسی را می‌توان به انحلال فشاری دانه‌های کوارتز، انحلال و جانشینی فلدسپات‌ها و تشکیل کانی‌های رسی نسبت داد (جینلینگ و زوجی، ۲۰۰۸). افزون بر این، تبدیل کانی‌های رسی به یک‌دیگر به طور بارزی سیلیس تولید می‌کند (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۴). ماسه‌سنگ‌های کرتاسه پایینی با توجه به فراوانی پتروفاسیس‌های ساب چرت آرنایت و ساب فیلارنایت این سیمان گسترش بیش‌تری دارد (شکل ۶)، و مجموعه‌ای از عوامل بالا می‌تواند در تشکیل این سیمان دخیل باشد.

^۱ Iron oxide cement^۲ Hydrolysis^۳ Overgrowth silica cement



شکل ۵. فرآیندهای دیازنزی در ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر و ماسه‌سنگ و کنگلومرای واحد K₁. الف: سیمان اکسید آهن آواری به صورت پوشاننده سطح دانه‌ها (نمونه B۳۶؛ تصویر PPL)؛ ب: سیمان اکسید آهن و ماتریکس آغشته به هماتیت (نمونه B۳۳/۵)؛ ج، د: سیمان رشد هم‌محور سیلیس؛ به حاشیه غبار آلود که منجر به شناسایی سیمان رشد هم‌محور می‌گردد توجه نمایید. ه: سیمان کانی رسی در فضای بین و پیرامون دانه‌های کوارتز (نمونه B^۰)؛ و: تماس کاو-کوژ (۱) تماس مفرس و انحلال فشاری (۲)؛ فضای پر شده به رنگ قهوه‌ای در پایین تصویر سیمان اکسید آهن می‌باشد که معمولاً با سیمان کانی رسی همبستگی دارد (نمونه B_۱)؛ ی: شکستگی و پر شدگی توسط سیمان دولومیتی آهن‌دار (نمونه B_{۱۸})؛ ز: شکستگی و پر شدگی (نمونه B_{۵۶})



شکل ۶. ستون چینه‌شناسی برش مورد بررسی، تفکیک واحدهای چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی و توزیع مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی در سنگ‌های آواری و کربناته در امتداد توالی (محل نمونه‌های آواری با دایره تو پر و نمونه‌های کربناته با ستاره تو پر نشان داده شده است).

۴-۲-۹- سیمان کانی رسی^۱
 رشد ثانویه کوارتز و سیمانی شدن کلسیتی ساخته می‌شوند. مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در دیاژنز کانی‌های رسی افزایش فشار و دما است (لانسون و همکاران، ۲۰۰۲؛ کودرس، ۲۰۰۶؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۷؛). هم‌چنین عامل زمان نقش به‌سزایی دارد به گونه‌ای که هر چه زمان زمین‌شناسی بیشتر شود، شرایط ساخت کانی‌هایی مانند ایلیت و کلریت فراهم می‌شود (تاگر و رایت، ۱۹۹۰).

۴-۲-۱۰- فشردگی شیمیایی^۲
 فشردگی شیمیایی در توالی مورد بررسی منجر به انواع همبری های کاو-کوژ و مضرس در میان دانه‌ها، به ویژه دانه‌های کوارتز شده است (شکل ۵ و). مرزهای کاو-کوژ و

^۲ Chemical compaction

^۱ Clay mineral cement

رژیم چیره از نوع فشارشی است (اینسل، ۲۰۰۰؛ منسونبرگ و همکاران، ۲۰۰۸). روند دیاژنزی در کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌ها، به عوامل مختلف بستگی دارد که این عوامل شامل محیط رسوب‌گذاری، ترکیب و بافت رسوب، شیمی آب درون حفره‌ها، جایگاه زمین‌ساختی حوضه، ژرفای دفن و زمان بالا آمدگی است (منسونبرگ و همکاران، ۲۰۰۸).

۴-۳-۱- مرحله ائوژنز^۵

در مرحله ائوژنز، محیط دیاژنزی دارای دمای کمتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد و ژرفای تدفین کمتر از ۲ کیلومتر است (مراد و همکاران، ۲۰۰۰؛ منسونبرگ و همکاران، ۲۰۰۸)؛ بنابراین آب و هوا و ترکیب اجزای سازنده ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراها دو عامل اصلی در کارکرد فرآیندهای دیاژنزی این مرحله به شمار می‌آیند. ساخت سیمان اکسید آهن در فضای میان دانه‌ها در کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌ها را می‌توان در این مرحله متصور شد (تاگر و رایت، ۱۹۹۰؛ رید و همکاران، ۲۰۰۵). همبری میان دانه‌ها می‌تواند بازتابی از میزان فشردگی باشد، به گونه‌ای که همبری نقطه‌ای و طولی در فشارهای پایین و در مراحل اولیه دیاژنز رخ می‌دهد (مراد و همکاران، ۲۰۱۰). سیمان سیلیسی در ماسه‌سنگ‌ها در مراحل اولیه دیاژنز به مقدار اندکی ساخته می‌شود زیرا غلظت سیلیس در آب‌های جوی به مقداری نیست که سیمان سیلیسی شکل گیرد (مک براید، ۱۹۸۹). دگرسانی اولیه فلدسپات‌ها در این مرحله آغاز می‌شود و طی مزوژنز کامل می‌گردد (مراد و همکاران، ۲۰۰۰). از دیگر فرآیندهای این مرحله، پوشش نازک سیمان کانی‌های رسی به همراه اکسید آهن در پیرامون دانه‌ها می‌باشد (مراد و همکاران، ۲۰۱۰). ساخت سیمان کربناته در کنگلومراها می‌تواند مربوط به این مرحله دیاژنز باشد که بسته به ترکیب شیمیایی آب‌های میان حفره‌ای دارد (تاگر و رایت، ۱۹۹۰) و طی مراحل بعدی قابلیت گسترش بیشتر را دارد. در نتیجه فرآیندهای دیاژنزی ماسه‌سنگ‌ها در این مرحله شامل آغاز دگرسانی فلدسپات، تماس طولی و نقطه‌ای، سیمان کربناته، سیمان اکسید آهن و سیمان کانی رسی به صورت حاشیه رسی در پیرامون دانه‌ها می‌باشد. از جمله فرآیندهای دیاژنزی فراوان، سیمان کانی رسی در بخش

مضرس نشانگر انحلال فشارشی هستند که نشان‌دهنده انحلال جزئی می‌باشد (برنت و همکاران، ۲۰۰۷). این فرآیند ممکن است در ژرفای زیاد ۲/۵ تا ۳/۵ کیلومتری و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد انجام گیرد (سندبرگ، ۱۹۸۳؛ مک براید، ۱۹۸۹). در کنگلومراهای توالی مورد بررسی تماس کاو-کوژ قابل مشاهده است (شکل ۴ ج). لازم به یادآوری است بخش قدیر دارای فشردگی شیمیایی بیش‌تر نسبت به کرتاسه پایینی می‌باشد.

۴-۲-۱۱- شکستگی^۳

در مراحل نهایی دیاژنز به علت فعالیت‌های زمین‌ساختی رسوبات ممکن است چین‌خورده و بالا آیند، بنابراین شکستگی‌هایی در ماسه‌سنگ‌ها شکل گرفته که بعدها توسط سایر کانی‌ها پر می‌شوند (کوک و همکاران، ۲۰۰۶). شکستگی‌ها در نمونه‌های مورد بررسی گاهی به صورت شکستگی‌های ریز و گاهی به صورت شکستگی‌های چشمگیر در کل مقطع وجود دارد؛ این شکستگی‌ها اغلب با سیمان کربناته به همراه اکسید آهن پر شده‌اند (شکل ۵ ی). حضور سیمان اکسید آهن در کنار سیمان دولومیتی نشانگر تشکیل بخشی از این سیمان در مرحله دیاژنز دفنی و یا بالا آمدگی رسوبات است (رید و همکاران، ۲۰۰۵). بلورهای خودشکل^۴ دولومیت به صورت سیمان پرکننده شکستگی‌ها ساخته شده است (شکل ۵ ی). رگه‌های پر شده توسط کلسیت نیز در مراحل نهایی دیاژنز و زمانی که به علت فرآیندهای زمین‌ساختی رسوبات چین‌خورده و بالا می‌آیند ساخته می‌شوند (کوک و همکاران، ۲۰۰۶). در برش‌های کنگلومرای مورد بررسی، شکستگی‌ها توسط سیمان کلسیت آهن‌دار و بدون آهن پر شده است (شکل ۵ ز). یون کلسیم برای ساخت رگه‌ها به احتمال زیاد از انحلال سازندهای آهکی کناری که زیر تأثیر آب‌های جوی قرار گرفته‌اند، تأمین شده است.

۴-۳- توالی پاراژنتیکی کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌ها

رویدادهای پاراژنتیکی را می‌توان در سه مرحله ائوژنز، مزوژنز و تلوژنز تفسیر کرد. در مراحل ائوژنز و تلوژنز، رسوبات در برابر آب و هوا قرار دارند و رژیم آبی جوی نقش به‌سزایی در فرآیندهای دیاژنزی دارد اما در مزوژنز،

^۳ Fracture

^۴ Euhedral

^۵ Eogenesis Stage

قدیر نسبت به کرتاسه پایینی است که در ارتباط با پتروفاسیس‌های شناسایی شده در بخش قدیر می‌باشد. از جمله فرآیندهای دیاژنزی کنگلومراها نیز همبندی طولی و نقطه‌ای، سیمان اکسید آهن و سیمان کلسیت دروزی است (جدول ۲).

جدول ۱. نتایج درصد فراوانی دانه‌های اصلی، فرعی، سیمان و ماتریکس در ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی و پارامترهای محاسبه شده به روش دیکینسون (۱۹۸۸) بر اساس دانه شماری ۳۰۰ نقطه در هر ماسه‌سنگ

Sample NO	Unit	Q%	F%	RF%	Acc%	H M%	Cem sil%	Cem car%	Cem clay%	Cem iron%	Mat%
B۰	Ghadir Mb	55	16	5	1	1	0	5	7	9	1
B۱	Ghadir Mb	53	22	5	0	1	1	4	5	8	0
B۸	Ghadir Mb	52	17	7	1	1	1	5	10	7	0
B۱۸	Ghadir Mb	57	23	3	0	1	1	3	8	4	0
B۱۹	Ghadir Mb	56	22	3	0	1	1	4	7	6	0
B۲۰	Ghadir Mb	59	18	3	0	1	1	4	7	8	0
B۲۳	Ghadir Mb	60	22	1	0	0	1	5	6	5	0
B۳۶	K۱	55	4	12	7	1	2	3	1	17	0
B۵۷	K۱	75	3	12	0	0	1	2	1	7	0
B۶۱	K۱	66	4	13	3	0	1	4	1	8	0
B۶۴	K۱	75	2	8	2	1	0	3	0	9	0
B۶۶	K۱	77	3	14	1	0	0	0	0	5	0
B۷۶	K۱	76	3	10	0	0	1	3	1	6	0
B۸۵	K۱	83	2	6	0	1	3	2	0	4	0
B۸۶/۵	K۱	71	0	19	0	0	2	3	0	4	0
B۱۰۶/۵	K۱	87	1	7	0	0	1	1	0	4	0
B۱۰۸	K۱	68	3	7	1	0	2	3	1	15	1
B۱۱۲	K۱	70	2	5	0	0	10	0	1	11	1
B۱۱۵	K۱	76	1	8	1	1	1	3	2	9	0
B۱۱۷	K۱	71	4	6	0	0	8	1	2	7	1
B۱۱۹	K۱	76	3	7	0	0	3	1	1	7	1

جدول ۲. توالی پارازنزی در نهشته‌های آواری بخش قدیر و واحد K₁ کرتاسه پایینی در برش مورد بررسی. (خطوط خط چین مربوط به کنگلومراها در واحد K₁ کرتاسه پایینی و خطوط پیوسته مربوط به ماسه‌سنگ‌ها می‌باشد).

فراوندهای دیاژنزی	بالا آمدگی (Telogenetic) مزوژنز (Mesogenetic) ائوژنز (Eogenetic)
آشفتگی زیستی	_____
دگرسانی فلدسپات	_____
تماس طولی و نقطه ای	-----
سیمان کلسیت بلوکی	_____
سیمان کلسیت دروزی	-----
تراکم شیمیایی (تماس محذب- مقعر و مضرس)	-----
سیمان دولومیتی	_____
سیمان اکسید آهن	-----
سیمان رشد هم محور کوارتز	_____
سیمان کانی رسی	_____ ؟؟ _____ ؟؟ _____
سیمان دولومیتی حفره پر کن	-----
شکستگی	-----
پرشدگی رگه توسط سیمان دولومیتی	_____
سیمان کلسیت رگه ای	-----

۴-۳-۲- مرحله مزوژنز^۱

فرآیندهای دیاژنزی این مرحله شامل فرآیندهایی می‌باشد که در ژرفای بیش‌تر از ۲ کیلومتر و دمای بیش‌تر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد شکل گرفته و تکامل آب‌های منفذی سبب گسترش تغییرات مرحله ائوژنزی می‌شود (مراد و همکاران، ۲۰۰۰). در اثر برهم‌کنش آب و رسوب، سیال‌های منفذی قدرت انحلال بیش‌تری پیدا می‌کنند. افزون بر این، اضافه شدن یون‌هایی از سازندهای کناری، این انحلال‌پذیری را زیر تأثیر قرار می‌دهد (وردن و مراد، ۲۰۰۰). در این مرحله، آب میان حفره‌ای به علت انحلال فشاری و دگرسانی دانه‌های ناپایدار از نمک‌ها به دست آمده سرشار شده و سیمان‌هایی همچون سیمان سیلیسی و دولومیتی در نهشته‌های مورد بررسی پدید آمده است. البته لازم به یادآوری است سیمان کربناته در مراحل اولیه دیاژنز نیز قابل تشکیل است (مراد و همکاران، ۲۰۱۰). انحلال فشاری سبب تشکیل همبری کاو-کوژ در بین دانه‌ها گردیده است (مک براید، ۱۹۸۹). غلظت سیلیس در آب‌های میان حفره‌ای در این مرحله بالا رفته و سیمان سیلیسی ساخته می‌شود (رید و همکاران، ۲۰۰۵؛ مراد و همکاران، ۲۰۱۰). ساخت سیمان دولومیتی در طی دیاژنز دفنی و هنگامی که آب‌های درون سازندی از نظر شیمیایی دارای Eh پایین هستند، وجود دارد (رید و همکاران، ۲۰۰۵). تشکیل دولومیت مربوط به مراحل تدفین زیاد است به گونه‌ای که از طریق آب‌های منفذی و نیز جاننشینی در کلسیت و دولومیت‌های آهن‌دار و بدون آهن مرحله ائوژنز به وجود می‌آیند (منسونبرگ و همکاران، ۲۰۰۸). واپاشی و دگرسانی فلدسپارها در این مرحله صورت می‌گیرد به گونه‌ای که این کانی‌ها در مجاورت با آب‌های فشرده‌گی دچار دگرسانی و انحلال می‌شوند و انواع محصولات مانند آلبیت و کانی‌های رسی را پدید می‌آورند (الرمادن و همکاران، ۲۰۰۴؛ رید و همکاران، ۲۰۰۵؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۷). از جمله فرآیندهای دیاژنزی ماسه‌سنگ‌ها در این مرحله دگرسانی فلدسپات، فشرده‌گی شیمیایی، سیمان کربناته، سیمان دولومیتی، سیمان رشد هم‌محور کوارتز، سیمان کانی رسی بوده است. همچنین فرآیندهای موجود در کنگلومراها شامل همبری طولی و نقطه‌ای، فشرده‌گی شیمیایی (تماس کاو-کوژ و مضرس)،

سیمان کلسیت دروزی و سیمان دولومیتی حفره پرکن می‌باشد (جدول ۲). رخداد فرآیندهای مرحله مزوژنز از جمله دگرسانی فلدسپات و سیمان کانی رسی در بخش قدیر به دلیل ترکیب ماسه‌سنگ‌های آن بوده و فراوانی سیمان رشد هم‌محور کوارتز در ماسه‌سنگ‌های کرتاسه پایینی نتیجه ترکیب سرشار از کوارتز ساب چرت‌آرنایت و ساب فیلارنایت کرتاسه پایینی است (شکل ۲). همچنین بالاتر بودن میزان کوارتز در ماسه‌سنگ‌های کرتاسه موجب پایداری مکانیکی آن شده و در نتیجه فشرده‌گی کمتری را نسبت به ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر متحمل شده‌اند.

۴-۳-۳- مرحله تلوژنز^۲

در این مرحله سنگ‌ها در اثر فرآیندهای تکتونیکی بالا آمده و منجر به شکستگی شده و این شکستگی‌ها می‌توانند توسط کانی‌های گوناگونی پر شوند. کلسیت پرکننده شکستگی‌ها توسط آب‌های درون حفره‌ای و در مراحل اولیه بالا آمدگی و یا در نزدیکی سطح زمین و زیر تأثیر آب‌های جوی حاصل شده‌اند (تاکر و رایت، ۱۹۹۰). به طور کلی فرآیندهای دیاژنزی در مرحله ائوژنز و تلوژنز به طور مستقیم زیر تأثیر آب و هوا هستند (منسونبرگ و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین پدیدآمدن ظاهر سرخ توالی آواری کرتاسه پایینی می‌تواند مربوط به مرحله تلوژنز نیز باشد. فرآیندهای دیاژنزی مربوط به ماسه‌سنگ‌ها در این مرحله شامل سیمان اکسید آهن، سیمان رسی به صورت حاشیه‌ای، شکستگی و پرشدگی توسط سیمان کربناته و آهن‌دار می‌باشد. فرآیند سیمان رسی و پوشش رسی پیرامون دانه‌ها به همراه اکسید آهن در پتروفاسیس‌های بخش قدیر نسبت به کرتاسه پایینی بیشتر بوده و در نتیجه به نوع ترکیب پتروفاسیس‌های این بخش بستگی دارد. فرآیندهای مرحله تلوژنز مربوط به کنگلومراها شامل سیمان اکسید آهن، شکستگی و سیمان کلسیت رگه‌ای می‌باشد (جدول ۲).

۴-۴- دیاژنز سنگ‌های کربناته

فرآیندهای دیاژنزی موجود در سنگ‌های آهکی توالی واحد K2 کرتاسه پایینی شامل میکرایتی شدن، آشفته‌گی زیستی، سیمان‌های فیبری هم‌ستبرای، کلسیت‌دروزی،

² Telogenesis Stage¹ Mesogenesis Stage

۴-۴-۱- میکرایتی شدن^۵

در بررسی‌های انجام شده فرآیند میکرایتی شدن بیش‌تر در خرده‌های اسکلتی دیده شد (شکل ۷ الف). میکرایتی شدن فرآیندی است که طی آن، دانه‌ها کربناتی توسط بلورهای پنهان‌بلور^۶ کربناته یا میکرایت جایگزین می‌شود (سمن کاسو و همکاران، ۲۰۰۵). این فرآیند از فرآیندهای مهم نوریختی دریایی بوده که از نوع نوریختی کاهشی^۷ است. این نوع دگرسانی از پیرامون دانه آغاز و به سوی مرکز ادامه می‌یابد (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹). فرآیند میکرایتی شدن در محیط‌های کم انرژی ایجاد می‌شود (بت راست، ۱۹۸۵؛ شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). بیش‌ترین میزان میکرایتی شدن در محیط فوتیک (تا ژرفای بیشینه ۷۰ متر) روی می‌دهد (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹). طی این فرآیند دانه‌های کربناته به صورت بخشی یا کامل به میکرایت همگن تبدیل می‌شوند.

۴-۴-۲- آشفستگی زیستی^۸

موجودات زنده مانند کرم‌ها و سخت‌پوستان با حفر بستریهای رسوبی باعث به هم ریختگی در رسوبات می‌شوند و ممکن است ساختمان‌های رسوبی اولیه را به طور کامل از بین ببرند. این کار توسط موجودات زنده در محیط‌های دریایی و غیر دریایی اتفاق می‌افتد. همواره حفرات ایجاد شده بدین روش در مراحل بعدی توسط رسوباتی با اندازه متفاوت با رسوبات پیرامون خود پر می‌شوند (تاکرو رایت، ۱۹۸۹). این حالت در بُرش‌های نازک به صورت تناوب نامنظم و به هم ریخته رسوبات شناخته شده که در مراحل اولیه دیاژنز و در محیط دریایی رخ می‌دهد (شکل ۷ ب).

۴-۴-۳- سیمان فیبری هم‌ستبرای^۹

سیمان فیبری نسل اول اندکی بعد از رسوب‌گذاری آغاز می‌شود. این سیمان به صورت پوشش نازک فیبری در پیرامون دانه‌ها ساخته شده است (شکل ۷ ج، د). این فرآیند در رخساره‌های پر انرژی محیط سد یا شول در توالی مورد بررسی شناسایی شد. سیمان نسل اول دور دانه که در محیط دریایی اولیه ساخته می‌شود بیش‌تر

کلسیت هم‌بعد، هم‌ستبرای، آویزه‌ای، تیغه‌ای منشوری، بلوکی، رورشدی هم‌محور، اکسید آهن، دولومیتی، فشردگی و شکستگی می‌باشد. از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی کربنات‌ها سیمانی شدن است. به طور کلی هر یک از سیمان‌ها نشانگر محیط دیاژنزی ویژه‌ای هستند و از نظر محیط ساخت در محدوده‌های دریایی، جوی و تدفینی قرار می‌گیرند.

برای بررسی بیش‌تر نسل‌های مختلف سیمان بررسی‌های کاتدولومینسانس نیز انجام گرفته است. لومینسانس در سنگ به حضور عناصر فعال‌کننده^۳ و عناصر بازدارنده^۴ بستگی دارد. برخی از پژوهشگران بر این باورند که کاتدولومینسانس در کربنات‌ها بیش‌تر بستگی به تغییرات شیمی عناصر فرعی به ویژه Mn^{2+} (مهم‌ترین فعال‌کننده) و Fe^{2+} (مهم‌ترین بازدارنده) دارد (مارشال، ۱۹۹۸؛ ماشل، ۲۰۰۰). معمول‌ترین رنگ‌های کلسیت در زیر نور لومینسانس نارنجی مایل به زرد، زرد مایل به نارنجی و نارنجی است (مارشال، ۱۹۹۸). دولومیت نیز در زیر نور لومینسانس می‌تواند رنگ‌های قرمز یا زرد نشان دهد. البته باید به این نکته اشاره کرد که رنگ لومینسانس دولومیت‌ها ممکن است به دلیل شرایط محیطی باشد. سیمان‌های دریایی بیش‌تر تمایل به ساخت شکل‌های سوزنی و رشته‌ای دارند و در زیر میکروسکوپ بدون هر گونه لومینسانسی هستند (مجور، ۱۹۹۱؛ ماشل، ۲۰۰۰). البته سیمان‌های دریایی اولیه ممکن است دارای لومینسانس کدر و مات باشند (باگز و کرینسلی، ۲۰۰۶). سیمان‌های ساخته شده در این محیط می‌تواند شکل‌های بلوکی هم‌ستبرای یا هم‌بعد تشکیل دهند و احتمالاً دارای مقدار بالاتری از یون منگنز دو ظرفیتی هستند؛ در نتیجه در زیر لومینسانس به رنگ روشن دیده می‌شوند. با ادامه تدفین و وارد شدن رسوبات به محیط‌های دیاژنزی تدفین ژرف، سیمان‌های ساخته شده درشت‌بلور می‌شوند. در چنین محیط‌هایی شرایط کاهش (احیا) چیره است اما بودن یون آهن به عنوان بازدارنده در چنین شرایطی سبب ایجاد لومینسانس تیره می‌گردد (باگز و کرینسلی، ۲۰۰۶).

⁵ Micritization

⁶ Cryptocrystalline

⁷ Degrading Neomorphism

⁸ Bioturbation

⁹ Fibrous isopachous cement

³ Activators

⁴ Quenchers

به سوی آهن زیاد می‌باشد و پس از رسیدن به زمینه به رنگ تیره بدون لومینسانس تبدیل می‌شود که نشانگر شرایط افزایش آهن و تدفین است (شکل ۸ الف، ب). بخش‌های روشن سیمان مربوط به محیط دیاژنز فریاتیکی و بخش‌های تیره‌تر مربوط به محیط دیاژنز جوی می‌باشد؛ زیرا به طور کلی مرحله دیاژنز جوی در محدوده وادوز دارای رنگ لومینسانس تیره و در محدوده فریاتیکی دارای لومینسانس روشن است (باگز و کرینسلی، ۲۰۰۶). بنابراین در نمونه مورد بررسی سیمان هم‌بعد مربوط به منطقه متئوریک بوده و به سوی بیرون دارای رنگ تیره‌تر می‌باشد (مربوط به تغییرات میزان آهن و منگنز بخش متئوریک) و سپس در زمینه سیمان بلوکی (در ادامه گفته خواهد شد) بدون لومینسانس محیط دفنی قرار گرفته است.

۴-۴-۶- سیمان آویزه‌ای^{۱۲}

این سیمان به صورت ثقلی در زیر قطعات اکینودرم به صورت سیمان رشد هم‌محور آویزه‌ای تشکیل شده است (شکل ۸ ج). انباشت این سیمان بیش‌تر در بخش پایین دانه‌ها بیش‌تر از سایر بخش‌ها می‌باشد و حالت آویزه‌ای همراه با زون بندی تیره و روشن دارد (شکل ۸ د، ه). این سیمان از جمله سیمان‌های منطقه‌ی متئوریک بوده که به دلیل موقتی بودن جریان آب در این منطقه سیمان‌ها به صورت پراکنده و نامنظم ساخته شده است (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹). سیمان‌های زون هوادار مربوط به محیط وادوز به دلیل وجود شرایط اکسیدی دارای لومینسانس تیره و همانند سیمان‌های دریایی می‌باشند (باگز و کرینسلی، ۲۰۰۶). گاهی سیمان محیط فریاتیکی دارای لومینسانس روشن و درخشان است (باگز و کرینسلی، ۲۰۰۶). بررسی‌های لومینسانس بر روی این نوع سیمان نشانگر ساخت سه بخش با لومینسانس متفاوت می‌باشد (شکل ۸ ی)؛ زون اول با لومینسانس روشن وابسته به منطقه فریاتیکی و زون دوم وابسته به منطقه وادوز است. زون‌های اشاره شده به دلیل تغییر در میزان آهن و منگنز دارای حالت روشن و تیره می‌باشند. پس از این دو بخش، سیمان بلوکی تدفین ژرف قرار گرفته که بدون لومینسانس است.

تیره و مه‌آلود است و بسته به عناصر سازنده بدون لومینسانس هم می‌تواند باشد (باگز و کرینسلی، ۲۰۰۶). سیمان نسل اول دریایی در نهشته‌های مورد بررسی دارای لومینسانس تیره و کدر می‌باشد که دور تا دور دانه را فراگرفته و ستبرای کمی دارد (شکل ۷ الف، ب) (بریگود و همکاران، ۲۰۰۹). لومینسانس تیره نشانگر میزان بالای یون بازدارنده آهن نسبت به منگنز می‌باشد (باگز و کرینسلی، ۲۰۰۶). و با توجه به ساخت این سیمان در محیط دریایی و میزان بالای آهن در این شرایط، تیره بودن لومینسانس سیمان اشاره شده به خوبی توجیه پذیر است.

۴-۴-۴- سیمان کلسیت دروزی^{۱۰}

این سیمان به صورت حفره پرکن در فضای حفرات ساخته شده است (شکل ۷ ه). در این نوع سیمان اندازه بلورها به سوی مرکز حفره بزرگ‌تر می‌شود. این فابریک به علت رشد سریع‌تر در راستای محور C بلورشناسی و رقابت میان بلورهای کناری ساخته می‌شود (شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). هنگام رشد بلورها بر روی دیواره‌ی حفره‌ها، بلورهایی که محور C آن‌ها به حالت عمود بر جداره‌ی دیواره نزدیک‌تر است، سریع‌تر رشد کرده و بزرگ‌تر می‌شوند (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹). این سیمان بیش‌تر در محیط دیاژنز هوازی ساخته می‌شود (صالحی و همکاران، ۱۳۸۹).

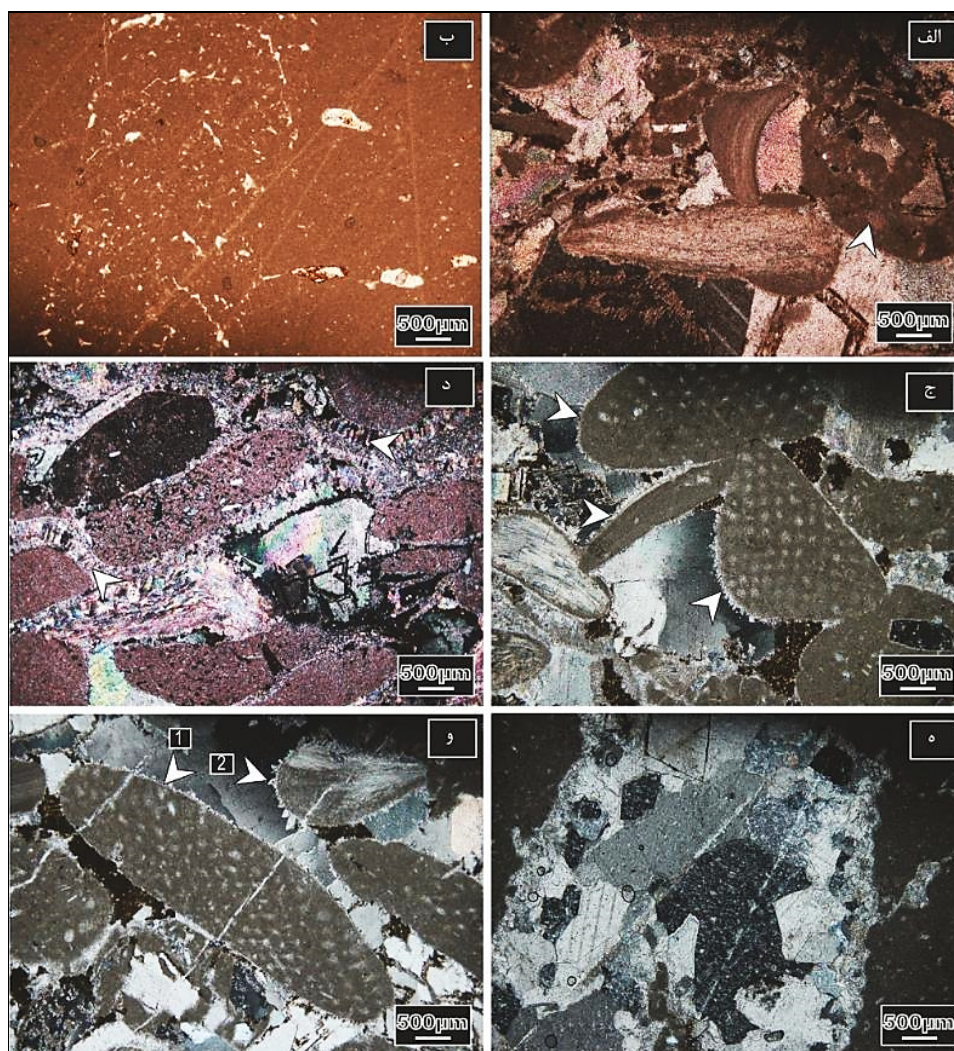
۴-۴-۵- سیمان کلسیت هم بعد هم‌ستبرای^{۱۱}

این سیمان به شکل بلورهای دارای نسبت درازا به پهنای برابر و انتهای هرمی شکل هستند (فلوگل، ۲۰۱۰). در محیط‌هایی که هسته‌های زیادی وجود دارند رشد بر روی شمار زیادی از این هسته‌ها انجام می‌گیرد و شانس کافی برای رشد زیاد هر تک بلور وجود ندارد و بلورهای حاصله کوچک خواهد بود (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹). این سیمان در محیط دیاژنزی فریاتیکی دریایی به ویژه در بخش‌های کم ژرفای دریا و هم‌چنین در محیط وادوز دریایی ساخته می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰) (شکل ۷ و). این سیمان در زیر نور کاتدولومینسانس از کانون به سوی بیرون دارای لومینسانس تیره است که نشانگر تغییرات از منگنز زیاد

¹² Pendent cement

¹⁰ Drusy calcite cement

¹¹ Equate isopachous calcite cement



شکل ۷. فرایندهای دیازنزوی کربنات‌های واحد K_2 کرتاسه پایینی. الف: میکرایتی شدن (نمونه B152): ب: آشفته‌گی زیستی (نمونه B142); ج، د: سیمان فیبری هم ستبرای (نمونه B152): ه: سیمان کلسیت دروزی (نمونه B152): و: سیمان فیبری (۱) و سیمان کلسیت هم بعد هم‌ستبرای (۲) (نمونه B152)

۴-۴-۷- سیمان تیغه‌ای منشوری^۱

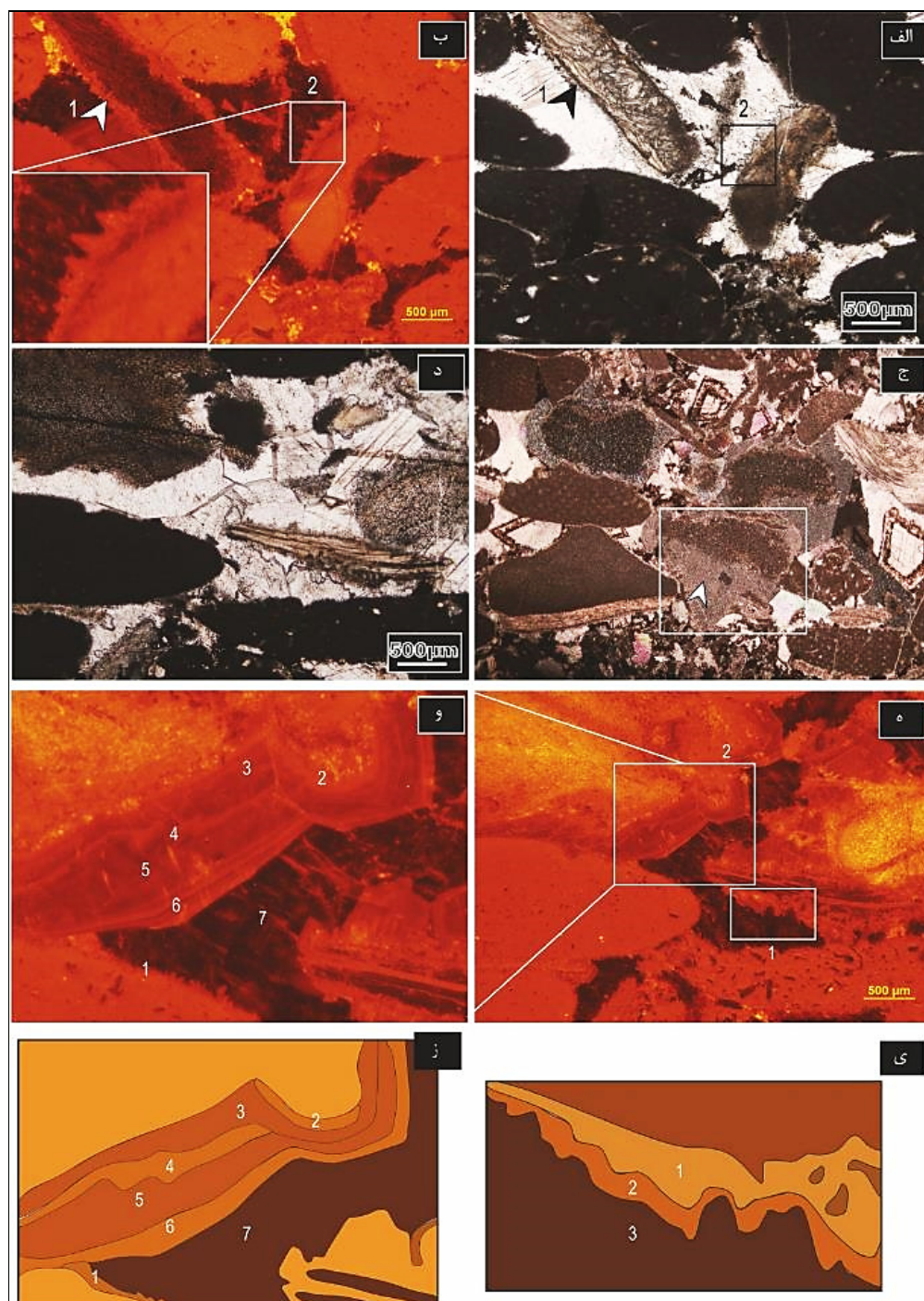
این سیمان دارای رشد موازی نسبت به محور C و عمود بر سطح یا دیواره دانه‌ها ساخته می‌شود و دارای ترکیب کانی‌شناسی آراگونیتی یا HMC است. این سیمان بیش‌تر در محیط تدفین کم ژرفای و در مراحل اولیه دیازنز تدفینی ساخته شده است (شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). این سیمان از بلورهای دراز با انتهای اسکالائونئودال (مثلی) ساخته شده که عموماً بر روی دانه‌ها و یا بر روی سیمان‌های نسل پیش رشد می‌کنند (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹)، (شکل ۹ الف).

۴-۴-۸- سیمان کلسیتی بلوکی^۲

سیمان بلوکی در تصاویر ۷ ه-ز در زمینه پیرامون دانه‌ها قابل دیدن است. این سیمان دارای رنگ شفاف و به صورت بلورهای درشت و بزرگ میان دانه‌ها است. سیمان بلوکی مربوط به محیط دیازنزوی وادوز، فریاتیک و یا دفنی است (تاگر و رایت، ۱۹۸۰). در بُرش‌های مورد بررسی، زمینه بدون لومینسانس مربوط به سیمان بلوکی می‌باشد (شکل ۹ ب). این سیمان وابسته به محیط دفنی است که بلور دارای مقادیر آهن بالا در این شرایط است (باگز و کرینسلی، ۲۰۰۶؛ بریگود و همکاران، ۲۰۰۹).

² Blocky calcite cement

¹ Prismatic bladed cement



شکل ۸. فرآیندهای دیاژنزی کربنات‌های واحد K_2 کرتاسه پایینی. الف، ب: سیمان کلسیتی فیبری نسل اول (۱) و سیمان کلسیت هم بعد هم‌ستبرای (۲) (نمونه B152 b)، تصویر سمت راست در نور پلاریزه و تصاویر سمت چپ در نور کاندولومینسانس است. ج: سیمان آویزه‌ای رشد هم‌محور؛ د، ه: سیمان آویزه‌ای (۱) و سیمان رشد هم‌محور (۲)، تصویر سمت چپ در نور پلاریزه و تصاویر سمت راست در نور کاندولومینسانس است (نمونه B152 b)؛ و: نمای بزرگ‌تر (کادر ۲) در تصویر (ه) و مراحل مختلف فرآیندهای دیاژنزی که در تصویر (ز) تفسیر شده است؛ ی: زون‌بندی سیمان آویزه‌ای کادر ۱ در تصویر (ه) و زون ۱ و ۲ مربوط به سیمان آویزه‌ای منطقه متئوریک بوده و زون ۳ مربوط به سیمان بلوکی تدفین ژرف می‌باشد، ز: زون بندی سیمان رشد هم‌محور اکیئوتید در کادر ۲ از تصویر (ه)؛ زون ۱: سیمان سوزنی نسل اول دریایی، ۲-۶: مراحل زون‌بندی رشد هم‌محور اکیئوتید، زون ۷: سیمان کلسیت بلوکی مرحله دفن ژرف

۴-۴-۹- سیمان رورشدی هم‌محور^۱

این سیمان در نمونه‌های مورد بررسی با توجه به فراوانی قطعات اسکلتی مانند اکینوئیدها به فراوانی یافت می‌شود (شکل ۸ ه، و، ز و ۹ ج، د). این سیمان به طور معمول دارای ترکیب کانی‌شناسی HMC و دارای پیوستگی نوری با دانه‌ها دربرگیرنده است، به گونه‌ای که حتی خطوط کلیواژ و ماکل در سیمان نیز دیده می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). سیمان‌های رورشدی بیش‌تر دارای منطقه‌بندی هستند. شناسایی محیط دقیق این سیمان‌ها آسان نیست زیرا این سیمان می‌تواند در محیط‌های دیاژنزی مختلف از محیط‌های دریایی تا تدفین ساخته شود. سیمان هم‌محور به طور عمده روشن بوده و می‌تواند در محیط دیاژنز هوازی و دفنی نهشته شود (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹؛ شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). سیمان رشد هم‌محور در اکینوئیدها بسته به میزان یون‌های موجود در محیط ساخت دارای لومینسانس روشن، نیمه تیره، تیره و یا حتی بدون لومینسانس است (باگز و کرینسل، ۲۰۰۶). سیمان رشد هم‌محور در نمونه‌های بررسی شده دارای زون‌بندی‌های روشن و تیره متفاوت است (شکل ۸ و). بازسازی بخش‌بندی‌های سیمان رشد هم‌محور نشانگر وجود پنج بخش رشد مختلف بوده که نشانگر تغییرات میزان آهن و منگنز است (شکل ۸ ز). با توجه به بخش‌بندی‌های گوناگون در این سیمان، ساخت سیمان رشد هم‌محور در محیط دیاژنز تدفینی رخ داده است. سیمان رشد هم‌محور گاهی در اثر رشد بلورها، در هم قفل شده‌اند (شکل ۹ ج، د).

۴-۴-۱۰- سیمان اکسید آهن^۲

سیمان اکسید آهن در ژرفای کم تدفین و در مناطق فریاتیکی هم‌چنین در طی بالا آمدگی ساخته می‌شود (اینسل، ۲۰۰۰). سیمان اکسید آهن به صورت پراکنده در پیرامون برخی از خرده‌های اسکلتی، در حفرات کوچک وجود دارد (شکل ۹ ه).

۴-۴-۱۱- سیمان دولومیتی^۳

دولومیت‌های مورد بررسی دارای هسته روشن و کناره تیره همراه با اکسید آهن می‌باشند (شکل ۱۰ الف). این

سیمان بیش‌تر آهن‌دار بوده و مشخصه‌ی مهم آن داشتن بلورهایی بزرگ با سطح بلورین و رخ‌های انحنادار است (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹). چند عامل ته نشست دولومیت را کنترل می‌کنند که از میان آن‌ها دما، انحلال، ترکیب و انباشت مواد، میزان تبلور یافتگی و حضور و تمرکز ترکیبات آلی ویژه دارای اهمیت است (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹). در طی کانی‌سازی دولومیت بر پایه زمان، دما و میزان سیالات دولومیت‌ساز، طیف وسیعی از انواع دولومیت ساخته می‌شود (مراد، ۱۹۹۸). در نمونه مورد بررسی سیمان دولومیتی در زیر نور لومینسانس به خوبی بخش‌بندی نشان می‌دهد (شکل ۱۰ ب). دولومیت‌ها با افزایش ژرفای و تبلور مجدد دارای لومینسانس روشن می‌گردند که البته بستگی به میزان عناصر فعال کننده و بازدارنده در محیط ساخت دارد (باگز و کرینسل، ۲۰۰۶). بررسی سیمان دولومیتی در زیر نور کاتدولومینسانس نشانگر سه بخش می‌باشد (شکل ۱۰ ب). بخش نخست هسته‌های تیره رنگ حاصل جانشینی دولومیت از آب‌های دریایی میان منفذی را نشان می‌دهد (بریگود، ۲۰۰۹). سپس بخش دوم رشد یک مرحله سیمان دولومیتی می‌باشد که با توجه به لومینسانس نیمه روشن در طی افزایش ژرفای تدفین شکل گرفته است. ساخت بخش سوم با لومینسانس روشن در طی دفن ژرف بوده و پس از آن سیمان بلوکی تدفین ژرف رشد یافته است (شکل ۱۰ ج).

۴-۴-۱۲- فشردگی^۴

در نمونه‌های مورد بررسی در اثر فشردگی فیزیکی مرزهای نقطه‌ای و آرایش فشردگی دانه‌ها پدید آمده است، سپس در اثر افزایش فشردگی منجر به انحلال فشاری و تماس کاو-کوژ میان دانه‌ها شده است (شکل ۸ و). از عوارض فشردگی و فشردگی، مرزهای بین دانه‌های کاو-کوژ و انحنادار است (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹).

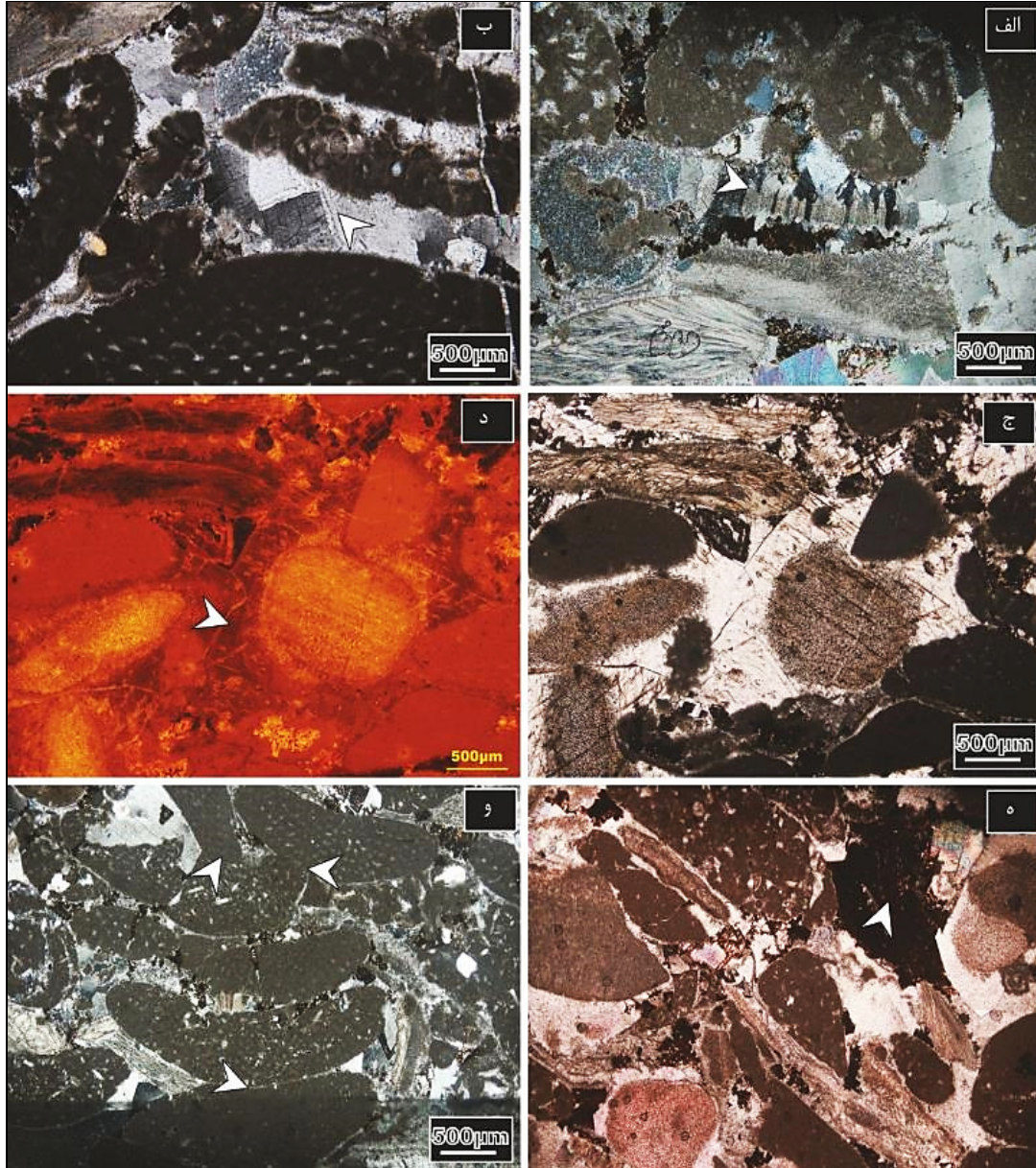
۴-۴-۱۳- شکستگی^۵

در بُرش‌های مورد بررسی، شکستگی‌ها به صورت رگه از میان دانه‌ها گذر می‌کنند و در طی تدفین آغاز می‌شوند و بیش‌تر خاستگاه تکتونیکی دارند (محبوبی و همکاران، ۱۳۸۷). این رگه‌ها بیش‌تر توسط سیمان کلسیتی پر

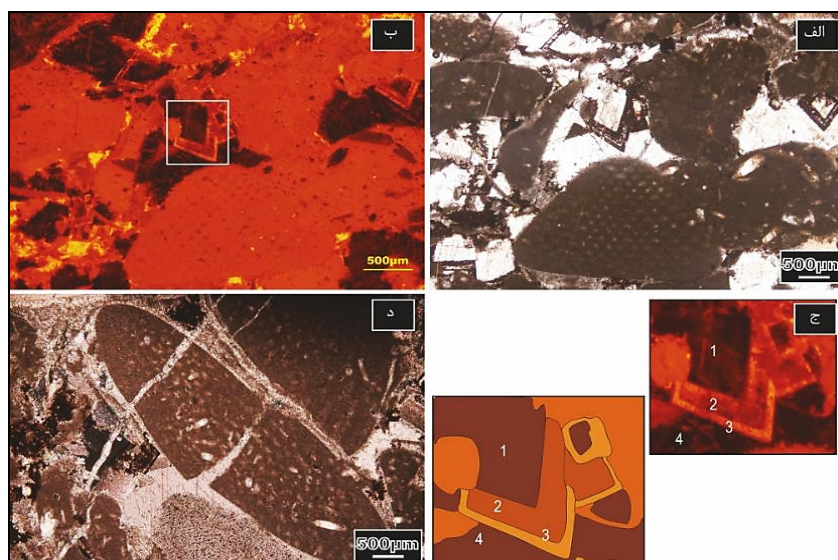
¹ Syntexial overgrowth cement² Iron oxide cement³ Dolomite cement⁴ Compaction⁵ Fracture

دلیل اصلی ساخت بلورهای کلسیتی در این شرایط به احتمالناشی از دست دادن گاز CO₂ بوده است (محبوبی و همکاران، ۱۳۸۷).

شده‌اند (شکل ۱۰ د). شواهد ساخت رگه‌های مختلف کلسیتی در سنگ‌های آهکی دیده می‌شود. رگه‌های کلسیتی در مراحل اولیه بالا آمدگی و در زمانی که رسوبات زیر فشار لایه‌های بالایی بودند پدید آمده‌اند که



شکل ۹. فرآیندهای دیاژنزی کربنات‌های واحد K₂ کرتاسه پایینی. الف: سیمان تیغه‌ای-منشوری (پیکان سفید) (نمونه B152)، ب: سیمان کلسیت بلوکی که با پیکان نشان داده شده است (نمونه B152)، ج، د: سیمان رشد هم‌محور و رشد این سیمان در کنار یکدیگر و حالت قفل‌شدگی بلورهای سیمان با پیکان نشان داده شده است. تصویر سمت راست در نور پلاریزه و تصویر سمت چپ در نور کاتدولومینسانس می‌باشد (نمونه B152 b)؛ ه: سیمان اکسید آهن با پیکان مشخص شده است (نمونه B152)؛ و: فشردگی و ایجاد تماس کاو-کوژ (نمونه B152)



شکل ۱۰. فرآیندهای دیاژنزی کربنات‌های واحد K_2 کرتاسه پایینی. الف، ب: سیمان دولومیتی پر کننده فضای میان دانه‌ها (نمونه B152b)؛ تصویر سمت راست در نور پلاریزه و تصاویر سمت چپ در نور کاتدولومینسانس است؛ ج: نمای بزرگ‌تر در کادر مشخص شده در تصویر (ب) و نمایش زون‌بندی‌های سیمان دولومیتی، ۱: تشکیل دولومیت طی مراحل اولیه تدفین، ۲-۳: ایجاد زون‌بندی طی پیشرفت و افزایش ژرفای تدفین، زون ۴: سیمان کلسیت بلوکی مرحله تدفین ژرف؛ د: شکستگی و پرشدگی با سیمان کربناته (نمونه B152)

مرحله در نمونه‌های مورد بررسی شامل میکرایتی شدن، آشفستگی زیستی، سیمان فیبری نسل اول و سیمان سوزنی هم ستبرای می‌باشد (جدول ۳).

۴-۵-۲- دیاژنز جوی^۸

از جمله فرآیندهای محیط دیاژنز جوی، انحلال و شکستگی‌های ناشی از آن، سیمان آویزه‌ای، سیمان‌هایی با سطح هلالی در سطح تماس میان دانه‌ها، بلورهای جارویی^۹، رشته‌های کلسیتی شده می‌باشد (شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). سایر فرآیندها مانند سیمان رشد هم‌محور، سیمان‌های بلوکی و دروزی، و سیمان‌های هم بعد پیرامون دانه‌ها و دولومیتی شدن نیز می‌تواند در این مرحله ساخته شود و یا از مراحل نخستین دیاژنز به این مرحله راه یافته و تکمیل گردد (تاگر و رایت، ۱۹۹۰؛ رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹؛ شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). نیاز به یادآوری است فرآیندهای دیاژنز جوی و تدفینی بسیار شبیه به هم است (ملیم، ۲۰۰۲). از جمله فرآیندهای این مرحله در نمونه‌های مورد بررسی سیمان آویزه‌ای، سیمان کلسیت دروزی، سیمان کلسیت دندان‌های و سیمان اکسید آهن می‌باشد (جدول ۳).

۴-۵-۳- توالی پاراژنزی سنگ‌های کربناته

رویدادهای پاراژنزی سنگ‌های کربناته را می‌توان طی سه مرحله دیاژنز دریایی^۱، جوی^۲ و تدفینی^۳ تفسیر کرد. محیط جوی به دو بخش اصلی منطقه وادوز (منطقه هوادار)^۴ و منطقه اشباع (منطقه فریاتیکی)^۵ تقسیم می‌شود. بسیاری از نهشته‌های کربناته کم ژرفا به دلیل پایین افتادن سطح آب دریا، زیر تأثیر دیاژنز جوی قرار می‌گیرند (تاگر و رایت، ۱۹۹۰؛ شول و اولمر شول، ۲۰۰۶؛ جیمز و جون، ۲۰۱۵). توالی پاراژنزی فرآیندهای دیاژنزی شناسایی شده در نمونه‌های کربناته از توالی مورد بررسی در زیر بررسی شده است.

۴-۵-۱- دیاژنز دریایی^۶

از جمله فرآیندهای اصلی این مرحله میکرایتی شدن، آشفستگی زیستی، قشرهای هم ستبرای سیمان هم‌بعد^۷ تا سوزنی، سیمان کلسیتی منیزیم‌دار تا رشته‌ای و تیغه‌ای است (محبوبی و همکاران، ۱۳۸۷؛ رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹؛ شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). فرآیندهای دیاژنزی این

¹ Eogenetic

² Meteoric

³ Burial

⁴ Vadose

⁵ Phreatic

⁶ Marine diagenesis

⁷ Isopachous crusts

⁸ Meteoric diagenesis

⁹ whisker

جدول ۳. توالی پاراژنزی سنگ‌های آهکی واحد K₂ کرتاسه پایینی در برش مورد بررسی

فرآیندهای دیاژنزی	دفنی (Burial) متئوریک (Meteoritic) دریایی (Marine)		بالا آمدگی (Telogenetic)
	اشباع از آب هوا (Vadose)	اشباع از آب (Phreatic)	
میکریتی شدن	_____		
آشفته‌گی زیستی	_____		
سیمان فیبری هم ضخامت			
سیمان آویزه ای		_____	
سیمان کلسیت دروزی			_____
سیمان کلسیت هم بعد هم ضخامت		_____	
سیمان اکسید آهن	_____		_____
سیمان تیغه ای-منشوری			_____
فشرده‌گی			_____
سیمان دولومیتی			_____
سیمان کلسیت بلوکی			_____
سیمان رشد هم محور			_____
شکستگی			_____

در این پژوهش با ارائه شواهد از ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی از بخش قدیر و توالی آواری نهشته شده پس از فاز کوهزایی سیمین (واحد K₁) مشخص گردید که ترکیب اولیه ماسه‌سنگ‌ها تا چه حد در روند دیاژنزی و محصول نهایی آن‌ها موثر بوده است. البته ترکیب اولیه ماسه‌سنگ به خودی خود تعیین کننده محصول نهایی نیست بلکه مجموعه‌ای از عوامل گوناگون که بر هم اثرگذارند، این فرایند را به پیش می‌برند. به طور کلی می‌توان گفت که محصول نهایی دیاژنزی حاصل ترکیب و بافت اولیه سنگ، دما، فشار و تحول آب‌های منفذی و البته مدت زمانی است که فرایندهای دیاژنزی بر سنگ عمل کرده است. با این وجود، همان گونه که این پژوهش نشان داد ترکیب ماسه‌سنگ‌ها از راه تأثیر بر نوع و فراوانی سیمان‌ها و محصولات دگرسانی دانه‌ها در روند دیاژنزی ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر و توالی آواری کرتاسه موثر بوده است. از بررسی پتروگرافی فرایندهای دیاژنزی نهشته‌های کربناته توالی کرتاسه پیشین با کانی‌شناسی احتمالاً اولیه کلسیتی (سنبرگ، ۱۹۸۳؛ اسنلی، ۲۰۰۶)، سبب پایداری و عدم انحلال و توسعه تخلخل در نهشته‌های کربناته گردیده است.

نتیجه‌گیری

توالی مورد بررسی دارای ۱۶۷ متر ستبرای بوده و شامل بخش‌های بالایی بخش قدیر سازند نایبند و توالی آواری و

۴-۵-۳- دیاژنزی تدفینی^۱

این مرحله از دیاژنزی در ژرفای زیاد به همراه دمای بالا رخ می‌دهد. از جمله فرایندهای دیاژنزی تدفنی شامل آب‌زدایی^۲، پوشش‌های فشرده‌گی^۳، مرزهای همبری فشرده و مضرس است (شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). سیمان‌های دیاژنزی تدفینی دارای رشد کند بوده در نتیجه بدون نقص و روشن هستند. از جمله سیمان‌های این مرحله سیمان فیبری تیغه‌ای است. سیمان‌های موزائیکی و دروزی بزرگ، سیمان دولومیتی از جمله سیمان‌های این مرحله می‌باشد (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۹؛ شول و اولمر شول، ۲۰۰۶). فرایندهای دیاژنزی این مرحله در نمونه‌های کربناته مورد بررسی شامل سیمان تیغه‌ای منشوری، فشرده‌گی، سیمان دولومیتی، سیمان کلسیت بلوکی و سیمان رشد هم‌محور است (جدول ۳).

۴-۵-۴- مرحله بالا آمدگی^۴

این مرحله پس از دیاژنزی تدفنی و در طی بالا آمدگی توسط عوامل تکتونیکی می‌باشد. در این مرحله انواع شکستگی ساخته شده است. هم‌چنین پر شدن رگه‌ها و شکستگی‌ها با انواع سیمان کلسیتی، دولومیتی و آهن‌دار رخ داده است (حسینی‌برزی و سعیدی، ۱۳۸۹).

¹ Burial diagenesis

² Dewatering process

³ Compaction drape

⁴ Telogenetic

تیره تا بدون لومینسانس) گردیده است. ترکیب پایدار نهشته‌های کربناته با ترکیب کانی‌شناسی احتمالاً کلسیتی سبب گسترش نیافتن فرآیندهای انحلال و تخلخل گردیده است.

منابع

- آقناباتی، ع (۱۳۸۵) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- حسینی‌برزی، م.، و م. سعیدی (۱۳۸۹) برخاستگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های سازند پادها در برش سمیر کوه، ایران مرکزی: با در نظر گرفتن تأثیر فرآیندهای دیاژنزی بر ترکیب ماسه‌سنگ‌ها، علوم زمین، شماره ۸۹، ۱۴۷-۱۵۸ ص.
- رحیم‌پور بناب، ح (۱۳۸۹) سنگ‌شناسی کربناته با نگرشی بر کیفیت مخزنی، انتشارات دانشگاه تهران (چاپ دوم)، ۵۵۴ ص.
- صالحی، م.ع.، آدابی، م. ح.، قلاوند، ه.، م. خطیبی مهر (۱۳۸۹) محیط رسوبی، دیاژنز و ژئوشیمی سازند فهلیان در برش نمونه (تاق‌دیس فهلیان) و میدان نفتی گچساران، نشریه علوم زمین، شماره، ۷۶، ۳۳-۴۴ ص.
- محبوبی، ا.، موسوی‌حرمی، ر.، قرایی، م. ح.، منصوری دانشور، پ. و م.، خانه‌باد (۱۳۸۷) تفسیر توالی پارائنتیکی رسوبات رسوبات کربناته کرتاسه فوقانی در شمال شرق بجنستان، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۴، شماره ۲، ۷۵-۸۵ ص.
- موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی (۱۳۸۴) اطلس راه‌های ایران مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، ۲۷۱ ص.
- مزروعی‌سبدانی، ز. م. ع.، صالحی، ح. ر. پاکزاد، و ع. بهرامی (۱۳۹۵) پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های بخش قدیر از سازند نایبند و توالی قرمز کرتاسه پایینی در برش کوه بجاره، شمال شرق اصفهان: کاربرد در تعیین جایگاه تکتونیکی، سنگ مادر و آب و هوای دیرینه، بیستمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۹۹۹-۱۰۰۷ ص.
- منانی، م. و م. یزدی (۱۳۹۴) پالئوآکولوژی و محیط دیرینه نهشته‌های تریاس پسین ایران با تأکید بر یافته‌های جدید در برش دیزلو (شمال‌خاور اصفهان)، بر اساس حضور مرجان‌های اسکراکتینا: فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۹۵، ۲۸۱-۲۹۰ ص.

کربناته کرتاسه پایینی در شمال‌خاور اصفهان می‌باشد. بررسی دیاژنزی ماسه‌سنگ‌ها منجر به شناسایی فرآیندهای آشفستگی زیستی، دگرسانی فلدسپات، همبری طولی و نقطه‌ای، سیمان کلسیتی و سیمان کلسیت دروزی، سیمان اکسید آهن و سیمان کانی رسی گردید؛ که در مرحله ائوژنز رخ داده‌اند. از فرآیندهای یادشده، سیمان کانی رسی به دلیل ترکیب پتروفاسیس‌های آرکوز و لیتیک‌آرکوز بخش قدیر دارای فراوانی بالایی نسبت به پتروفاسیس‌های توالی آواری کرتاسه پایینی می‌باشد. از جمله فرآیندهای مرحله مزوژنز ادامه دگرسانی فلدسپات، فشردگی شیمیایی، سیمان دولومیتی، سیمان رشد هم‌محور کوارتز و سیمان کانی رسی می‌باشد؛ که در میان این فرآیندها، دگرسانی فلدسپات در پتروفاسیس‌های بخش قدیر و سیمان رشد هم‌محور کوارتز در پتروفاسیس‌های ساب چرت آرنایت و ساب فیلاژنایت توالی آواری کرتاسه پایینی بیش‌تر وجود دارد که متأثر از ترکیب پتروفاسیس‌های یادشده می‌باشد. فرآیندهای تلوژنز شامل سیمان‌های اکسید آهن، کانی رسی و نیز فرآیندهای شکستگی و پرشدگی رگه توسط سیمان دولومیتی و کلسیتی می‌باشد. نتایج بررسی دیاژنز نهشته‌های آواری توالی مورد بررسی از بخش قدیر و نهشته‌های بعد از فاز کوهزایی سیمین (واحد K1 کرتاسه پایینی) نشان از تأثیر ترکیب بر روند و محصولات دیاژنزی است. از بررسی دیاژنز در سنگ‌های کربناته (واحد K1 کرتاسه پایینی) نیز فرآیندهای میکرایتی شدن و آشفستگی زیستی، سیمان فیبری هم‌ستبرای در مرحله دیاژنز دریایی و سیمان آویزه‌ای و اکسید آهن وابسته به مرحله دیاژنز هواده شناسایی شده است. سیمان آویزه‌ای و کلسیت دروزی و دندان‌های، سیمان اکسید آهن، مربوط به دیاژنز اشباع از آب مرحله متئوریک می‌باشد. از فرآیندهای دیاژنز دفنی، فشردگی، سیمان تیغه‌ای-منشوری، سیمان دولومیتی، بلوکی، رشد هم‌محور و شکستگی می‌باشد. در طی بالا آمدگی نیز سیمان اکسید آهن و شکستگی و پر شدن آن رخ داده است. از جمله بررسی‌های دیاژنز سنگ‌های کربناته بررسی کاتدولومینسانس می‌باشد که منجر به شناسایی مراحل مختلف دیاژنز دریایی (لومینسانس تیره و کدر تا بدون لومینسانس)، هواده (لومینسانس روشن و کدر)، فریاتیکی (لومینسانس روشن و شفاف) و دیاژنز دفنی (لومینسانس

- iranischen Teil des Koppeh-Dagh (NE-Iran): *Zitteliana*, 21: 159-190.
- Ingersoll, R. V., T. F., Bullard, R. L. Ford, J. P. Grimm, J. D. Pickle, and S. W. Sares (1984) The effect of grain size on detrital modes: A test of Gezzi-Dickinson point-counting method: *Journal of Sedimentary Research*, 54: 103-116.
- James, N. P., and B. Jones (2015) *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks*, Wiley, 446 p.
- Jiménez-Espinosa, R., and J. Jiménez-Millán (2003) Calcrete development in Mediterranean colluvial carbonate systems from SE Spain, *Journal of Arid Environments*, 53: 479-489.
- Jinliang, Z., Q. Lijuan, and Z. Zhongjie (2008) Depositional facies diagenesis and their impact on the reservoir quality of Silurian sandstone from Tazhong area in central Tarim Basin, western China, *Journal of Asian Earth Sciences*, 33: 42-60.
- Kim, J. C., Y. I. Lee, and K. Hisada (2007) Depositional and compositional controls on sandstone diagenesis, the Tetori Group (Middle Jurassic-Early Cretaceous), central Japan, *Sedimentary Geology*, 195: 183-202.
- Machel, H. G (2000) Application of cathodoluminescence to Carbonate diagenesis, In Pagel M., V. Barbin, P. Blance, and D. Ohnenstetter (Eds.), *Cathodoluminescence in Geosciences*, Springer, Berlin, p. 271-301.
- Major, R. P (1991) Cathodoluminescence in Post-Miocene carbonates, *Luminescence Microscopy and Spectroscopy, Qualitative and Quantitative Applications: SEPM, Short Course*, 25: 149-53.
- Mannani, M., and M. Yazdi (2009) Late Triassic and Early Cretaceous sedimentary sequence of northern Isfahan province (central Iran): Stratigraphy and paleoenvironment, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61: 374-637.
- Mansurbeg, H., S. Morad, A. Salem, R. Marfil, M. El-Ghali, J. Nystuen, M. Caja, A. Amorosi, D. Garcia, and A. La Iglesia (2008) Diagenesis and reservoir quality evolution of Palaeocene deep-water, marine sandstones, the Shetland-Faroes Basin, British continental shelf, *Marine and Petroleum Geology*, 25: 514-543.
- Marshall, D. J (1988) *Cathodoluminescence of Geological Materials*, Winchester, MA, Allen and Unwin, 128 p.
- McBride, E. F (1989) Quartz cement in sandstones: a review, *Earth Science Reviews*, 26: 69-112.
- Melim, L. A., H. Westphal, P. K. Swart, G. P. Eberli, and A. Munnecke (2002) Questioning carbonate diagenetic paradigms, evidence from the Neogene of the Bahama: *Marine Geology*, 185: 27-53.
- Al-Ramadan, K. A., M. Hussain, B. Imam, and S. Saner (2004) Lithologic characteristics and diagenesis of the Devonian Jauf Sandstone at Ghawar Field, eastern Saudi Arabia, *Marine and Petroleum Geology*, 21: 1221-1234.
- Amini, A (2011) Red colouring of the Upper Red Formation in central part of its basin, central zone, *Iranian Journal of Sciences*, 12: 145-156.
- Bathurst, R. G. C (1975) *Carbonate Sediments and their Diagenesis*, Elsevier Science Publication Company, New York, 658 p.
- Bernet, M., and K. Bassett (2005) Provenance analysis by single quartz- grain SEM-CL/Optical microscopy, *Journal of Sedimentary Research*, 75: 492-500.
- Bernet, N., D. Kapoutsos, and K. Bassett (2007) Diagenesis and provenance of Silurian quartz arenite in south-eastern New York State, *Sedimentary Geology*, 201: 43-55.
- Boggs, S., and D. Kinsley (2006) *Application of Cathodoluminescence Imaging to the Study of Sedimentary Rocks*, Cambridge University Press, 165 p.
- Brigaud, B., Ch. Durllet, J. F. Deconinck., B. Vincent., J. Thierry., and A. Trouiller (2009) The origin and timing of multiphase cementation in carbonates: Impact of regional scale geodynamic events on the Middle Jurassic Limestones diagenesis (Paris Basin, France), *Sedimentary Geology*, 222: 161-180.
- Burley. S., and R. H. Worden (2003) *Sandstone Diagenesis, Recent and Ancient*, Reprint of International Association of Sedimentologist, Blackwell, Scientific Publication, London, 649 p.
- Cook, M. L., A. Simo, C. A. Underwood, and P. Rijken (2006) Mechanical stratigraphic controls on fracture patterns within carbonates and implications for groundwater flow, *Sedimentary Geology*, 184: 225-239.
- Dickinson, W. R (1988) Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basin, In Kleinspehn, K. L., and C. Paola, (Eds.), *New Perspective in Basin Analysis*, Springer, p. 3-25.
- Dickson, J. A. D (1965) A modified staining technique for carbonate in thin section, *Nature*, 205: 587.
- Einsele, G (2000) *Sedimentary Basin Evolution, Facies and Sediment Budget* (2nd edition), Springer, 792 p.
- Flügel, E (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application* (2nd edition), Springer, Berlin, 984 p.
- Folk, R. L (1980) *Petrology of Sedimentary Rocks* (2nd edition): Hemphill, Texas, 170 p.
- Immel, H., K. Seyed-Emami., and A. Afsharharb (1997) *Kreide, Ammoniten aus dem*

- Porosities of Sandstones and Associated Rocks, The American Association of Petroleum Geologists, 502 p.
- Scholle, P. A., and D. S. Ulmer-Scholle (2006) A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 77, 459 p.
- Senowbari-Daryan, B., and K. Rashidi (2010) Foraminifera and their associations of a possibly Rhaetian section of the Nayband Formation in central Iran, northeast of Esfahan: *Facies*, 56: 567-596.
- Seyed-Emami, K (2003) Triassic in Iran: *Facies*, 48: 91-106.
- Seyed-Emami, K., and M. Wilmsen (2016) Leymeriellidae (Cretaceous ammonites) from the Lower Albian of Esfahan and Khur (Central Iran): *Cretaceous Research*, 60: 78-90.
- Stanley, S.M (2006) Influence of seawater chemistry on biomineralization throughout phanerozoic time: Paleontological and experimental evidence, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 232(2-4): 214-236.
- Tucker, M. E. and V. P. Wright (1990) *Carbonate Sedimentology*, Wiley, 482 p.
- Tucker, M. E (2001) *Sedimentary Petrology* (3ed edition), Blackwell science, 287 p.
- Weber, J. and W. Ricken (2005) Quartz cementation and related sedimentary architecture of the Triassic Solling Formation, Reinhardswald Basin, Germany, *Sedimentary Geology*, 175: 459-477.
- Wilmsen, M., F. T. Fürsich, and M. R. Majidifard (2015) An overview of the Cretaceous stratigraphy and facies development of the Yazd Block, western Central Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 102: 73-91.
- Worden, R. H., and S. Morad (2000) Quartz cementation in oil field sandstones: a review of the key controversies: In Worden, R., S. Morad, (Eds.), *Quartz Cementation in Sandstones*, International Association of Sedimentologists, Special Publication, 29: 1-20.
- Worden, R., and S. Burley (2003) Sandstone diagenesis, the evolution of sand to stone: In Burley S. D. and R. Worden (Eds.), *Sandstone Diagenesis: Recent and Ancient*, Blackwell Publishing, p. 3-44.
- Molenaar, N., J. Cyziene, and S. Saulius (2007) Quartz cementation mechanisms and porosity variation in Baltic Cambrian sandstone, *Sedimentary Geology*, 34: 310-316.
- Morad, S (1998) *Carbonate Cementation in Sandstones*, International Association of Sedimentologists, Special Publication, 26: 446 p.
- Morad, S., J. M. Ketzer, and L. F. D. Ros (2000) Spatial and temporal distribution of diagenetic alteration in siliciclastic rocks: Implications for mass transfer in sedimentary basins, *Sedimentology*, 47: 95-120.
- Morad, S., K. Al-Ramadan, J. M. Ketzer and L. F. De Ros (2010) The impact of diagenesis on the heterogeneity of sandstone reservoirs: A review of the role of depositional facies and sequence stratigraphy, *American Association of Petroleum Geologists Bulletins*, 94: 1267-1309.
- Mork, M. B. E. and K. Moen (2007) Compaction microstructures in quartz grains and quartz cement in deeply buried reservoir sandstones using combined petrography and EBSD analysis, *Journal of Structural Geology*, 29: 1843-1854.
- Nützel, A., M. Mannani, B. Senowbari-Daryan, and M. Yazdi (2010) Gastropods from the Late Triassic Nayband Formation (Iran), their relationships to other Tethyan faunas and remarks on the Triassic gastropod body size problem: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 256: 213-228.
- Olivarius, M., R. Weibel., M. L. Hjuler., L. Kristensen., and A., Mathiesen (2015) Diagenetic effects on porosity-permeability relationships in red beds of the lower Triassic Bunter Sandstone Formation in North German Basin., *Sedimentary Geology*, 321: 139-153.
- Reed, J. S., K. A. Eriksson, and M. Kowalewski (2005) Climate, depositional and burial controls on diagenesis of Appalachian Carboniferous Sandstones qualitative and quantitative methods, *Sedimentary Geology*, 176: 225-246.
- Samankassou, E., J. Tresch, and A. Strasser (2005) Origin of peloids in Early Cretaceous deposits, Dorset, South England, *Facies*, 51: 264-273.
- Sandberg, P.A (1983) An oscillating trend in Phanerozoic nonskeletal carbonate mineralogy. *Nature* 305, p. 19- 22
- Schmid, S., R. H. Worden, and Q. J. Fisher (2004) Diagenesis and reservoir quality of the Sherwood Sandstone (Triassic), Corrib Field, Slyne Basin, west of Ireland, *Marine and Petroleum Geology*, 21: 299-315.
- Scholle, A. P (1979) *A Color Illustrated Guide To Constituents, Textures, Cements, and*