

فاکتورهای مؤثر زمین‌شناسی (دیاژنز و تکتونیک) در تغییرات ویژگی‌های مخزنی: مثالی از سازندهای آسماری و شهبازان، زاگرس، شمال شرق صفحه عربی

محمد رضا نورائی نژاد^۱، محمدحسین آدابی^{۲*}، عباس صادقی^۳ و عبدالرضا باوی عویدی^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲ و ۳- استاد گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران

نویسنده مسئول: m-adabi@sbu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۴/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۳

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی فرایندهای دیاژنزی و تاثیر تغییرات تکتونیکی در طول زمان و نقش آن در کیفیت مخزنی در سازندهای آسماری- شهبازان انجام شده است. برای این هدف سه برش سطحی در پهنه لرستان و دو برش زیر سطحی در فروافتادگی دزفول انتخاب شد. مطالعات زیست‌چینه‌ای سازند آسماری در شمال شرق فروافتادگی دزفول و در لرستان حاکی از سن این سازند به ترتیب به سن الیگوسن تا میوسن پیشین و میوسن پیشین است. لازم به ذکر است که سن قاعده سازند آسماری از فروافتادگی دزفول به سمت لرستان جوان تر شده است. سازند شهبازان دارای سن ائوسن میانی و بخشی از ائوسن پسین و متشکل از توالی کربناته می‌باشند. پسروری دریا (بسته شدن تتیس) و بالآمدگی تکتونیکی (برخورد پلیت عربی) سبب شده این سازند شهبازان دو مرحله از ائوژنز تا تلوژنرا طی کند. ۱- نهشت توالی کربناته در ائوسن، پسروری (متاثر از فاز کوهزایی آلیپی میانی در ائوسن پسین)، بالآمدگی و انحلال ۲- پیشروی دریا در میوسن (در برش‌های سطحی) و نهشت سازند آسماری دیاژنز تدفینی و برخورد نهایی و بالآمدگی در فاز آلیپی پایانی می‌باشد. مهمترین فرایندهای دیاژنزی توالی مورد مطالعه شامل دولومیتی شدن، سیمانی شدن، میکریتی شدن، فشردگی، و انحلال بوده که در محیط ائوژنز، مزوژنز و تلوژنز رخ داده است. بررسی‌ها حاکی از تاثیر فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی در طول زمان است. تأثیر متقابل فرایندهای دیاژنزی در افزایش یا کاهش ویژگی‌های مخزنی کاملاً مشخص است. دولومیتی شدن شایع‌ترین فرایندها در منطقه مورد مطالعه بویژه سازند شهبازان می‌باشد. از بین فرایندهای دیاژنزی انحلال و دولومیتی شدن مهمترین نقش را در افزایش کیفیت مخزنی داشته‌اند، سیمانی شدن و تراکم مهمترین عامل کاهش کیفیت مخزنی هستند.

واژگان کلیدی: دیاژنز، تکتونیک، کیفیت مخزنی، آسماری، شهبازان، صفحه عربی، تتیس

۱- پیشگفتار

و سیالات درون حفره‌ای دیاژنزی نقش مهمی در تکامل تخلخل و کیفیت مخزنی سازند آسماری ایفا کرده اند (حقیقت و همکاران، ۲۰۲۱) از طرفی در مطالعه قره‌چلو و همکاران به نقش رخساره رسوبی و تغییرات سطح آب دریا و فرایندهای دیاژنتیک در گسترش تخلخل و تراوایی سازند در سازند آسماری پرداخته شده است (قره‌چلو و همکاران، ۲۰۱۶). عوامل تکتونیکی، تغییرات سطح دریا و آب و هوا، همواره برخی از مهمترین عوامل مؤثر بر سبک رسوبگذاری و خصوصیات سنگ‌های رسوبی شناخته شده‌اند (کوزینو و همکاران، ۲۰۱۵؛ مظهر و همکاران، ۲۰۲۱؛ کاتینینوا، ۲۰۲۲؛ بچاری و همکاران، ۲۰۲۴ حیدری و همکاران، ۲۰۲۴). از مهمترین مطالعات مخزنی مرتبط با سازند کربناته آسماری می‌توان به مطالعات

گسترش توالی سنگ‌چینه‌ای مختلف و تغییرات جانبی در فواصل بسیار نزدیک و همچنین وجود سیستم‌های نفتی با سن‌های متفاوت در حوضه رسوبی زاگرس، پتانسیل اقتصادی و هیدروکربوری این حوضه را افزایش داده است. سنگ‌های کربناته از جمله توالی آهکی و دولومیت‌ها، سنگ مخزن حدود ۵۰ درصد هیدروکربن‌های جهان هستند؛ بنابراین در بسیاری از مطالعات موضوع اصلی محسوب می‌شوند. در مطالعات (سلیمانی و نظری، ۲۰۱۲؛ خزایی و همکاران، ۲۰۲۲؛ فلاح بگتاش و همکاران، ۲۰۲۲) توزیع تخلخل و تراوایی در سازند آسماری ناهمگن بوده و باعث ایجاد زون‌های مخزنی با کیفیت و تولید سیال متفاوت شده است، همچنین تاریخچه تدفین

تکتونیکی تبدیل شده است (بربریان، ۱۹۹۵؛ بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ آگارد و همکاران، ۲۰۱۱؛ موترو و همکاران، ۲۰۱۲؛ مک‌کواری و ون هینز-برگن ۲۰۱۳). این حوضه از زمان کرتاسه پسین تا نئوژن چندین فاز کوهزایی ناشی از برخوردی بین پلیت عربی و پلیت ایران را پشت سر گذاشته است، بطوریکه این فازهای برخوردی باعث شکل‌ساختاری امروزی کمربند کوهزایی تراستی و چین‌خورده زاگرس شده است (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ شرکتی و لتوزی، ۲۰۰۴؛ شرکتی و همکاران، ۲۰۰۶) (شکل ۱. A). در زاگرس در طی پالئوسن پسین تا ائوسن رسوبات در یک حوضه پیش بوم در امتداد حاشیه شرقی صفحه عربی نهشته شده‌اند (جیمز و واینند، ۱۹۶۵؛ موریس، ۱۹۸۰؛ زیگلر، ۲۰۰۱؛ علوی، ۲۰۰۴) مهمترین رایج‌ترین واحدهای تکتونواستراتیگرافی کوهزاد زاگرس، برمبنای تغییرات جانبی رخساره‌ها و ساختارهای مورفولوژیکی، از جنوب شرق به سمت شمال غرب حوضه فارس، زون ایذه، زاگرس مرتفع، فروافتادگی دزفول، حوضه لرستان و فروافتادگی کرکوک می‌باشند (شرکتی و همکاران، ۲۰۰۶) (شکل ۱. B). فروافتادگی دزفول به صورت زون ساختمانی فروافتاده به موزات زون چین‌خورده ایذه گسترش یافته و یکی از مهم‌ترین حوضه‌های هیدروکربنی در کمربند تراستی چین‌خورده زاگرس می‌باشد (سائین، ۲۰۱۸). همچنین ناحیه لرستان بر مبنای تغییرات لیتواستراتیگرافی و الگوی چین‌خوردگی به سه ناحیه جنوبی، مرکزی و شمالی تقسیم شده است (امیری بختیار و نورائی‌نژاد، ۱۴۰۲). منطقه مورد مطالعه در بخش کمربند چین‌خورده ساده زاگرس، در زیرحوضه لرستان و زیرحوضه فروافتادگی دزفول واقع شده است (شکل ۱. C). بر اساس تقسیم‌بندی ناحیه لرستان برش‌های مورد مطالعه در زیرحوضه لرستان به ترتیب دو برش سلطان و باباحیب در ناحیه لرستان مرکزی به فاصله ۵ کیلومتر از یکدیگر و برش پشت جنگل در لرستان شمالی واقع شده‌اند همچنین زیرحوضه لرستان دو برش زیر سطحی در میداین قلعه نار و بالارود به فاصله ۳ کیلومتر که همراه با تغییرات جانبی گسترده بوده انتخاب شده است (شکل ۲) همچنین دو برش زیرسطحی در میداین قلعه نار و بالارود انتخاب شده است.

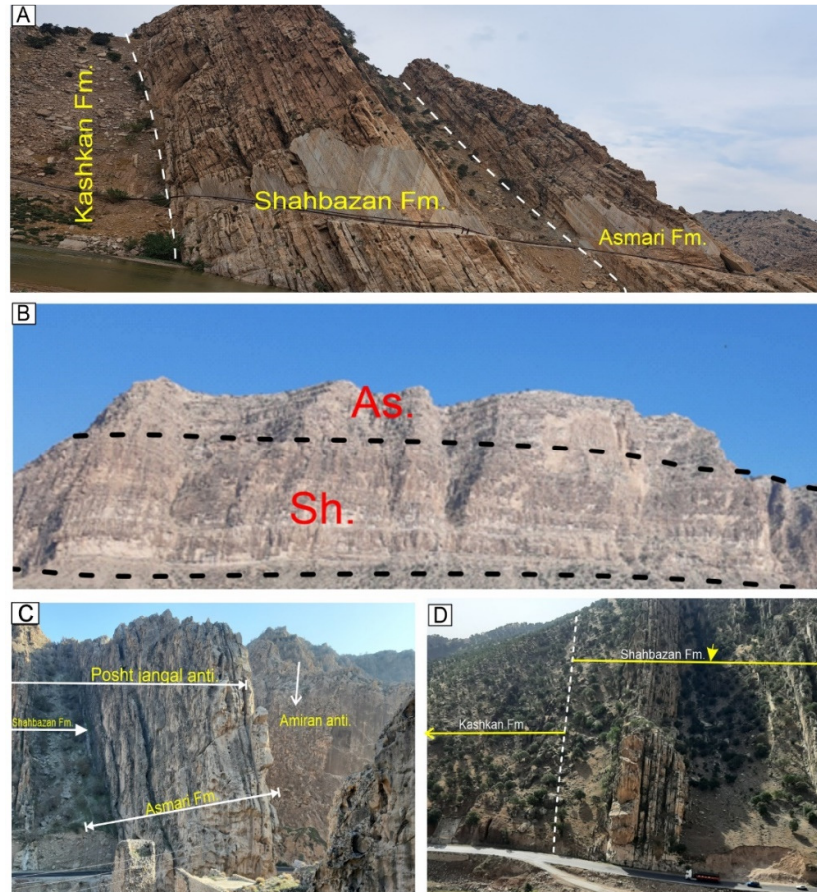
(اکراوی و همکاران، ۲۰۰۱؛ آدابی و همکاران، ۱۳۹۵؛ جعفریان و همکاران، ۱۳۹۶؛ امیدپور و همکاران، ۲۰۲۱؛ فلاح بگتاش، ۲۰۲۱؛ نورائی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۵) اشاره نمود. سازند شهبازان تاکنون موضوع مطالعات مختلفی بویژه فرایند دولومیتی شدن در نواحی مختلف زیرحوضه لرستان بوده است (حسن‌زاده نعمتی و همکاران، ۲۰۱۸؛ میربیک سبزواری و صداقت‌نیا، ۱۴۰۰؛ جمشیدی و صداقت‌نیا، ۱۴۰۳؛ مغفوری‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۳؛ نورائی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۵). توالی کربناته سازند شهبازان دارای وضعیت منحصر به فردی است، بطوریکه فرایندهای دولومیتی شدن این سازند متأثر از بالآمدگی فاز کوهزایی آلبی میانی در ناحیه لرستان و سامانه گسلی خمش بالارود، (حدود یک کیلومتری شمال چاه‌های تولیدی میداین قلعه نار و بالارود) است (امیری‌بختیار و نورائی‌نژاد، ۱۴۰۲). بررسی فرایند دولومیتی شدن و نقش فرایندهای دیاژنتیکی همچنین فاکتورهایی مانند شکل ساختار زمین‌شناسی، رفتار تکتونیکی و نقش آن در گسترش تخلخل و تراوایی در مخزن آسماری و شهبازان مخزن، منجر به درک مناسبی از ویژگی‌ها مخزنی در شمال غرب فروا می‌شود. لذا این مطالعه به تاثیر تکتونیک و تاثیرات جهانی سطح آب دریا را بر تغییرات محیطی و توزیع فرایندهای دیاژنتزی می‌پردازد. از اینرو برای تعیین چارچوب پهنه‌شناسی، تاریخچه تدفین، ویژگی‌های تخلخل و تراوایی همچنین تاریخچه دیاژنتیکی رخنمون‌های سطحی در مقابل توالی زیرسطحی این سازندها به منظور توصیف مخزن آسماری-شهبازان با استفاده از رخنمون‌های مجاور مخازن نفتی فروافتادگی دزفول (میداین قلعه نار و بالارود) استفاده شده است. برای دستیابی به اهداف این مطالعه سه برش سطحی در زیرحوضه لرستان و دو برش زیر سطحی در زیرحوضه فروافتادگی دزفول انتخاب شده است.

۲- زمین‌شناسی منطقه

حوضه زاگرس با مسافتی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر از ترکیه تا جزیره هرمز را به خود اختصاص داده است. حوضه رسوبی زاگرس که بخشی از حاشیه غیرفعال پایدار در پلتفرم عربی در طول پالئوزوئیک در حاشیه شمالی اقیانوس پالئوتتیس بوده و در دوران سنوزوئیک تحت تاثیر فازهای کوهزایی آلبی میانی و پایانی به یک فعال

و در مطالعه فسیل شناسی و تعیین واحدهای مختلف از بیوزون‌های از مطالعات لارسن (۲۰۰۹) و وایند (۱۹۶۵) ارجاع شده است.

همکاران، ۲۰۰۴؛ اکراوی و همکاران، ۱۳۸۵؛ ال‌اسم و همکاران، ۲۰۰۹؛ فلوگل ۲۰۱۰؛ شب‌افروز و همکاران، ۱۳۹۴؛ امیدپور، ۲۰۲۱b؛ فلاح بگتاش و همکاران، ۲۰۲۲



شکل ۲. دور‌نمایی از سازند آسماری و شهبازان در برش‌های رخنمون: (A) سلطان، (B) بابا حبیب (C) پشت جنگل و (D) بابا حبیب. **Fig. 2. Panoramic view of the Asmari and Shahbazan Formations in outcrop sections: (A) Sultan, (B) Baba Habib, (D) and (C) Posht-e Jangal.**

(Neo-Tethys) در زاگرس در زمان الیگوسن-میوسن بطور کامل بسته شده است. همزمان با بسته شدن نتوتتیس، برخورد صفحه عربی با صفحه ایران مرکزی و تاثیرات فاز کوهزایی آلپی میانی در حوضه زاگرس سبب شده در اواخر ائوسن فعالیت‌های تکتونیکی در امتداد حاشیه شمال غربی-جنوب شرقی پلیت عربی بویژه در ناحیه لرستان به حداکثر خود برسد (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ شرکتی و لتوزی، ۲۰۰۴؛ شرکتی و همکاران، ۲۰۰۶؛ علوی، ۲۰۰۷؛ ورجس و همکاران، ۲۰۲۴) این وقایع زمین‌شناسی منجر به تشکیل یک سطح فرسایشی گسترده در انتهای ائوسن در ناحیه لرستان شده است (امیری‌بختیار و نورائی‌نژاد،

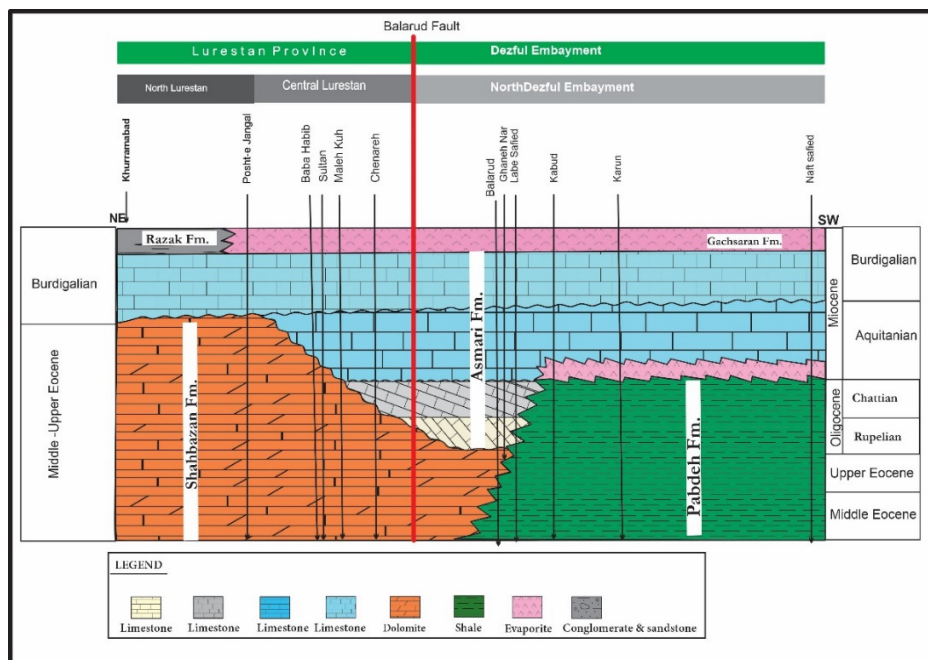
۴- تکتونیک و چینه‌شناسی مورد مطالعه

یک رژیم ساختاری فشارشی در حین کوهزایی زاگرس در اواخر کرتاسه، عامل تشکیل پیش‌بوم^۱ زاگرس بوده، در طی ائوسن حوضه پیش‌بوم گسترش یافته است. نوسانات سطح آب دریا به تشکیل رخساره‌های متنوع در حوضه‌های لرستان نسبت به فروافتادگی دزفول شده است. پیش از فاز کوهزایی آلپی میانی سازند شهبازان به صورت محلی در یک حوضه رسوبی پیش‌بوم (حوضه امیران) که در بخش‌های وسیعی از گستره لرستان به ویژه در نواحی جنوب غربی آن رخنمون دارند نهشته گردید (سائورا و همکاران، ۲۰۱۰؛ امیری بختیار و نورائی‌نژاد، ۱۴۰۲). اقیانوس نتوتتیس

¹ Foreland

رخنمون عمدتاً از دولومیت‌های اولیه (دلومیکرایت‌ها) تشکیل شده است. این توالی به دلیل دلومیتی شدن اولیه فاقد فسیل بوده و بخش‌هایی دست نخورده سنگ^۲ دارای فرامینیفرهای خانواده میلیولیده می‌باشند. این توالی یک محدوده فاقد زون زیستی در نظر گرفته شده است. این توالی فاقد فسیل در قاعده برش‌های سلطان و بابا حبیب و تمامی ضخامت برش پشت جنگل را در بر می‌گیرد. از طرفی در برش‌های زیر سطحی به طور کلی مجموعه میکروفسیل‌های سازند شهبازان در برش نمونه در قالب بیوزون‌های ۵۱ و ۵۳ و ایند (۱۹۶۵) و با نام‌های *Nummulites-Alveolina assemblage zone*, *Chapmanina - Pellatispira - Baculogypsinoidea assemblage zone* شناسایی شده است و سن این بیوزون‌ها ائوسن میانی-پسین است. همچنین در راس برش‌های بابا حبیب و سلطان بیوزون ۵۳ و ایند گسترش دارد لذا برای سازند شهبازان سن ائوسن میانی-بالایی در نظر گرفته شده است (نورائی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۵).

۱۴۰۲ و نورائی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۵). فعالیت‌های زمین‌ساختی آلیپی میانی در ائوسن میانی تا اوایل میوسن و در الیگوسن پیشین با افت جهانی سطح آب دریاها، بخش‌هایی از پلاتنفرم کربناته موجود از آب خارج شد و باعث رخنمون‌های، فرسایش و انحلال توالی کربناته ائوسن همچنین عدم رسوب‌گذاری در الیگوسن و بعضاً میوسن در چندین ناحیه از زاگرس از جمله لرستان مرکزی-و شمالی شده است. این حوادث همزمان با آغاز بازشدگی دریای سرخ بوده و با تغییر شکل شدید در طول ساختار پلیت عربی و تراسی شدن، همزمان می‌باشد (امیری بختیار و نورائی‌نژاد، ۱۴۰۲؛ سائورا و همکاران، ۲۰۱۱). پس از فرسایش رسوبات قدیمی‌تر در نواحی سکویی، پیشروی دوباره دریا در میوسن زیرین سبب نهشت توالی کربناته سازند آسماری بالایی در نواحی سکویی شده است (امیری بختیار و نورائی‌نژاد، ۱۴۰۲) (شکل ۳). در مطالعات میکروسکی یکی از شاخصه‌های اصلی چینه‌نگاری سازند شهبازان دلومیتی شدن فراگیر می‌باشد. براساس این پژوهش بخش قاعده‌ای سازند شهبازان در برش‌های



شکل ۳. تصویر شماتیک چینه‌نگاری توالی سنوزوئیک در فروافتادگی دزفول و تاثیرات تکتونیکی بالآمدگی ناشی از فاز کوهزایی آلیپی میانی و پسروی دریا (با تغییرات گرفته شده از جیمز و وایند، ۱۹۶۵)

Fig. 3. Schematic image of the Cenozoic stratigraphy in the Dezful Embayment and the tectonic effects of uplift caused by the middle Alpine orogenic phase and regressions in the Oligocene Sea of Lorestan and transgressions Lower Miocene Sea of Lorestan in the Zagros Basin. (With changes taken from James and Wynd, 1965)

اساس بررسی‌های زیست‌چینه‌ای چرخه اصلی پسروری آب دریا پسرونده ائوسن شناسایی شده است و با حوادث تکتونیکی زاگرس و بسته شدن نفوتتیس یک تطابق مشخصی دارد. این حادثه تکتونیکی -زیستی با یک ناپیوستگی‌های منطقه‌ای شاخص در مرزسازندهای شهبازان و آسماری، شناسایی شده است (نورائی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۵). در ناحیه مورد مطالعه سن قاعده سازند آسماری تحت تاثیر حوادث تکتونیکی مذکور و پسروری جهانی سطح آب دریا در زمان الیگوسن دارای سن متفاوت بوده، بطوری که از ناحیه فروافتاده دزفول به سمت ناحیه لرستان در برش‌های مورد مطالعه جوان تر می‌گردد. در برش‌های بالارود و قلعه نار در ناحیه فروافتادگی دزفول سن سازند آسماری الیگوسن تا میوسن پیشین، در لرستان مرکزی در برش‌های باباحیب و سلطان به سن میوسن پیشین (آشکوب اکی‌تائین و بوردیگالین) و در لرستان شمالی در برش دارای سن بوردیگالین می‌باشد (شکل ۳).

سازند آسماری در حوضه رسوبی زاگرس دارای سن الیگومیوسن است. لارسن و همکاران (۲۰۰۹) براساس میکروفسیل‌های شاخص سازند آسماری پنج رخداد زیست‌چینه‌نگاری (براساس مطالعات ایزوتوپ استرانسیوم اهرنبرگ و همکاران، ۲۰۰۷) را برای تعیین سن و تطابق این سازند تعیین نمودند. در مطالعه لارسن آخرین حضور گونه‌های نومولیتس (*Nummulites sp.*) قبل از پایان رویلین اتفاق افتاده است. گونه *Spiroclypeus blanckenhorni* به عنوان شاخص شاتین و آخرین حضور گونه‌های آرکیاس متعلق به نزدیک یا درست بعد از قاعده میوسن (انتهای شاتین) می‌باشد. همچنین اولین گونه *Borelis melo curdica* شاخص خوبی برای زمان بوردیگالین می‌باشد. در این مطالعه بر مبنای میکروفسیل‌های شاخص پنج بیوزن در سازند آسماری و دو بیوزن در سازند شهبازان شناسایی شده است. نتایج حاصل از مطالعات زیست‌چینه‌نگاری برش‌های زخمون و زیرسطحی مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. بر

جدول ۱. زون‌های زیستی و سن آن‌ها در این مطالعه (پراکندگی زون‌های زیستی در برش‌های مورد مطالعه بر اساس زون زیستی لارسن) و مقایسه آن‌ها با زون‌های زیستی حوضه اروپا QR: قلعه نار، BH: بالا رود، SO: سلطان، BA: بابا حیب، PJ: پشت جنگل.

Table 1. Biozones and their ages in this study (Distribution of biozones in the studied sections based on Laursen biozonation and their comparison with the European biozones basin QR: Qaleh Nar, BH: Bala Rood, SO: Sultan, BA: Baba Habib, PJ: Posht Jangal.

Stage	No.	Assemblage zone	Ma	Foraminiferal Assemblage	Location	SBZ Cahuzac and Poignant (1997)
Burdigalian	5	<i>Borelis melo curdica</i> - <i>Borelis melo melo</i>	18.2 to 20.2	<i>Dendritina rangi</i> + <i>Meandropsina spp.</i> + <i>Spirolina spp.</i> + <i>polymorphinids</i> + <i>Discorbis sp.</i> + <i>Small peneroplids</i> + <i>Peneroplis evolutus</i> + <i>miliolids</i> + <i>Echinoid debris</i>	QR, BH, SU, BA, PJ	SBZ 25
Aquitanian	4	<i>Elphidium sp. 14</i> - <i>Peneroplis farsensis</i> + <i>Miogypsina spp.</i>	20.2 to 23	<i>Elphidium sp. 14</i> + <i>Peneroplis farsensis</i> + <i>Favreina asmarica</i>	QR	SBZ 24
Chattian	3	<i>Archaias asmaricus/hensoni</i> - <i>Miogypsinoidea complanatus</i>	23 to 28.2	<i>Archaias hensoni</i> , <i>Archaias asmaricus</i> + <i>Miogypsinoidea complanatus</i> + <i>Spiroclypeus blanckenhorni</i>	QR	SBZ 23
Rupelian - Chattian	2	<i>Lepidocyclina</i> - <i>Operculina</i> - <i>Ditrupe</i>	28.2-32.3	<i>Eulepidina dilatata</i> + <i>Heterostegina spp.</i> + <i>Rotalia viennoti</i> + <i>Haplophragmium slingeri</i> + <i>Planorbulina spp.</i> +	QR	SBZ 22
Rupelian	1	<i>Nummulites vascus</i> + <i>Nummulites fichteli</i>	28.2-33.4	<i>Algae Operculina complanata</i> + <i>Heterostegina spp.</i> + <i>Rotalia viennoti</i> + <i>Eulepidina dilatata</i> + <i>Eulepidina elephantina</i> + <i>Archaias operculiniformis</i> + <i>Subterranyphyllum thomasi</i>	QR, BH	SBZ 21

شدن از مهمترین فرایندهایی دیاژنزی در هر دو سازند می‌باشد (جدول ۲).

فرایند آشفستگی زیستی در نواحی مورد مطالعه، بیشتر شاخص سازند آسماری است (شکل ۴ A, B). دولومیتی شدن فراگیر، باعث از بین رفتن بسیاری از ساختارهای دیاژنزی در سازند شهبازان و بخش‌های از سازند آسماری شده است. در توالی کربناته مورد مطالعه تمرکز و تراکم

۵- دیاژنز

براساس مطالعات پتروگرافی، فرایندهای دیاژنزی که رسوبات را در ناحیه مورد مطالعه تحت تأثیر قرار داده‌اند شامل: آشفستگی زیستی، انحلال، سیمانی شدن، میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، سیلیسی شدن، فشردگی (فیزیکی و شیمیایی) و پیریتی شدن است که در میان این فرایند انحلال در اثر فرایندهای جوی (متائوریک) و دولومیتی

در بخش‌های متشکل از آهک رسی و توالی دارای میان‌لایه‌های نازک شیل به‌ویژه در بخش‌های قاعده‌ای سازند شهبازان گسترش دارد. استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی از آثار فشردگی شیمیایی در حین دیاژنز تدفینی و تلوژنز بوده و در کل ضخامت سازندهای مورد مطالعه به وفور مشاهده می‌گردند.

لایه‌های حاوی آثار تالاسینوئید بیانگر پایین بودن نرخ رسوبگذاری می‌باشد. آثار تالاسینوئید در رسوبات به صورت استوانه‌های منشعب و عموماً Y شکل بوده و انواع T شکل آن کمتر مشاهده گردید (شکل ۴ C). پدیده میکرایتی شدن بیشتر در سازند آسماری دیده می‌شوند. فشردگی شیمیایی در توالی کربناته‌های مورد مطالعه (شکل ۴ E)،

جدول ۲. توالی دیاژنزی سازندهای آسماری در منطقه مورد مطالعه از محیط‌های دریایی تا محیط‌های تدفینی کم‌عمق و عمیق.

Table 2. Diagenetic succession of the Asmari - Shabazan Formations in the study area from marine environments to shallow and deep burial environments.

Diagenetic Events		Diagenetic Stages			Effect on porosity		
Process	Features	Eogenesis	Mesogenesis		Telogenesis	negative	positive
		Marine and early diagenetic	Shallow Burial	Deep Burial	Meteoric & uplift		
Biogenic	Micritization Bioturbation Boring	██████████			██████████	██████████	
Dissolution	Fabric selective Fabric destructive	██████████			██████████		██████████
Cementation	Isopachous fibrous rim	██████████					██████████
	Isopachous bladed rim						██████████
	Turbid Syntaxial overgrowth		██████████				██████████
	Clear Syntaxial overgrowth			██████████			
	Equant calcite			██████████			██████████
	Drusy calcite (Calc spar)			██████████			██████████
	Blocky calcite			██████████			██████████
Neomorphism	Poikilotopic calcite			██████████			██████████
	Recrystallization			██████████			██████████
Compaction	Mechanical Compaction					██████████	██████████
	Fitted fabric					██████████	██████████
	Solution seams					██████████	██████████
Dolomitization	Styolitization					██████████	██████████
	Dolomicrite	██████████					██████████
	Dolomicroparite		██████████				██████████
	Dolosparite		██████████	██████████			██████████
Anhydritization	Dolomite cement			██████████			██████████
	Anhydrite layers	██████████				██████████	
	Poikilotopic anhydrite		██████████			██████████	
	Vein-filling				██████████	██████████	
Replacement	Fracture-filling				██████████	██████████	
	Pyritization	██████████					
	Hematization				██████████		

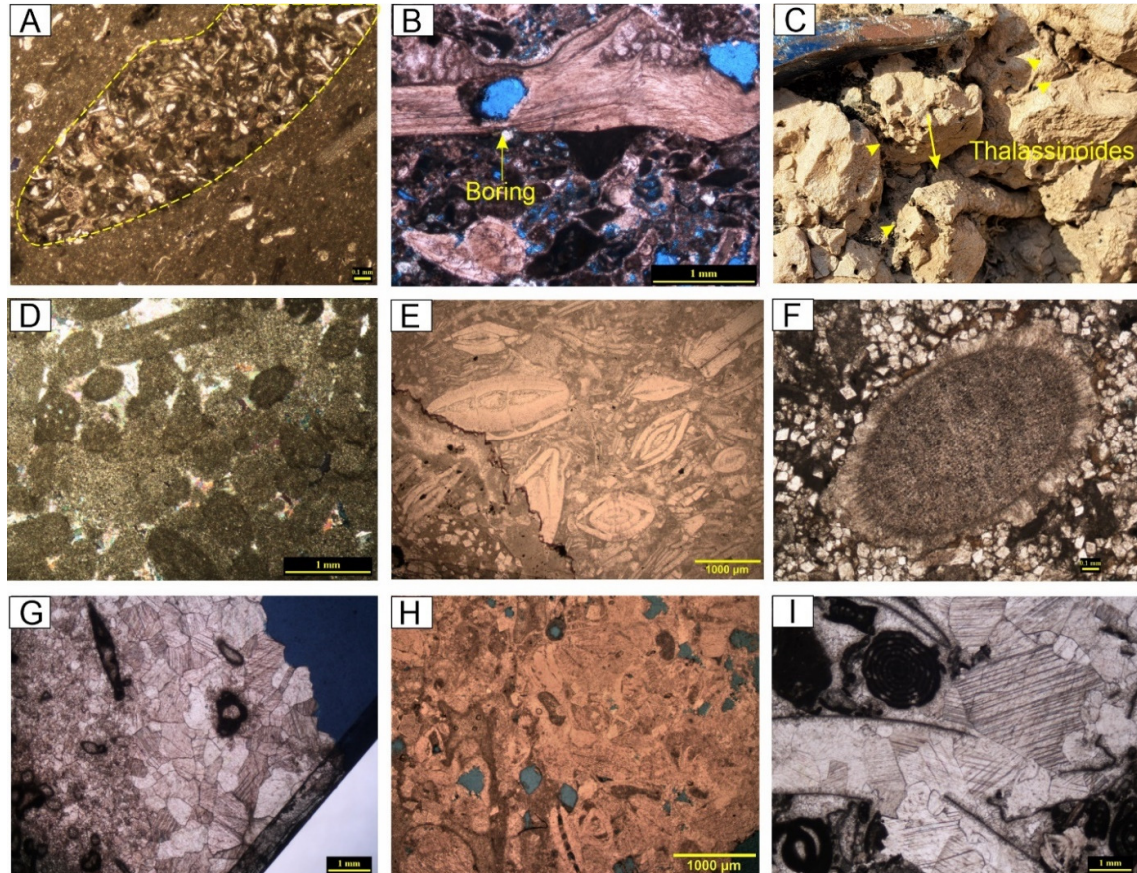
آلومک‌ها، سیمان‌ها و زمینه) را حل کرده و غیر انتخاب کننده فابریک می‌باشد.

در برش‌های زیرسطحی بقایای ناشی از انحلال‌پوسته فرامینیفرها به دلیل مهاجرت هیدروکربن صورت تخلخل قالبی حفظ شده است (شکل ۴ H). هرچند در برش‌های سطحی بیش از ۹۵ درصد این انحلال‌های قالبی توسط فرایندهای دیاژنزی بعدی با سیمان‌های دروزی پر شده است (شکل ۵ F). در ناحیه مورد مطالعه فرایند انحلال، تمامی ضخامت توالی کربناته را تحت تأثیر قرار داده اگرچه

انحلال، یکی از مهمترین فرایندهای دیاژنتیکی در منطقه مورد مطالعه است. اصلی‌ترین عامل برای ایجاد فرایند انحلال، رخنمون ناشی از پسروری دریا بوده است. در این مطالعه عوارض انحلالی را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی کرد: عوارض انحلالی ائوژنتیک - مزوژنتیک اغلب انتخاب کننده فابریک بوده و غالباً به صدف‌ها و قطعات اسکلتی آراگونیتی و منیزیم بالا نیمه پایدار (مثل فرامینیفر) محدود می‌باشند. عوارض انحلالی متائوریک - تلوژنتیک بدون توجه به فابریک سنگ و بدون تبعیض کلیه اجزاء (اعم از

دریا در مرز اکتیانین - بوردیگالین در سازند آسماری را نام برد (شکل ۵ D) (نورائی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۵). گسترش انحلال و حضور فراوان شکستگی‌ها منجر به ایجاد یک واحد مخزنی با تخلخل بالا شده است، اگرچه وجود کانی‌های رسی (پل زنده) مانع از تراوایی بالا شده است (شکل ۶ A تا D و ۹).

شدت انحلال در لایه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. از مهمترین شواهد انحلالی می‌توان قطعات برش آهکی در مرز سازندهای آسماری - شهبازان، ناشی از پایین آمدن سطح دریاها در ائوسن پسین (شکل ۵ A) و گسترش میکروکارست‌ها در راس سازند شهبازان (شکل ۵ B و C)، همچنین گسترش افق‌های میکروکدیم ناشی از پسروی



شکل ۴. A: تصاویر میکروسکوپی ساختمان بارو، در رسوبات نرم که در نهشته‌های میکرایتی توسط رسوبات دارای میلیولید و رخساره‌های لاگونی پر شده است. B: تصویر ساختمان بورینگ سوراخ شدن پوسته فرامینیفراهای بنتیک. C: آثار فسیلی تالاسینوئید مهمترین مشخصه توالی راسی سازند شهبازان در برش‌های تاق‌دیس‌های باباحیب و سلطان است. D: میکرایتی شدن فرامینیفرا کوچک و قطعات اسکلتی که می‌تواند توسط انواع مختلفی از میکروب‌ها تولید شده باشد. E: انحلال و تراکم به موازات استیلولیت‌ها بیانگر نقش استیلولیت‌ها بصورت کانال‌های عبور سیال است، در امتداد این رگه‌ها مواد غیرقابل حل از قبیل کانی‌های رسی (سازند شهبازان) و مواد بیتومینی (سازند آسماری) تجمع یافته اند. I: سیمان تیغه‌ای هم‌ضخامت نشان‌دهنده نسل اول سیمان شدگی است.

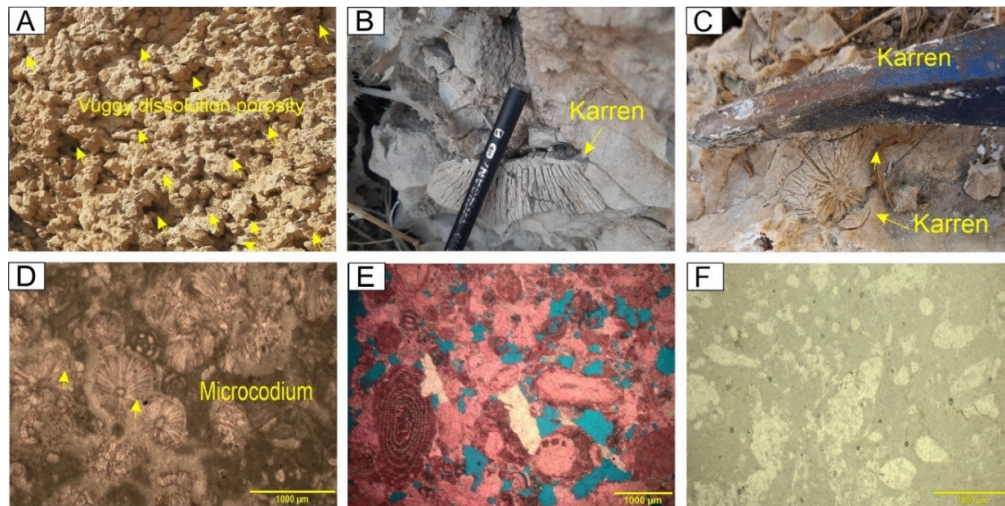
Fig. 4. A: Microscopic images of burrows, structures in soft sediments filled in micrite deposits by miliolide-bearing sediments and lagoonal facies. **B:** Image of boring structure perforation of benthic foraminifer's shell. **C:** Thalassinoides traces fossil are the most important feature of the upper succession Shahbazan Formation in Babahabib and Sultan anticlines. **D:** micritification of small foraminifera and skeletal fragments that could be produced by different types of microbes. **E:** Dissolution and compaction along the expansion stylolites, indicate the role of stylolites as fluid channels. Insoluble materials such as clay minerals (Shahbazan Formation) and bituminous materials (Asmari Formation) accumulated along these veins. **I:** isopachous blade cement indicating the first generation of cementation.

سیمانی شدن در توالی کربناته مورد مطالعه شامل سیمان‌های کربناته و تبخیری است. سیمان کلسیت هم‌محور در حاشیه قطعات اکتینوئید در محیط دریایی

نتایج مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد سیمان‌های دیاژنزی در طیف متنوعی از محیط دیاژنزی دریایی تا متئوریک تشکیل شده‌اند (جدول‌های ۲ و ۳). فرایند

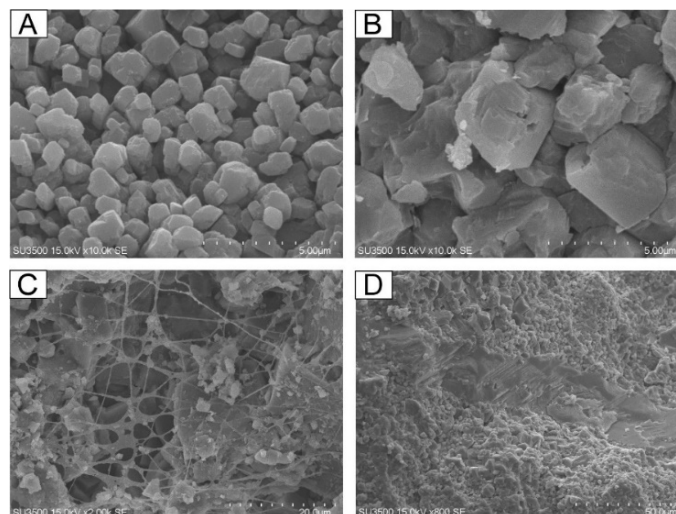
تدفین قابل توجه را پیشنهاد می‌دهد. سیمان کلسیت بلوکی شکستگی‌ها و تخلخل حاصل از انحلال سیمان و بیوکست‌ها را پر می‌کند (جانباز و همکاران، ۱۳۹۸).

نهشته شده است. سیمان هم‌بعد دیاژنزی حاصل نرخ رشد آهسته و شاخص محیط‌های دیاژنزی متئوریک و تدفینی است (تاکر، ۱۹۹۱) که اندازه بلورها و نیز عدم شواهد



شکل ۵. سطوح کارستی منطقه مورد مطالعه همچنین برش‌های انحلالی در شکل‌های مختلف که همگی نشان دهند سطوح خروج از آب می‌باشد: A, B, C: انحلال کارستی در منطقه حاصل تماس مستقیم آب‌های جوی با سطح سنگ‌آهک و تشکیل فرم‌های میکروکارن عرضی، بطوری که شیار درزه‌های انحلالی به صورت کارن خطی در سنگ‌آهک، D: فابریک لوله‌ای از یک میکروکودیموم در یک زون کارستی کم‌عمق. E: انحلال‌های فرامینیفرها یکی از پدیده‌های شایع در ناحیه مورد مطالعه می‌باشد. در برش‌های زبرسطحی به دلیل وجود هیدروکربن بسیاری از این انحلال‌های قالبی در طی دیاژنزی تدفینی در امان مانده و به صورت تخلخل قالبی عمل می‌نمایند، F: در برش‌های سطحی بیش از ۹۵ درصد این انحلال‌های قالبی توسط فرایندهای دیاژنزی تدفینی با سیمان‌های دروزی پر شده است.

Fig. 5. Karstic surfaces of study area and as well as dissolution breccias in different shapes, all of them indicate regressions and exposed surface: A, B, C: Karst dissolution in the area is the result of direct contact of atmospheric waters with the limestone and transverse microkarn form, such that dissolution grooves are seen as linear karren in the limestone. D: Tubular fabric of a microcodium in a shallow karst zone. E: Foraminiferal dissolutions are a common Process in the study area. In subsurface sections, due to the presence of hydrocarbons, many of these mold dissolutions are preserved during burial diagenesis and act as mold porosity. F: In surface sections, more than 95% of these mold dissolutions have been filled with Druze cements by burial diagenesis processes.



شکل ۶. A: بلورهای خیلی ریز و هم اندازه، بلورهای غالباً بی‌شکل و نیمه‌شکل دار دولومیکرایت‌ها، B: دولومیت‌های درشت بلور یا دولواسپارایت با رمبوئدرهای خودشکل (planar-euhedral)، C: شیل‌های پل زنده مثل پالتوگروسیت و ایلیت که سبب تخلخل سبب کاهش تراوایی می‌شوند. D: شیل‌های پرکننده خلل و فرج که علاوه بر کاهش تخلخل سبب کاهش تراوایی می‌شوند به حالت تورق در تصویر دقت شود.

Fig. 6. A: Very small and same size crystals, mostly amorphous and semi-amorphous crystals of dolomite, B: Coarse-crystalline dolomites or dolostones with planar-euhedral rhombohedrons, C: Bridging shales such as paleogrosite and illite, which reduce porosity. D: Pore-filling shales, which in addition to reducing porosity, reduce permeability, note the foliation in the image.

جدول ۲. توالی پاراژنتیکی انواع سیمان‌های کربناته در ناحیه مورد مطالعه

Table 2. Paragenetic succession of carbonate cement types in the studied area

Diagenetic Events		Diagenetic Stages			Effect on porosity		
Process	Features	Eogenesis	Mesogenesis		Telogenesis	negative	positive
		Marine and early diagenetic	Shallow Burial	Deep Burial	Meteoric & uplift		
Biogenic	Micritization Bioturbation Boring	██████████			██████████	██████████	
Dissolution	Fabric selective Fabric destructive	██████████			██████████		██████████
Cementation	Isopachous fibrous rim	██████████					██████████
	Isopachous bladed rim		██████████				██████████
	Turbid Syntaxial overgrowth		██████████				██████████
	Clear Syntaxial overgrowth			██████████			
	Equant calcite			██████████			██████████
	Drusy calcite (Calc spar)			██████████			██████████
Neomorphism	Recrystallization		██████████				██████████
							██████████
Compaction	Mechanical Compaction Fitted fabric		██████████				██████████
							██████████
Dolomitization	Solution seams			██████████			██████████
	Stylolitization			██████████			██████████
	Dolomicrite	██████████					██████████
	Dolomicrosparite		██████████				██████████
Anhydritization	Dolosparite		██████████				██████████
	Dolomite cement			██████████			██████████
	Anhydrite layers	██████████					██████████
	Poikilotopic anhydrite		██████████				██████████
Replacement	Vein-filling Fracture-filling				██████████		██████████
					██████████		██████████
Replacement	Pyritization Hematization	██████████			██████████		
					██████████		

جدول ۳. توالی پاراژنتیکی انواع بافت‌های انیدریتی در ناحیه مورد مطالعه

Table 3. Types paragenetic succession of anhydrite textures in the studied area

وقایع دیاژنتیکی متداول کمتر متداول	محیط‌های دیاژنتیکی افزایش عمق و پیشرفت زمان			توضیحات
	محیط دیاژنتیکی سطحی	تدفین کم عمق	تدفین عمیق	
بلورهای تبخیری پراکنده	██████████			ژیپس و انیدریت که عمدتاً در ارتباط با پهنه جزر و مدی است
انیدریت ندولی	██████████	██████████		بیشتر در ارتباط با محیط‌های سیخایی تحت تاثیر شورابه‌های منفذی درون سوبات تشکیل شده است و می‌تواند بصورت ژیپس اولیه تشکیل شده باشند
انیدریت لایه ای	██████████			درون شورابه‌های سیخایی و احتمالاً بصورت ژیپس اولیه ته نشین شده است
رگچه‌های تبخیری		██████████		در نتیجه آب زدایی ندول‌های ژیپس اولیه تشکیل شده اند
انیدریت پوئیکلوئوپیک	██████████	██████████	██████████	بصورت پرکننده تخلخل و جانشینی در مواردی همراه با میانبار دولومیت است؛ فراوانترین نوع بافت انیدریت موجود در مخزن می‌باشد
انیدریت فراگیر		██████████		مشکل از بلورهای درشت و با گسترش بکنواخت است که کل منافذ موجود در رخساره‌های دانه پشتیبان را پر کرده است
انیدریت پرکننده شکستگی		██████████		به صورت بلورهای درشت و عمدتاً درون شکستگی‌های موجود در دولومادستون‌ها گسترش دارد
انیدریت فیبری	██████████			ژیپس و انیدریت که عمدتاً در ارتباط با پهنه جزر و مدی است
انیدریت تپه ای	██████████			ژیپس و انیدریت که عمدتاً در ارتباط با پهنه جزر و مدی است

پوئیکلوئوپیک، انیدریت گرهکی اولیه، انیدریت گرهکی تدفینی، بلورهای پراکنده انیدریت، سیمان انیدریتی پرکننده شکستگی و رگچه‌های تبخیری است. سیمان‌های انیدریتی پرکننده تخلخل و فراگیر دارای بیشترین فراوانی و بیشتر در رخساره‌های دانه غالب دیده می‌شوند.

سیمان‌های انیدریت به صورت بافت‌ها و شکل‌های مختلف از مهمترین فرایندهای دیاژنتیکی در مخزن آسماری-شهبازان در میدان قلعه‌نار و بالارود است (جدول ۴). انیدریت‌های توالی کربناته مورد مطالعه شامل انیدریت لایه‌ای، انیدریت پرکننده تخلخل و فراگیر، انیدریت

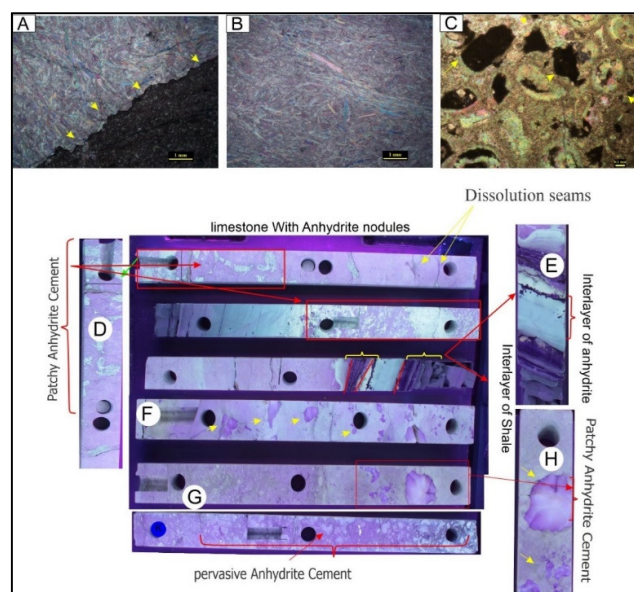
شده‌اند. (شکل‌های ۶ و ۹). بطور کلی سیمانی شدن باعث تفاوت در کیفیت مخزنی شده، بطوریکه گسترش ناهمگن و متفاوت سیمان در برش‌های قلعه نار و بالارود، را شاید بتوان به حضور هیدروکربن‌ها نسبت داد. سیمانی شدن ناقص در سازند شهبازان میدان بالارود بطوریکه تخلخل قابل ملاحظه‌ای را به ایجاد کرده است (شکل ۹).

انیدریت‌های لایه‌ای به‌صورت بلورهای سوزنی ریز و درهم تا بلورهای درشت‌تر و دارای جهت‌یافتگی، در بخش قاعده‌ای مخزن آسماری و شهبازان در چاه ۶ بالارود و ۱۷ قلعه نار مشاهده شده است. پراکنش ندول‌های انیدریتی بیشتر در توالی بالایی سازند آسماری است. سیمان انیدریت پرکننده شکستگی در مراحل دیازنز تدفینی نهشته

جدول ۴. انواع بافت‌های انیدریتی و تاثیر آن‌ها را بر روی کیفیت مخزنی در مخزن مورد مطالعه به طور خلاصه نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است سیمان انیدریت فراگیر بیشترین تاثیر را بر کیفیت مخزنی دارد و عمدتاً بر میکروفاسیس‌های دانه غالب موثر بوده است.

Table 4. Summarizes the types of anhydrite textures and their effects on reservoir quality in the studied reservoir. As is clear, pervasive anhydrite cement having the greatest effect on reservoir quality and has been mainly effective on the dominant grain microfacies.

تاثیر روی کیفیت مخزنی	تاثیر روی تراوایی	تاثیر روی تخلخل	رخساره مرتبط	فراوانی (%)	بافت انیدریت
طور کلی منفی اما بستگی به مراحل بعدی دیانز نیز دارد انحلال	منفی	منفی	پکستون و گرینستون دولومیتی شده	32	سیمان فراگیر و پرکننده تخلخل
نقش منفی ایفا می‌کند	منفی	منفی	متغیر	25.3	پویکیلوئوپیک
تا حدودی می‌تواند موثر باشد	میتواند مثبت باشد	ناچیز	متغیر	34.3	نودول انیدریت
ناچیز	ندارد	ناچیز	دولومادستون	1	بلورهای پراکنده تبخیری
نقش منفی در مخزن بویژه در توالی شاتین دارد	ناچیز	ناچیز	متغیر	6	انیدریت پرکننده شکستگی
ناچیز	می‌تواند موثر باشد	ندارد	دولومادستون	0.5	رگچه‌های تبخیری
ناچیز	ناچیز	ناچیز	متغیر	0.6	انیدریت فیبری
ناچیز	می‌تواند موثر باشد	ندارد	متغیر	0.3	انیدریت تیغه‌ای



شکل ۷. A: سیمان انیدریتی در امتداد رگه‌های استیلولیتی، که حاکی از نقش استیلولیت به عنوان معبر سیال می‌باشد. B: انیدریت لایه‌ای با بافت نمدی (Felted) با جهت‌گیری موازی تا نیمه‌موازی، C: سیمان فراگیر و پرکننده تخلخل بین‌دانه‌ای. باز فضای بین اوتیدها حاکی از عدم تدفین قابل ملاحظه و کاهش کیفیت مخزنی است. D تا H: سیمان‌های غالب انیدریتی که در نمونه‌های مغزه به خوبی مشاهده شده است.

Fig. 7. A: anhydrite cement along stylolite veins, indicating the role of stylolite as a fluid conduit. B: Felted fabrics of layered anhydrite with parallel to semi-parallel orientation, C: Cement filling the intergranular porosity. The open space between the ooids indicates a lack of significant deep burial and a decrease in reservoir quality. D-H: Dominant anhydrite cements that are well observed in core samples.

۵-۱- دولومیتی شدن^۱

در این مطالعه براساس تلفیقی از طبقه‌بندی‌های فریدمن (۱۹۶۵)، سیبلی و گرگ (۱۹۸۷) و مازولو (۱۹۹۲) همچنین مطالعات عبدی و آدابی (۲۰۰۹) و آدابی (۲۰۰۹) درجه دولومیتی شدن سنگ‌آهک اولیه اندازه، شکل بلورها، زمان و مکان دیاژنز چهار نوع دولومیت شناسایی شده است (جدول ۵). دولومیت‌های خیلی ریز بلور یا دولومیکرایت این نوع دولومیت که تحت عنوان دولومیت نوع اول معرفی شده است از بلورهای بی‌شکل تشکیل گردیده و اکثر بلورهای دولومیت در برش‌های سطحی بویژه در سازند شهبازان از این نوع دولومیت تشکیل شده است. دولومیت‌های ریز بلور (دولومیکرواسپاریت) دولومیت‌های نوع دوم عمدتاً از بلورهای متراکم و هم‌اندازه نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و دارای مرزهای بین‌بلوری مسطح^۳ تشکیل شده است. دولومیکرواسپاریت‌ها معمولاً از جانشینی سنگ‌های آهکی و یا از تبلور مجدد دولومیکرایت‌ها به وجود می‌آیند (آدابی، ۱۹۹۶). این فرایند ممکن است به صورت ناقص و یا کامل انجام گیرد. دولومیت‌های متوسط بلور (دولواسپار) این نوع دولومیت عمدتاً به صورت موزایک‌های هم‌اندازه متراکم و دارای مرزهای مسطح نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل تشکیل شده است. دولومیت نوع سوم باعث تخریب بافت‌های رسوبی اولیه می‌شود و در نتیجه شناسایی بافت‌های اولیه بسیار مشکل است. این نوع دولومیت معمولاً از جانشینی سنگ‌های آهکی قبلی و یا از تبلور مجدد دولومیت‌های تشکیل شده اولیه در زیر دمای بحرانی یعنی کمتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد حاصل شده‌اند (گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ مازولو، ۱۹۹۲). دولومیت درشت بلور اسپاری پرکننده حفرات در شرایط تدفینی کم عمق یعنی در مراحل آخر دیاژنز تشکیل می‌شود (موتی، ۱۹۹۰). دولومیت زین‌اسبی معمولاً در مرحله آخر دیاژنز و به وسیله سیالات شور و گرم در دمای بالاتر از ۶۰-۵۰ تشکیل می‌شود. (مازولو، ۱۹۹۲). منشأ دولومیت‌ها با توجه به کانی‌شناسی، اندازه بلورها، ویژگی‌های رسوب‌شناسی، تفریق عنصری و همگنی، شوری، دما، ترکیب سیالات و شرایط اکسیداسیونی و احیاء می‌توان تعبیر و تفسیر نمود (رائو، ۱۹۹۶). براساس بررسی و گسترش دولومیت‌ها در برش‌های سطحی و زیر سطحی می‌توان چنین گفت که:

دولومیت‌ها در برش‌های سطحی بیشتر از نوع ۱ هستند، هرچند به میزان کمتر در راس سازند شهبازان و با فراوانی کمتری در سازند آسماری دولومیت‌های نوع دوم و سوم گسترش دولومیت‌های نوع سوم و چهارم بیشتر در توالی قاعده‌ای سازند آسماری در برش قلعه نار و سازند شهبازان در برش بالارود گسترش داشته است. در بخش بالایی سازند آسماری در برش‌های سطحی و زیرسطحی بیشتر دولومیت‌های نوع اول مشاهده می‌شود و در بخش‌های میانی بیشتر در توالی اکتانین بیشتر از دولومیت‌های نوع ۲ و تا حدودی ۳ گسترش داشته است ولی در توالی روپلین-شاتین و توالی ائوسن در برش‌های زیرسطحی از دولومیت‌های نوع ۳ و تا حدودی ۴ می‌باشد.

دولومیتی شدن بسته به نوع و زمان این فرایند، باعث کاهش یا افزایش تخلخل شود (مازولو، ۱۹۹۲، ۲۰۰۰). جانشینی دولومیت به جای کربنات کلسیم به طرق مختلف در این سازند صورت گرفته است، مانند جانشینی دولومیت با حفظ فابریک اولیه سنگ^۴ (شکل ۸ A) که بیشتر در سازند آسماری مشاهده شده است. دولومیت تخریب‌کننده فابریک^۵ در سازند شهبازان شایع‌ترین فرایند دیاژنزی می‌باشد (شکل ۸ B و C). این فرایند بیشتر آثار محیط رسوبی اولیه به ویژه ساختارهای رسوبی را از بین برده و نقش مخرب دارد. از آنجایی که ضخامت زیادی از توالی سازند شهبازان در برش‌های مورد مطالعه دولومیتی بوده و بیشتر از دولومیت‌های نوع اول بوده پس می‌توان نتیجه گرفت در ناحیه لرستان یکی از دلایل اصلی دولومیتی شدن مخرب فابریک را می‌توان به ترکیب اولیه آراگونیتی سازند شهبازان نسبت داد. (شکل ۸ D).

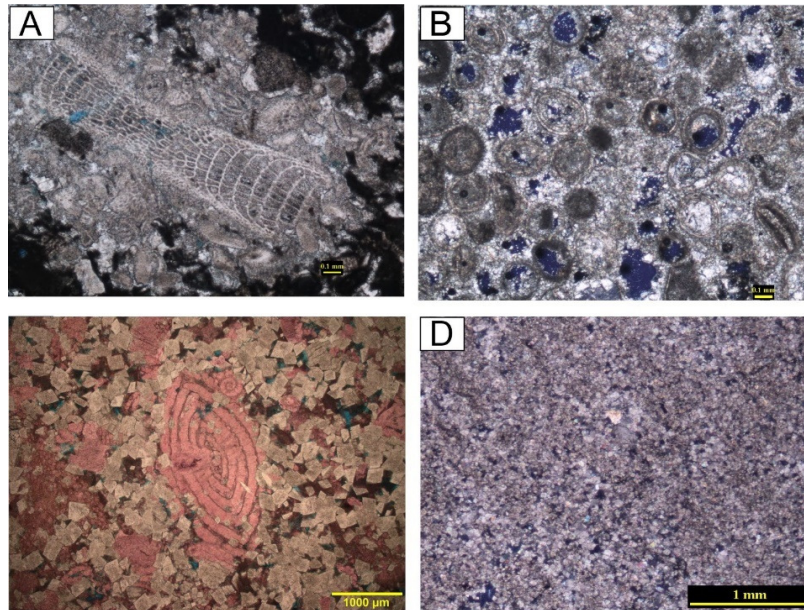
۶- کیفیت مخزنی

تعیین توزیع ویژگی‌های سنگی در فضای سه‌بعدی مخزن و شناسایی روند تغییرات به صورت ناحیه‌ای، یکی از مهمترین اهداف مطالعات جامع زمین‌شناسی مخزن است (لوسیا، ۲۰۰۷؛ اهر، ۲۰۰۸) ناهمگنی خصوصیات پتروفیزیکی یک توالی مخزنی، تلفیقی از عملکرد فاکتورهای محیطی رسوبی اولیه از جمله عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی، و فرایندهای دیاژنتیکی و شکستگی است (توکلی و همکاران، ۲۰۱۹؛ نبوی و همکاران، ۲۰۲۰).

⁴ Fabric Retentive Dolomite⁵ Fabric Destructive Dolomite¹ Dolomitization² unimodal³ planar-s

را در مخازن کربناته مورد مطالعه کنترل می‌کنند. این فرایند دیاژنتیکی به دو دسته کاهنده و افزایش کیفیت مخزنی تقسیم می‌شوند. ۱- فرآیندهای دیاژنتیکی که کیفیت مخزن را افزایش می‌دهند: دولومیتی شدن و به میزان کمتر، انحلال. ۲- فرآیندهای دیاژنتیکی که کیفیت مخزن را کاهش می‌دهند.

فرایند دولومیتی شدن نقش مهمی در کنترل تخلخل و تراوایی یک سازند مخزنی دارد. این فرایند با افزایش حجم فضای منفذی و قطر گلوگاه سبب بهبود کیفیت مخزنی و یا با فرایند دولومیتی شدن فراگیر که با اتصال بلورها و ایجاد تخلخل‌های غیرمرتبط باعث کاهش نفوذپذیری گردد (لوسیا، ۲۰۰۷). عوامل بسیاری افزایش یا کاهش تخلخل



شکل ۸. A: دولومیتی شدن به صورت حفظ کننده فابریک با جانشینی تقلیدی ۱۰۰ درصد. B: دولومیتی شدن به صورت مخرب فابریک C: دولومیتی شدن انتخاب کننده فابریک D: دولومیتی شدن فراگیر جانشینی گسترده دولومیت باعث تخریب فابریک و بافت اولیه سنگ شده است.
Fig. 8. A: Retentive-Fabric dolomitization with 100% Mimically Replacement B: Destructive dolomitization Fabric C: Fabric-selective dolomitization. D: dolomitization Pervasive with extensive dolomitization destroying the fabric and initial texture of the rock.

جدول ۵. توالی پاراژنتیکی دولومیت‌های مورد مطالعه

Table 5. Paragenetic sequence of the studied dolomites

دیاژنز متتوریک	عمیق	دیاژنز تدفینی افزایش عمق و پیشرفت زمان	کم عمق	سبک و محیط دیاژنز سطحی
				دولومیت نوع اول
				دولومیت نوع دوم
				دولومیت نوع سوم
				دولومیت نوع چهارم
				دولومیت نوع شدن

سازندهای مورد مطالعه ارتباط مشخصی بین فرایند دولومیتی شدن و تخلخل موثر مشاهده می‌شود (شکل ۹). در این سازندها در ابتدا با شروع فرایند دولومیتی شدن میزان تخلخل افزایش می‌یابد، ولی با افزایش دولومیتی شدن، میزان تخلخل‌های کاهش می‌یابد. بررسی تخلخل و

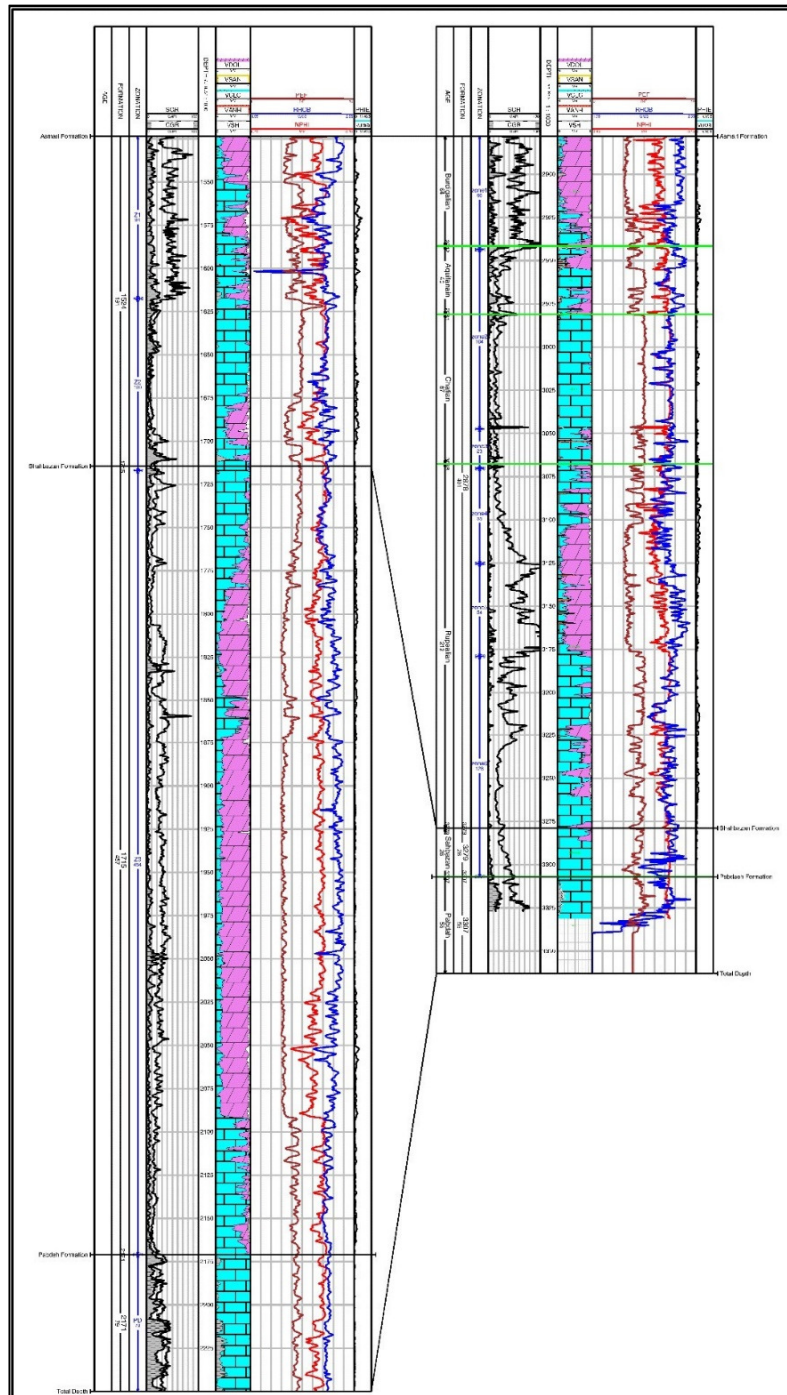
سیمانی شدن و فشردگی: در بخش‌هایی از مخزن به دلیل تشکیل دولومیکرایت، بیش از ۸۵ درصد حجم کل سنگ اولیه تحت تاثیر فرایند دولومیتی شدن قرار گرفته، در نتیجه این فرایند سبب کاهش تخلخل موثر شده است (گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ مازولو، ۱۹۹۲؛ لوسیا، ۲۰۰۷). در

همچنین مقاومت کمتر (روان‌شدگی) در مراحل مختلف دیاژنز نسبت به دیگر انواع سیمان‌ها (کلسیتی و دولومیتی) تاثیرات متفاوتی بر روی کیفیت مخزنی، از جمله کاهش همزمان تخلخل و تراوایی، تاثیر کم بر روی تخلخل و کاهش تراوایی، یا کاهش تخلخل و افزایش تراوایی (انحلال) دارد. در بررسی‌های صورت گرفته گسترش و فراوانی سیمان انیدریتی ارتباط معکوسی را با تخلخل و تراوایی نشان می‌دهد. اما این ارتباط به دلیل گسترش بافت‌های مختلف انیدریت در مخزن، انواع متفاوت رخساره‌ها و تاثیر عوامل دیگری مانند انحلال و شکستگی‌ها در مراحل بعدی دیاژنز، به‌ویژه در ارتباط با تراوایی، روند کاملاً مشخصی را نشان می‌دهد.

۷- بحث

بررسی‌های زیست‌چینه‌نگاری در ناحیه مورد مطالعه منجر شناسایی دو بیوزن برای سازند شهبازان، سن این سازند براساس تجمعات فسیلی ائوسن میانی (لوتسین) تا ائوسن پسین (پریابونین) می‌باشد. براساس بیوزون‌های شناسایی شده سازند آسماری در فروافتادگی در فول دارای سن الیگومیوسن، در لرستان مرکزی میوسن (آکی تانین - بوردیگالین) و در لرستان شمالی برش پشت جنگل دارای سن بوردیگالین (میوسن زیرین) می‌باشد. فاز کوهزایی آلپی میانی در زمان ائوسن - الیگوسن (۳۷ - ۴۰ میلیون سال قبل) رخ داده است و نتایج عملکرد آن در اکثر نقاط دنیا به صورت بالآمدگی و خروج از آب بوده است (امیری‌بختیار و نورائی‌نژاد، ۱۴۰۲). در ناحیه مورد مطالعه با توجه به موقعیت قرارگیری برش‌های مورد مطالعه قاعده سازند آسماری از جنوب غرب به سمت شمال شرق جوان‌تر می‌گردد. این رخداد در پلاتفرم کربناته حاشیه حوضه پایده در بخش‌هایی از آن مانند شمال شرق لرستان در الیگوسن از آب خارج بوده‌اند. در ناحیه زاگرس این فاز کوهزایی منجر به بالآمدگی و پسروی سطح آب دریا در پلاتفرم شده است. این بالآمدگی منجر به رخنمون سازند شهبازان و دیاژنز متائوریک (آب شیرین) می‌شود (مغفوری‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۴، نورائی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۵). فرآیند دیاژنزی در این مطالعه شامل سه مرحله اتوژنتیک، مزوژنتیک و تلوژنتیک که اشاره به زمان اوایل تدفین، تدفین عمیق و مرحله فرسایش قابل تقسیم می‌باشند.

تراوایی در برش‌های زیرسطحی (میدان قلعه‌نار و بالارود) نشان می‌دهد که با افزایش تخلخل، تراوایی نیز افزایش پیدا کرده است. این فرایند تابع دو عامل می‌باشد: درصد دولومیتی شدن و نوع دولومیت، دولومیت‌های برش‌های مخزنی بیشتر از دولومیت‌های نوع سه می‌باشد. دولومیت‌های نوع یک دارای گسترش کمتری در مخزن می‌باشند. بر اساس شکل ۹ بالاترین میزان تخلخل و تراوایی سازند، مربوط به بخش میانی (توالی روپلین شاتین) دارای لایه‌های دولواسپارایت‌ها است. این توالی زون‌های تولیدی با تخلخل مفید بالا را ایجاد می‌کند (شکل ۹). دولومیتی شدن اغلب موجب افزایش تخلخل و تراوایی می‌گردد (لوسیا، ۲۰۰۷). همچنین کیفیت مخزنی لایه‌های دولومیتی از لایه‌های آهکی بالاتر است. افزایش تخلخل در توالی مذکور معمولاً به دلیل کاهش حجم ناشی از جاننشینی دولومیت بجای کلسیت یا آراگونیت می‌باشد (لوسیا، ۲۰۰۷؛ اهر، ۲۰۰۸؛ توکلی و همکاران، ۲۰۱۹؛ نبوی و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین در دولومیکرایت‌ها به‌ویژه در برش‌های سطحی دولومیتی شدن بیش از حد باعث کاهش تخلخل و تراوایی می‌شود (عبدی و آدابی، ۲۰۰۹ و آدابی، ۲۰۰۹). در مطالعات میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM) یکی از دلایل عدم تخلخل و تراوایی بالا در سازند شهبازان در برش‌های زیر سطحی قلعه‌نار و بالارود وجود کانی‌های رسی پل زنده مانند پالئوگروسیت و ایلیت (باعث کاهش تراوایی) است (شکل ۶ C و D). مطالعه شکستگی‌های چاه ۶ میدان بالارود و مغزه‌های چاه ۱۷ و ارتباط آن با مقاطع پتروگرافی نشان می‌دهد که گسترش شکستگی‌ها در بخش‌های بالایی سازند که حاوی دولومیکرایت می‌باشند بیشتر از بخش‌های حاوی دولومیکرواسپارایت‌ها و دولواسپارایت‌ها است. یکی از دلایل افزایش تراوایی ایجاد شکستگی در این بخش از مخزن به دلیل ارتباط پیدا کردن خلل و فرج سنگ است. از علل فراوانی بیشتر شکستگی‌ها در دولومیکرایت‌ها نسبت به سایر بخش‌ها، به دلیل موقعیت گسترش این توالی در راس تاقدیس و گسترش افق‌های دولومیکرایت در راس سازند آسماری است (شکل ۹). گسترش سیمان‌های انیدریتی به عنوان پرکننده خلل و فرج نقش موثری بر روی کیفیت مخزنی دارد. فرم‌های متفاوت این سیمان، باعث پیچیدگی در تحلیل کیفیت مخزنی می‌شود (لوسیا، ۲۰۰۷؛ کدخدایی و همکاران، ۱۳۹۰). انحلال‌پذیری و



شکل ۹. ستون تطابق چینه‌ای چاه‌های مورد مطالعه میدان قلعه نار سمت راست و میدان بالارود سمت چپ

شروع فرایندهای دیاژنزی (برش‌های رخنمون) در سازند شهبازان می‌باشند. همچنین دلو میکرایت در طی توالی انتهای شاتین و ابتدای اکتیانین به دلیل گسترش شرایط تبخیری (تامین یون منیزیم) در مجاورت منطقه مورد مطالعه (نهشت بخش تبخیری کلهر و انیدریت قاعده‌ای در میدان نفتی کبود) (شکل ۳) و بوردیگالین به دلیل نهشت

از مهمترین فرایندهای دیاژنزی در مرحله ائوزن می‌توان به دولومیتی شدن، میکرایتی شدن، زیست‌آشفستگی، سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت، انحلال‌های عمدتاً غیره وابسته به فابریک و تراکم فیزیکی اشاره نمود. فرایندهای دیاژنزی که در این مرحله رخ داده است در دو محیط دریایی و جوی اتفاق افتاده است. دولومیت‌های نوع اول، اولین مرحله از

فرایندهای دیاژنتیکی جوی شده است و آخرین مرحله از تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر روی سنگ‌های آهکی بوده است. تخلخل بین‌بلوری، کانالی، هماتیته شدن، قطع شدن استیلولیت و سیمان‌های رگه‌ای نیز از مهمترین فرایندهای دیاژنزی این مرحله می‌باشد که در این میان گسترش استیلولیت و بریده شدن سیمان‌های تدفین توسط سیمان‌های رگه‌های کلسیتی خود بیانگر مرحله بالآمدگی می‌باشد.

۸- نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های پتروگرافی فرایندهای دیاژنزی این دو سازند شامل میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، استیلولیتی شدن و تراکم فیزیکی و شیمیایی است. به لحاظ فرایندهای دیاژنزی سیمان انیدریتی بعد از پدیده دولومیتی شدن فرایند دیاژنزی شایع است. بر پایه مطالعات صورت گرفته، بافت‌های انیدریتی در سازندهای آسماری و شهبازان بیشتر شامل پوئیکیلوتیپیک، ندولی، بلورهای پراکنده و منفرد انیدریت، سیمان انیدریت پراکنده شکستگی‌ها، و همچنین شکل‌های رگه‌های شناسایی شده است. بطور کلی سه عامل بافت رسوبی اولیه، حضور سیالات دیاژنزی و فرایندهای دیاژنزی بعدی (انحلال و شکستگی) گسترش سیمان انیدریت کیفیت مخزن کربناته آسماری را کنترل نموده است. با بررسی‌های انجام گرفته بر روی سازندهای شهبازان و آسماری با هدف بررسی فرایندهای دیاژنزی و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی این سازند، می‌توان این چنین نتیجه گرفت. در زمان ته نشست این توالی کربناته وضعیت تکتونیکی نا آرام بوده و تحت نوسانات شدید آب دریا، بارها از آب خارج و دچار هوازدگی شده است. این رسوبات در مراحل ائوژن، مزوژن و تلوزن و در سه محیط دریایی، متئوریک و تدفینی تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی قرار گرفته‌اند. فرایندهای دیاژنزی پنج مرحله نهشته‌های توالی کربناته را تحت تأثیر قرار داده‌اند:

مرحله نخست با تشکیل پوشش میکریته و میکریته شدن دانه‌ها و دولومیتی شدن در محیط دریایی همراه بوده است. مدفون شدن رسوبات در عمق بیشتر و فشار وارده بر آن‌ها باعث تراکم فیزیکی و انحلال شده که خود سبب تشکیل استیلولیت‌های اولیه شده است.

سازند گچساران و شرایط سبخایی این نوع دولومیت در توالی قابل مشاهده است. پس از رسوب‌گذاری سازند شهبازان و بالآمدگی ناشی از برخورد پلیت عربی با پلیت ایران مرکزی، پسروری دریا در ائوسن پسین و فرایند دیاژنزی متئوریک از جمله انحلال و کارستی شدن در توالی کربناته مشاهده شده است (نورائی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۵) سازند شهبازان در این مرحله مستقیماً از ائوژن وارد تلوزن شده، این مرحله یک فاز بین فرایندهای دیاژنزی اولیه و نهایی محسوب می‌گردند. بعد از مرحله تلوزن اولیه سازند شهبازان، با پیشروی مجدد دریا و رسوب‌گذاری توالی کربناته سازند آسماری، رسوبات کربناته سازندهای مورد مطالعه از محیط دیاژنز دریایی وارد محیط دیاژنزی تدفینی (مزوژن) می‌شوند. توالی کربناته مورد مطالعه در مراحل ابتدایی تدفین متأثر از فرایندهای تراکم فیزیکی سبب آرایش فشرده‌تر دانه‌ها خواهد شد. از سیمان‌های دیاژنزی تدفینی کم عمق می‌توان به سیمان موزاییک هم‌بعد و سیمان بلوکی با گسترش زیاد اشاره نمود. انواعی از سیمان‌ها که در حجرات فسیلی و حفرات انحلالی از جمله سیمان دروزی در فاز تدفین ته‌نشین شده‌اند. سیالات دیاژنتیک با ترکیب متفاوت در طی تدفین سبب گسترش نئومورفیسم افزایشی در نمونه‌های سازند آسماری شده است. در زمان برخورد زاگرس و جمع شدن توالی و قبل از رخنمون یافتن توالی کربناته سازندهای آسماری و شهبازان یک مرحله از دیاژنر تأخیری در توالی‌های سنگی اتفاق افتاده است. در حوضه رسوبی زاگرس در ناحیه مورد مطالعه توالی‌ها با نزدیک سطح شدن، برخی از فرایندهای دیاژنتیک نظیر شکستگی‌ها رخ داده و برخی از این شکستگی‌ها توسط سیمان‌های مختلف پر شده‌اند. اگر بالا آمدن و توسعه شکستگی‌ها تا حد رخنمون یافتن ادامه می‌یابد. شکستگی‌ها تأثیر بسیار زیادی بر گسترش تخلخل مفید سازندهای کربناته دارند. اما سیمان‌های پراکنده آن‌ها در زمینه سنگ در کیفیت مخزن نقش منفی دارند. برخی از انواع سیمان‌های شناسایی شده نظیر سیمان موزائیک هم‌بعد و سیمان بلوکی که شکستگی‌ها را پر نموده‌اند این سیمان‌ها بعد از گسترش شکستگی‌ها در فازهای مربوط به چین‌خوردگی و یا پس از بالآمدگی قبل از رسیدن نهشته شده است.

در دیاژنر نهایی، فرسایش و بالآمدگی تکتونیکی سبب قرارگیری مجدد توالی کربناته سازند شهبازان در معرض

- dagh basin, NE Iran: Carbonate and Evaporites, 24: 16-32.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Wortel, R (2011) Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*, 148 (5-6): 692-725. doi.org/ 10.1007/s00531-005-0481-4.
- Ahr, W. M (2008) A new genetic classification of carbonate porosity and its application to reservoir characterization. In *American Association of Petroleum Geology Annual convention (Abstract)*, San Antonio, 20-23.
- Al-Aasm, I. S., Ghazban, F., Ranjbaran, M (2009) Dolomitization and related fluid evolution in the Oligocene-Miocene asmari formation, Gachsaran area, SW Iran: Petrographic and Isotopic evidence. *Journal of Petroleum Geology*, 32(3): 287-304.
- Alavi, M (2007) Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of science*, 307(9): 1064-1095. <http://dx.doi.org/10.2475/09.2007.02>.
- Amiri Bakhtiar, H. Norainejad, M (2022) AD (Zagros Stratigraphy, third volume, Terava Publications, 1240. (In Persian)
- Aqrawi, A. A. M., Keramati, M., Ehrenberg, S. N., Pickard, N., Moallemi, A., Svana, T., Darke, G., Dickson, J. A. D. and Oxtoby, N. H (2006) The origin of dolomite in the Asmari formation (Oligocene-lower Miocene), Dezful embayment, SW Iran. *Petroleum Geology*, 29: 381-402. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2006.00381.x>.
- Bachari, M. Belkhiria, W. Negra, M. H., Grosheny, D. and Soltani, A (2024) Tectonic controls on Late Cretaceous sedimentation on the southern Tethyan passive margin, Tunisia: New evidence of structural segmentation and early basin inversion. *International Geology Review*, 66(8): 1501-1518. <https://doi.org/10.1080/00206814.2023.2243498>.
- Bathurst, R. G. C (1975) Carbonate Sediments and their Diagenesis: Developments in Sedimentology. 2nd Edition, Elsevier, Amsterdam, 12: 658.
- Berberian, M (1995) Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241(3-4): 193-224.
- Berberian, M., and King, G. C. P (1981) Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian journal of earth sciences*, 18(2): 210-265.
- Cahuzac, B. and Poignant, A (1997) An attempt of biozonation of the Oligo-Miocene in the European basins by means of larger neritic foraminifera. *Bulletin- societe geologique de France*, 168(2): 155-170.
- سیمان‌های موزائیکی هم‌بعد و بلوکی، انحلال و نئومورفیسم از جمله فرایندهایی هستند که حاصل از تأثیر محیط دیاژنز فریاتیکی متئوریک تحت عنوان مرحله دوم بر نهشته‌های سازند آسماری تأثیرگذار بوده است. مرحله سوم بیشتر در ارتباط با فعالیت‌های تکتونیکی بوده که در اثر بالآآمدگی و پسروری دریا که نهشته‌های سازند شهبازان، در نزدیک سطح زمین در معرض آب‌های جوی قرار گیرند که منجر به انحلال و توسعه تخلخل ثانویه شده است. و در نهایت پیشروی دریا و نهشت سازند آسماری در این مرحله رخ داده است. دولومیتی شدن تدفینی و تخلخل بین بلوری در مرحله چهارم فرایند دیاژنتیکی غالب محسوب می‌شود. در مرحله چهارم احتمالاً خروج سیالات حوضه‌ای رسوبات را بعد از مدفون شدن در اعماق زیاد تحت تأثیر قرار داده است. شورابه‌های حاصله با حرکت به سمت بالا باعث تشکیل دولومیت‌های نوع سوم در حفره‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های میزبان شده است. از دیگر فرایندهای دیاژنتیکی که در این مرحله صورت گرفته است می‌توان به ته‌نشست سیمان تبخیری و فشردگی (فیزیکی و شیمیایی) اشاره کرد. سیمان‌های هم‌بعدی که شواهدی چون در برگرفتن پوشش‌های میکریته شکسته شده، جوش دادن قطعات اسکلتی شکسته شده، پرکردن شکستگی‌های ساختاری یا در برگرفتن دانه‌هایی با تماس محدب-مقعر را نشان می‌دهند به محیط دیاژنز تدفینی نسبت داده شده‌اند. مرحله پنجم بیشتر در ارتباط با فعالیت‌های تکتونیکی بوده که در اثر بالآآمدگی نهشته‌های کربناته، درزها و شکستگی‌هایی در آنها ایجاد شده که توسط کلسیت اسپاری و انیدریت و گاهی بلور دولومیت پر شده‌اند. بالآآمدگی سنگ‌های آهکی سازنده‌های آسماری باعث شده این توالی دوباره در نزدیک سطح زمین در معرض آب‌های جوی قرار گیرند که منجر به انحلال و توسعه تخلخل ثانویه شده است.

References

- Abdi, A., Adabi, M. H (2009) Dolomite's petrography diagenesis analysis, probable Shahbazn-Asmari formations boundary and facies based on dolomitic geochemistry, petrographic evidences and statistic methods in Darabi section (Southwest Iran), 25: 81-100 (in persian).
- Adabi, M. H (2008) Multistage dolomitization of upper Jurassic Mozduran Formation, Kopeh

- Catuneanu, O (2022) Principles of Sequence Stratigraphy. Elsevier. 486.
- Cousino, L. K., Becker, R. H., and Zmijewski, K. A (2015) Modeling the effects of climate change on water, sediment, and nutrient yields from the Maumee River watershed. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4: 762-775. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.06.017>.
- Dickson, J. A. D (1965) A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, 205: 587 p.
- Ehrenberg, S. N., Pickard, N. A. H., Laursen, G. V., Monibi, S., Mossadegh, Z. K., Svånå, T. A., Aqrabi, A. A. M., McArthur, J. M. and Thirlwall, M. F (2007) Strontium Isotope Stratigraphy of the Asmari Formation (Oligocene - Lower Miocene), Sw Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 30(2): 107-128.
- El-Tabakh, M., Mory, A., Schreiber, B. C., & Yasin, R (2004) Anhydrite cement after dolomitization of shallow marine Silurian carbonate of the Gascoyne Platform, Southern Carnarvon Basin, Western Australia. *Sedimentary Geology*, 164: 75-87. <https://doi.org/10.4236/ojg.2017.710099>.
- Fallah-Bagtash, R., Adabi, M. H., Nabawy, B. S., Omidpour, A. and Sadeghi, A (2022) Integrated petrophysical and microfacies analyses for a reservoir quality assessment of the Asmari Dolostone sequence in the Khesht Field, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 223, 104989-104989. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104989>.
- Flügel, E (2010) Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag, Berlin, 976 PP. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-08726-8>.
- Friedman, G. M., (1965) Terminology of crystallization texture and fabric in sedimentary rocks: *J. Sedimentary Petrology*, 35: 643-655.
- Gharechelou, S. Daraei, M. and Amini, A (2016) Pore types distribution and their reservoir properties in the sequence stratigraphic framework: a case study from the Oligo-Miocene Asmari Formation, SW Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 1-19.
- Gregg, J. M., and Sibley, D. F (1984) Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture reply: *Jour. Sedimentary Petrology*, 56:735-763.
- Grimes, K. G (2012) Surface karst features of the Judbarra/Gregory Karst, Northern Territory, Australia. *Helictite*, 41: 15-36. <http://helictite.caves.org.au/pdf1/41>.
- Grimes, K. G (2007) Mikrokarren in Australia – a request for information, *Helictite*, 40(1): 21-23p.
- Grimes, K. G (2009) Tropical monsoon karren in Australia. In: Gines, A., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (Eds.), *Karst Rock Features, Karren Sculpturing*. Zaloz`ba ZRC/ZRC Publishing, Postojna-Ljubljana, 391-410.
- Haghighat, A. Aleali, M. Ghadimvand, N. Jahani, D. and Maleki, Z (2021) Depositional and diagenetic impact on reservoir quality of the Asmari carbonate reservoir, Naft-Sefid Oilfield, SW Iran. *Geopersia*, 11(1): 219-243.
- Hassanzadeh Nemati, M., Mohseni, H., Memarian, M., Yousefi Yeganeh, B., Janbaz, M., Swennen, R (2018) Petrography and geochemical constrain of dolostones of the Shahbazan Formation in Lorestan (Iran). *Carbonates and Evaporites*. 28 (109): 67- 82. (In Persian), doi: 10.1007/s13146-018-0449-7.
- Heidari, A. Shokri, N. and Farji, M (2024) Evaluation of porosity, permeability, and reservoir quality of the Asmari Formation using sedimentary facies and diagenesis data in the Ahvaz oil field. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 40(3):69-86.
- James, G. A. and J. G. Wynd (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium, agreement area: AAPG Bulletin, 49: 2182-2245.
- James, N. Jones, B (2016) *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks* (Wiley Works) 1st Edition.
- Jamshidi, A., Sedaghatnia, M (2024) Dolomitization mechanisms of Eocene Zagros carbonate platforms (an example from Shahbazan Formation, Amiran anticline, south of Lorestan). *Applied Sedimentology*, 12 (23): 150-174. (in Persian).
- Janbaz, M., Mohseni, H., Pirae, A. R., Swennen, R., Yousefi yegane, B., Seradeghi, H (2018) Diagenetic processes of the Shahbazan Formation in the east of the Iurstan zone, Geosciences, 28: 67-82p. <https://doi.org/10.22071/gsj.2017.89098.1151> (In Persian).
- Jennings, J. N (1985) *Karst Geomorphology*. Blackwell, Oxford, 293.
- Kadkhodaei Ilkhchi, R. Rahimpour Bonab, H. Mousavi Harami, S. R. and Kadkhodaei Ilkhchi, A (2011) Factors controlling distribution of different textures of anhydrite cement and its relation to reservoir quality in the Upper Dalan and Kangan carbonate reservoirs, South Parsfield, *Journal of Stratigraphic and Sedimentology Research*, Year 27, Serial Number, 42: 1-26. <http://dx.doi.org/20.1001.1.20087888.1390.27.1.1>. (In Persian with English abstract).
- Khazaie, E. Noorian, Y. Kavianpour, M. Moussavi Harami, R. Mahboubi, A. and Omidpour, A (2022) Sedimentological and diagenetic impacts on porosity systems and reservoir heterogeneities of the Oligo-Miocene mixed siliciclastic and carbonate Asmari reservoir in the Mansuri oilfield, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 213: 110-435.

- Košir, A (2004) Microcodium revisited: root calcification products of terrestrial plants on carbonate-rich substrates. *Journal of sedimentary research*, 74(6): 845-857. <https://doi.org/10.1306/040404740845>.
- Laursen, G. Monibi, S. Allan, T. Pickard, N. Hosseiney, A. Vincent, B. Hamon, Y. Van Buchem, V. Moallemi, A. and Druillion, G (2009) The Asmari Formation revisited: changed stratigraphic allocation and new biozonation. Shiraz 2009-1st EAGE International Petroleum Conference and Exhibition, European Association of Geoscientists & Engineers.
- Lucia, F. J (2007) Rock-Fabric Classification. *Carbonate Reservoir Characterization: An Integrated Approach*, 29-67.
- Maghfouri Moghadam, I., Sedaghatnia, M., Mohammadi, Kh., Bonyadian, A. and Bordbar M (2023) Evaluation of diagenesis processes of carbonate deposits of Shahbazan Formation (Sarkan anticline, south Lorestan). *Journal of Applied Sedimentology*, 19 (37): 28- 53.
- Mazhar, N. Mirza, A. I., Abbas, S. Akram, M. A. N., Ali, M. and Javid, K (2021) Effects of climatic factors on the sedimentation trends of Tarbela Reservoir, Pakistan. *SN Applied Sciences*, 3: 1-9.
- Mazzullo, S. J. (1992) Geochemical and Neomorphic Alteration of Dolomite: A Review. *Carbonate and Evaporates*, 7: 21-37. <https://doi.org/10.1007/BF03175390>.
- Mazzullo, S. J (2000) Organogenic dolomitization in peritidal to deep-sea sediments. *J. Sedimentary Reserch*, 70: 10– 23.
- McQuarrie, N., and van Hinsbergen, D. J (2013) Retrodeforming the Arabia-Eurasia collision zone: Age of collision versus magnitude of continental subduction. *Geology*, 41(3): 315-318. <https://doi.org/10.1130/G33591>.
- Mirbeik- Sabzevari, K., Sedaghatnia, M (2023) Diagenetic processes and paragenetic sequence of Shahbazan Formation (Middle – Upper Eocene) in north west Poldokhtar, Lorestan basin. *New Finding in Applied Geology*, 18 (35): 67-91. (In Persian with English abstract).
- Moghafouri Moghadam, I., Sedaqhat Nia, M., Mohammadi, Kh. Bordbar, M. Bonyadiyan, A. and Rastin, R (2024) The role of diagenesis processes in changing the texture of carbonate rocks (an example from Shahbazan Formation, folded Zagros, south Lorestan). *Journal of Applied Sedimentology*, 12 (24): 175- 200.
- Molina, J. M., Vera, J. A., Aguado, R (2006) En: *Paleoenvironmental Record and Applications of Calcretes and Palustrine Carbonates* (A. M. Alonso Zarza y L.H. Tanner, Eds.). *Geological Society of America Special Paper*, 416: 189-202. <https://doi.org/10.1130/2006.2416> (12).
- Moore, C. H (2001) *Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework*. *Development in Sedimentology*, Elsevier, Amsterdam, 460. eBook ISBN: 9780080878577.
- Mouthereau, F., Lacombe, O., & Vergés, J (2012) Building the Zagros collisional orogen: Timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence. *Tectonophysics*, 27(60): 532-535. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.01.022>.
- Murris, R. J (1981) Middle East stratigraphic evolution and oil habitat Geolo. En *Mijabouw*. 60: 467-486.
- Nabawy, B. S., Khalil, H. M., Fathy, M. S. and Ali, F (2020) Impacts of microfacies type on reservoir quality and pore fabric anisotropy of the Nubia sandstone in the central Eastern Desert, Egypt. *Geol. J.*, 55 (6): 4507- 4524.
- Nuraeinezhad, M. R., Adabi, M. H., Sadeghi, A., (2025) Investigation of the Baba Habib and Sultan anticlines in the Lurestan sub-basin using biostratigraphy and lithostratigraphy to determine the nature of the Pyrenees Orogeny in the Zagros Basin, *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 41(98): 1-20 <https://doi.org/10.22108/jssr.2024.141801.1290>
- Omidpour, A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Rahimpour-Bonab, H (2022) Effects of dolomitization on porosity– permeability distribution in depositional sequences and its effects on reservoir quality, a case from Asmari Formation, SW Iran. *J Petrol Sci Eng*, 208(10): 93-48.
- Piryaei, A. R. and Davies R. B (2024) Petroleum geology of the Cenozoic succession in the Zagros of SW Iran: a sequence stratigraphic Approach *Journal of Petroleum Geology*, 47(3): 235-290. <http://doi.org/10.1111/jpg.12864>.
- Plaziat, J. C (1984) Le problème des Microcodium: une mise au point. En: *Le Domain pyrénéen de la Fin du Crétacé à la Fin de l' Eocène: Stratigraphie, Paléoenvironnements et Évolution paléogéographique*. Thèse, Univ. Paris-Sud II, 637-662.
- Rao, C. P (1990) Geochemical characteristics of cool-temperate carbonates, Tasmania, Australia: *Carbonates and Evaporites*, 5: 209-221.
- Saein, A. F (Ed.) (2018) *Tectonic and Structural Framework of the Zagros Fold-thrust Belt*. Elsevier. eBook ISBN: 9780128150498.
- Saura, E., Verges, J., Homke, S., Blanc, E., Serra-Kiel, J., Bernaola, G., Casciello, E., Fernandez, N., Romaine, I., Casini, G., Embry, J.C., Sharp, I.R. and Hunt, D.W., (2011) Basin architecture and growth folding of the NW Zagros early foreland basin during the Late Cretaceous and early Tertiary. *Journal of the Geological Society*, 168(1): 235-250.

- Shabafrooz, R., Mahboubi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Ghabeishavi, A., Moussavi-Harami, R (2015a) Depositional architecture and sequence stratigraphy of the oligo–miocene Asmari platform: Southeastern Izeh Zone, Zagros Basin, Iran. *Facies*, 61(1): 1–32. <https://doi.org/10.1007/s10347-014-0423-3>.
- Sherkati, S., Letouzey, J., Frizon de Lamotte, D (2006) Central Zagros fold-thrust belt (Iran): new insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics*. 20 (3): 244-250. <https://doi.org/10.1029/2004TC001766>.
- Sherkati, S., and Letouzey, J (2004) Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21(5): 535-554.
- Sibley, D. F., and Gregg, J. M (1987) Classification of dolomite rock textures. *Journal of sedimentary Research*, 57(6): 967-975.
- Soleimani, B. and Nazari, F (2012) Petroleum reservoir simulation, Ramin Oil Field, Zagros, Iran. *International Journal of Modeling and Optimization*, 2(6): 672.
- Tavakoli, V., and Jmalian, A (2019) Porosity evolution in dolomitized Permian–Triassic strata of the Persian Gulf, insights into the porosity origin of dolomite reservoirs, 181: 106 – 191.
- Verges, J., Casini, G., Ruh, J., Cosgrove, J., Sherkati, S., Najafi, M., Casciello, E., Saura, E., Abdollahifard, I., Piryaei, A., Frizon De Lamotte, D., Letouzey, J., Hassan -Goodarzi, M., Soleimany, B. and Jahani, S (2024) Structural style and timing of NW-SE trending Zagros folds in SW Iran: Interaction with northsouth trending Arabian folds and implications for petroleum geology. *Journal of Petroleum Geology*, 47(1): 3-74.
- Warren, J (2000). Dolomite: Occurrence, Evolution and Economically Important Associations. *Earth-Science Reviews*, (52): 1-81,
- Wynd, J. G (1965) Biofacies of the Iranian oil consortium agreement area, IOOC report no.1082 (unpublished), 89 (42): 125–15.
- Ziegler, M. A (2001) Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*, 6: 445-504.

Effective geological factors (diagenesis and tectonics) in changes in reservoir characteristics: An example from the Asmari and Shahbazan Formations, Zagros, NE. Arabian plate

M. R. Nuraeinezhad¹, M. H. Adabi², A. Sadeghi³, A. R. Bavi Oveidi⁴

1- Ph. D. student., Dept., of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2, 3- Prof., Dept., of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4- National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

* m-adabi@sbu.ac.ir

Received: 2025.7.9 Accepted: 2025.10.25

Abstract

This study aimed to investigate diagenetic processes and effects tectonic variations during time and its role in reservoir quality in the Asmari-Shahbazan formations. In this research examined two subsurface sections in the Dezful Embayment and three outcrops in the Lorestan area to examine the of tectonic activity and on reservoir quality. Base on biostratigraphy study, in Lorestan, the Asmari carbonate Formation belongs to the Early Miocene, but in the northeast of the Dezful Embayment, it belongs to the Oligocene to Early Miocene. The Shahbazan Formation is primarily composed of carbonate strata and ranges from the Middle to Late Eocene. According to research, from the Dezful Embayment to Lorestan, the base of the Asmari Formation becomes younger. With dolomitization being the most common activity in the Shahbazan Formation, this study also discovered that diagenetic processes significantly affect reservoir quality over time. Diagenetic processes have overprinted on reservoir quality by either enhancing or reducing their properties. Cementation, micritization, compaction, and dissolution are the primary processes. Eogenesis, mesogenesis, and telogenesis are the three settings in which these activities occur. Cementation and compaction are the main elements that reduce reservoir quality, whereas dissolution and dolomitization are the most significant activities that improve it. Because of tectonic uplift (collision Arabian plate) and marine retreat (Tethys closed), the Shahbazan Formation has undergone two stages of development, from eogenesis to telogenesis: 1. The first stage, which was characterized by regression, elevation, and dissolution, involved retrogressive deposition during the Pyrenean orogenic period. 2. Progradation and deposition of the Asmari layer, burial diagenesis, and collision and uplift comprised the second stage.

Keywords: Diagenesis, Tectonics, Reservoir quality, Asmari, Shahbazan, Arabian Plate, Tethys

Introduction

The Zagros depositional basin has a strong economic and hydrocarbon potential due to the variety of rock types and obvious lateral variations over short distances, along with different ages of petroleum systems. Tectonic processes, such as sea level variation and climate changes, have been important factors affecting the style and qualities of sedimentary rocks (Cousino et al., 2015; Mazhar et al., 2021; Catuneanu, 2022; Bachari et al., 2024; Heidari et al., 2024). The carbonate strata is important because it is shaped by the uplift from the Middle Alpine orogenic phase in the Lurestan region and the Balarod flexure fault, about one kilometer in the Qaleh-e Nar field

(Amiri-Bakhtiar and Nourae-Nejad, 2013). To understand this, we compared the stratigraphic framework, burial history, porosity features, and diagenetic history of surface outcrops with the subsurface sequence. We used nearby outcrops to determine the reservoir. For this study, three surface sections in the Lorestan basin and two wells in the Dezful Embayment basin for study.

Regional Geology

According to the Sherhati classification (Sherhati, 2003), we studied two main sections in the Lurestan basin: the Sultan and Babahabib in central Lurestan, which are 5 km apart, and the Poshte-Jangal outcrops section in

northern Lurestan. Also, two subsurface (wells) sections in the Qale-e-Nar and Balaroud oilfields, located 3 km apart. In these fields significant lateral variations identified.

Methodology

In this study available well cores from two selected wells in the Qaleh-e-Nar and Balaroud fields and three surface sections from the Sultan, Posht-e-Jangal, and Bala Habib anticlines have been studied. In this article for identifications calcite from dolomite, the Alizarin Red method of Dixon (1966) and type of dolomites, was used from dolomite classification of the Sibley and Gregg method (1987). Also, for supplementary studies, including crystal structures in dolomites and of clay minerals, were used electron microscope (SEM), and for identification, microcodium surfaces, karst surfaces, and diagenetic processes have been used new references.

Discussion

In this study, we identified two biozones in the Shahbazan Formation. The index fossils indicate that the Shahbazan Formation belongs to the Middle Eocene (Lutetian) to the Late Eocene (Priabonian). The Asmari Formation has different ages depending on the location. In the Dezful Embayment, it dates to the Oligo-Miocene. In Central Lurestan, it is from the Aquitaine-Burdigalian age, and in Northern Lurestan, the section in the Poshte Jangal dates to the Burdigalian age. In this area, the Asmari Formation gets younger as move from the southwest to the northeast. The Middle Alpine Orogenic phase occurred during the Eocene-Oligocene, about 37-40 million years ago. This phase resulted to uplift and emerged in many parts of the world (Amiri-Bakhtiar and Nourae-Nejad, 1402). This event happened on the carbonate platform margin of the Pabdeh Basin, particularly in northeastern Lurestan, during the Oligocene. In the Zagros region, this geological phase caused the sea level to rise and fall on the platform. The rising sea level exposed the Shahbazan Formation and caused freshwater variation in it (Maghfouri Moghadam et al., 1404). The diagenesis process are divided into three stages: eogenetic, mesogenetic, and telogenetic. In the eogenetic stage, the main processes include dolomitization, micritization, bioturbation, deposition of equant cement, non-fabric-selected dissolution, and physical compaction.

These processes occurred in both marine and meteoric realm. The formation of dolomites and certain marine cements begin in a marine environment. The first type of dolomite forms as the initial stage of diagenesis, especially in the Shahbazan Formation. This process began during the late Chattian and early Aquitaine periods during evaporite conditions, which supplied magnesium ions, expanded in the study area. This type of dolomite is studied in the evaporite section of Kalhor and the basal anhydrite in the Kaboud oil field, as well as in the Burdigalian, due to the closure of the Asmari Sea and the spread of dolomite conditions. After the Shahbazan Formation was deposited, uplift, regression, and meteoric diagenesis took place. This led to the Shahbazan Formation moving directly from the eogenetic stage to the early telogenetic stage. This stage represents a link between the early and final stages of diagenesis. After the initial telogenetic stage and the transgression, the Shahbazan deposits passed through the marine diagenesis stage. It then moved into a transitional environment before entering the burial diagenesis environment and the mesogenetic stage. After the Asmari deposition and the carbonate strata of the two formations were deposited, physical compaction began. This process makes close packing of the available grains during the early stages of burial. Two important types of cement that form during shallow burial are equant mosaic and blocky cements. In fossil-filled chambers and dissolution cavities, various cements developed, including drusy cement, which formed during the burial phase. The presence of different diagenetic fluids, influenced by marine waters during burial, led to changes in the mineral structure of most samples from the Asmari Formation. When the Zagros Mountains collided and the sequence built up, a phase of the late diagenesis occurred in the study strata before the carbonate sequences of the Asmari and Shahbazan formations crop out. In the Zagros sedimentary basin, as these sequences uplifted, they experienced some changes, such as the formation of fractures. Several of these fractures later filled with various cements. When fractures in carbonate rock extend to the surface, they greatly affect the amount of useful porosity. However, the cements that fill these fractures can destruct the reservoir quality. Two types of these cements are equant

mosaic and blocky cements. They were deposited after the fractures expanded, during folding, or after uplift. In the last stage of diagenesis, erosion and tectonic uplift expose these rock successions to surface weathering. This is the final stage of the diagenetic processes affect limestones. Other changes that occur in this stage include the formation of intercrystalline porosity, hematization, and the deformation of stylolites and cements by calcite veins that signals the uplift stage.

Result

Studies of rock strata show that the two formations undergo several changes after they form. These variations include micritization, dolomitization, cementation, dissolution, stylolitization, and both physical and chemical compaction. Anhydrite cement often appears after dolomitization. Micritization mostly occurs in lagoon areas, which suggests low-energy environments. In the Asmari and Shahbazan formations, researchers found various types of anhydrite textures. These include widespread and fracture-filling anhydrite, layered and poikilotopic forms, as well as nodular, scattered, and lath-shaped anhydrite crystals. Anhydrite cement also fills fractures, and thin vein-like forms are present. The overall quality of the Asmari carbonate reservoir depends on three important factors: the original texture of the sediment, the availability of diagenetic fluids, and the processes that follow, such as dissolution and fracturing of the expanding anhydrite cement. When these carbonate layers were formed, they were in an unstable tectonic state and often experienced significant changes in seawater and weathering. The sediments underwent diagenetic processes during three stages: eogenesis, mesogenesis, and telogenesis, in three environments: marine, meteoric, and burial. These diagenetic processes influenced

five main stages of the carbonate deposits: In the first stage, a thin layer of micrite formed, and grains changed into micrite. Dolomitization also occurred in a marine setting. As sediments were buried deeper, they compacted and dissolve, which led to the formation of early stylolites. In the second stage, the deposits of the Asmari Formation were affected by groundwater and surface water. This process resulted in the formation of mosaic cements including similar sizes, along with further dissolution and neomorphism. The third stage is linked to tectonic activities that changed the sea level. As sea level fluctuation, the Shahbazan Formation cropped out. This exposure allowed meteoric water to seep in, which dissolved minerals and formation of secondary porosity. During this stage, transgression, leading to the deposition of the Asmari Formation. Burial dolomitization and intercrystalline porosity are the main processes that affect the strata after it has been buried. In this fourth stage, fluids from the surrounding area likely interacted with the sediments at great depths. These brines moved upward and formed type III dolomites in the cavities and fractures of the rocks. Other changes in this stage included the deposition of evaporative cement and both physical and chemical compaction. Cements that show characteristics shattered micritic envelopes, fractured allochems and concave and convex contacts belong to this burial diagenetic environment. The fifth stage involves tectonic activities that uplift carbonate deposits. This uplift creates solution seams and fractures, which fill with calcite spar, anhydrite, and sometimes dolomite crystals. As the Asmari limestones uplift, they become exposed to meteoric waters. This exposure leads to dissolution and development of the secondary porosity.