

تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند فهلیان (کرتاسه پیشین) در میدان نفتی اروند، دشت آبادان

عباس ده‌کار^۱، ولی‌احمد سجادیان*^۲، محمدرضا نورا^۳، کاظم شعبانی گورجی^۴ و عباسعلی امرایی^۵

۱- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان

۲ و ۵- بخش مطالعات زمین‌شناسی، شرکت نفت و گاز اروندان، اهواز

۳ و ۴- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان

نویسنده مسئول: vas1382@yahoo.com

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۹۹/۶/۳۱

دریافت: ۹۹/۱/۱۶

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی فرایندهای دیاژنزی و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند کربناته فهلیان، به سن کرتاسه پیشین در برش زیرسطحی چاه ۱ و ۲ میدان نفتی اروند واقع در دشت آبادان است که بر پایه مطالعات پتروگرافی و پتروفیزیکی انجام گرفته است و این مطالعه شامل ۲۲۹ برش‌نازک سنگی و هم‌چنین نگاره‌های چاه‌پیمایی می‌باشد. بررسی رویدادهای دیاژنزی نشان داد که انحلال و سیمان‌شدگی، دولومیتی شدن و میکرایتی شدن، انحلال فشاری و تراکم، رایج‌ترین فرایندهای دیاژنزی موثر بر سازند فهلیان در میدان اروند هستند. از میان فرایندهای یاد شده، سیمان‌شدگی و تراکم فیزیکی باعث از بین رفتن تخلخل و انحلال موجب افزایش آن شده است. استیلولیتی شدن در پاره‌ای موارد به خاطر دولومیتی شدن و انحلال در امتداد آن باعث افزایش کیفیت مخزن و در پاره‌ای موارد به دلیل تمرکز بقایای ناشی از انحلال، باعث ایجاد سدهای تراوایی شده است. مطالعه برش‌نازک سنگی مطالعه شده نشان می‌دهد تخلخل‌ها از نوع قالبی، حفره‌ای بین‌دانه‌ای و شکستگی است. مطالعات پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه بیانگر رخساره کربناته به همراه میان لایه‌هایی از رخساره شیلی سازند فهلیان است. تخلخل سنگ بین ۳ تا ۸ درصد و حجم شیل کمتر از ۵ درصد بوده، درصد اشباع آب بین ۱۰ تا ۴۰ درصد و سیال موجود در مخزن آب به همراه نفت با درصد اشباع آب بالا می‌باشد. با توجه به مطالعه ریزرخساره‌ها، مدل رسوبی ارائه شده، رمپ کربناته است و به دلیل گسترش محدود فرایندهای دیاژنزی مؤثر در کیفیت مخزنی و حجم گل‌آهکی متأثر از محیط‌رسوبی، کیفیت مخزنی سازند فهلیان در میدان اروند، متوسط ارزیابی می‌شود.

واژگان کلیدی: سازند فهلیان، دیاژنزی، میدان نفتی اروند، کیفیت مخزنی، کرتاسه پیشین

۱- پیشگفتار

سازند فهلیان در بخش جنوب دشت آبادان، سنگ مخزن نفت و گاز و میدان نفتی اروند، میدان تازه اکتشاف شده و از جمله میادین مشترک با کشور عراق می‌باشد، توسعه برداشت بهینه و مدیریت صحیح از میدان، مستلزم این است که مطالعات پایه زمین‌شناسی با دقت انجام شود و فرایندهای دیاژنزی مورد بررسی قرار گرفته و سپس به نقش این فرایندها در کیفیت مخزنی پرداخته شود. دیاژنزی شامل فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هستند که هنگام و پس از رسوب‌گذاری موثر بوده و طی آن رسوبات اولیه با آب‌های منفذی واکنش داده تا به یک تعادل پایداری برسند. هدف اصلی در این تحقیق، مطالعه تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت سنگ مخزن سازند فهلیان در این میدان نفتی می‌باشد و لذا به بررسی کیفی

خواص مخزنی این سازند بر اساس مطالعات پتروگرافی مغزه‌ها پرداخته می‌شود.

۲- تاریخچه موضوع و پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی در دهه‌های اخیر در مورد سازند فهلیان و دشت آبادان در زمینه‌های زیست‌چینه‌نگاری، سنگ‌شناسی رسوبی و رسوب‌شناسی، محیط‌رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی، ژئوشیمی نفت، تکتونیک و ارزیابی پتروفیزیکی مخزن (برای مثال جیمز و وایند، ۱۹۶۵؛ گلستانه، ۱۹۶۵؛ خردپیر، ۱۹۷۵؛ لاسمی و فیضی، ۱۳۸۵؛ آدابی و همکاران، ۲۰۱۰؛ جمالیان و همکاران، ۲۰۱۱؛ کمالی و همکاران، ۲۰۱۳؛ اسفندیاری، ۱۳۹۲؛ آزادشهرکی، ۱۳۹۶؛ رحیم‌پوربناب و همکاران، ۱۳۹۷؛ فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شالوند و همکاران، ۱۳۹۸؛

سنگ‌نگاری و با توجه به تعیین تقدم و تأخر نسبی محصول‌های دیاژنز نسبت به یکدیگر، پارائز رویدادهای دیاژنتیکی سازند فهلیان در توالی مورد بررسی، مشخص شد. همچنین توسط نرم‌افزار ژئولاگ جنس سنگ مخزن و میزان تخلخل و تراوایی مخزن، مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت بر اساس این مشاهدات، تأثیر این فرایندها بر کیفیت مخزنی در توالی مورد مطالعه، بررسی گردید.

۴- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

میدان نفتی اروند، در ناحیه اروند کنار در مجاورت و به موازات خط مرزی ایران و عراق و در فاصله ۴۹ کیلومتری جنوب شهر آبادان و در دهانه رود اروند قرار گرفته است (شکل ۱). سازند فهلیان و گروه خامی بالایی (شامل سازندهای فهلیان، گدوان و داریان) تقریباً ژرف‌ترین مخازن نفتی جنوب‌باختری ایران و در عین حال کهن‌ترین سنگ‌های مخزنی دشت آبادان به شمار می‌آیند (محسنی و همکاران، ۱۳۹۲). گروه خامی در دشت آبادان به وسیله سازند کژدمی (اواخر آپتین پیشین تا آلبین میانی) از مخازن گروه بنگستان جدا شده و به دو قسمت تقسیم می‌شود. ترکیب قسمت خامی زیرین شامل سازندهای هیث و سورمه، و خامی بالایی شامل سازند فهلیان، گدوان و داریان است (شکل ۲). به‌طور کلی سنگ‌شناسی فهلیان با سن نئوکومین از سنگ‌آهک، گدوان با سن بarmین از شیل و سنگ‌آهک و داریان با سن آپتین از سنگ‌آهک می‌باشد. سنگ مخزن کرتاسه پایین در شرایط کم عمق دریایی بر جای گذاشته شده‌اند که سازندهای کربناتی فهلیان و داریان حاصل آن است (نوری، ۲۰۱۹). تاقدیس اروند فاقد هر گونه رخنمون بوده و از برداشت‌های ژئوفیزیکی شناخته شده است. این تاقدیس دارای روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری است. در این پژوهش، سازند فهلیان در میدان اروند واقع در جنوب دشت آبادان مورد بررسی قرار گرفته است.

۵- بحث

۵-۱- ریزرخساره‌ها و محیط‌رسوبی

مطالعه ریزرخساره‌های سازند فهلیان در میدان نفتی اروند و مقایسه آن با کمربندهای رخصاره‌ای ویلسون (۱۹۷۵) و فلوگل (۲۰۱۰) آشکار می‌سازد که ریزرخساره‌های سازند فهلیان در میدان مورد مطالعه، در

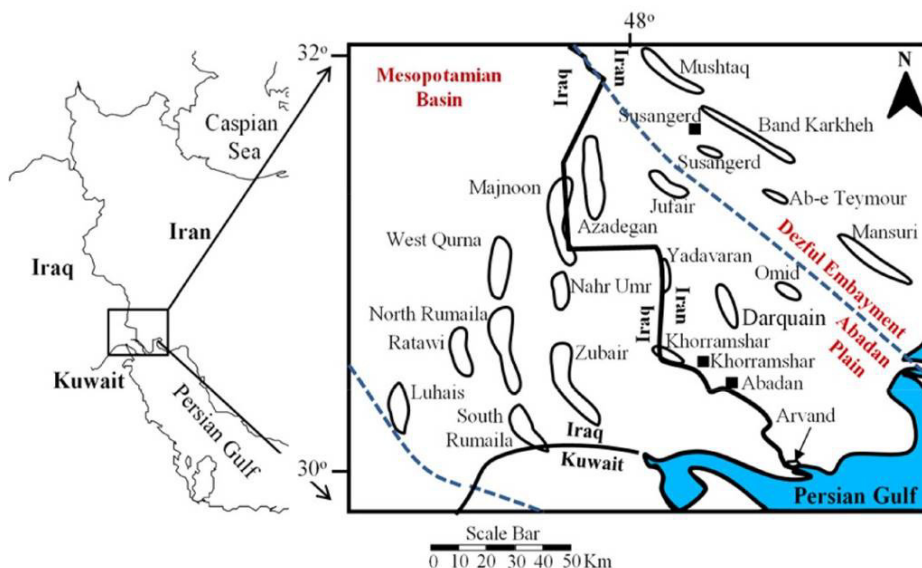
نوری و همکاران، ۲۰۱۹) انجام شده است. دیاژنز، طیف گسترده‌ای از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پس از رسوب‌گذاری را شامل می‌شود که در طی آن رسوبات اولیه با آب‌های بین‌منغذی در حوضه رسوبی واکنش داده تا به یک تعادل بافتی و ژئوشیمیایی پایداری از محیط دست یابند (اشمیت و همکاران، ۲۰۰۴). لاسمی (۱۳۸۵) رخصاره‌های پلاتفرمی تا دور از پلاتفرم سازند فهلیان را در برش کوه فهلیان و برش کوه اشگر (شمال باختر کوه فهلیان) در جنوب‌باختر ایران مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تکاپوهای تکتونیک سیستم گسله کازرون در سرآغاز کرتاسه به پدید آمدن حوضه بین شلفی انجامیده است و محیط ته‌نشست سازند فهلیان را پلاتفرم کربناته نوع شلف تشخیص دادند. رحیم‌پوریناب (۱۳۹۷) در مطالعات توالی کربناته فهلیان، فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در سازند فهلیان را انحلال، میکرایتی شدن، تراکم، دولومیتی شدن سیلیسی شدن، پیریتی شدن، سیمانی شدن و شکستگی شناسایی کردند که در طی مراحل مختلف دیاژنز دریایی، متئوریک و دفنی تشکیل شدند. با تمام مطالعاتی که روی سازند فهلیان انجام شده است، هنوز هیچ مطالعه‌ای بر روی سنگ مخزن میدان اروند از نظر پتروگرافی جهت بررسی‌های دیاژنزی و بررسی کیفیت مخزن، صورت نگرفته است.

۳- روش کار

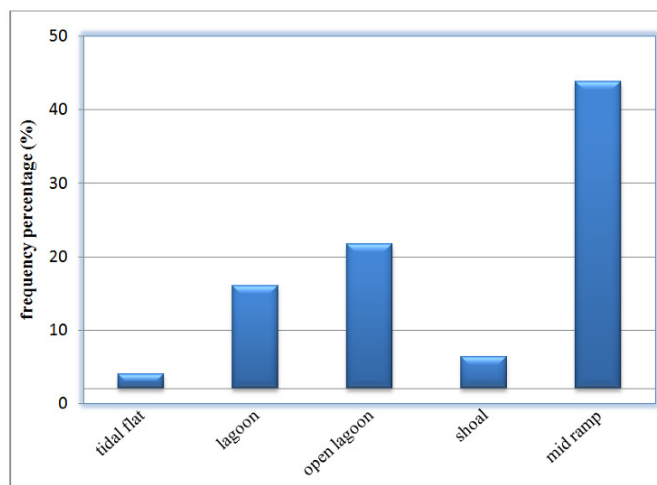
روش مطالعه مبتنی بر بررسی مطالعات پیشین و مطالعه ۲۲۹ برش‌نازک میکروسکوپی و ۱۳ نمونه جهت بررسی با میکروسکوپ الکترونی (SEM) مدل فیلیپس XL30 توسط شرکت رزلب کیش از مغزه‌های حفاری چاه اروند ۲ شده است، که منجر به شناسایی ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی و تأثیر آن‌ها بر کیفیت مخزنی شده است. رخصاره‌های سازند فهلیان در میدان مورد مطالعه و کمربندهای رخصاره‌ای توسط طبقه‌بندی فلوگل (۲۰۱۰) و ویلسون (۱۹۷۵) نام‌گذاری شدند. به منظور تشخیص کانی کلسیت از دولومیت، نمونه‌ها با آلیزارین رنگ‌آمیزی شدند. در این مطالعه، انواع تخلخل با استفاده از طبقه‌بندی چوکت و پری (۱۹۷۰) نام‌گذاری و انواع فرایندهای دیاژنزی مورد بررسی قرار گرفت. پس از تعیین محیط دیاژنتیکی آن‌ها، بر پایه بررسی‌های

بیانگر زیرمحیط پهنه جزرومدی است (شکل ۳-۳-۱). ریزرخساره‌های زیرمحیط لاگون شامل وکستون تا پکستون بایوکلست پلوییدار، وکستون تا پکستون پلوییدی، باندستون مرجانی، وکستون تا پکستون پلوییدی، وکستون بایوکلست میلیویدی، مادستون بایوکلستی می‌باشند (شکل ۳-۳-۲ و ۳-۳-۳).

چهار زیرمحیط پهنه جزر و مدی، لاگون، سد و دریای باز نهشته شده‌اند (نمودار ۱) و سازند فهلیان در میدان ارونند در یک محیط رمپ کربناته نهشته شده است. گروه ریزرخساره‌های پهنه جزرومدی شامل ریزرخساره گرینستون پلوییدی و اینتراکلستی، مادستون، دولومادستون و مادستون می‌باشد که نبود بایوکلست و وجود اینتراکلست‌های گردشده و پلوییدهای میکرایتی



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی میدان ارونند نسبت به میدان‌های دیگر با اندکی تغییر (زیلعلی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۸)



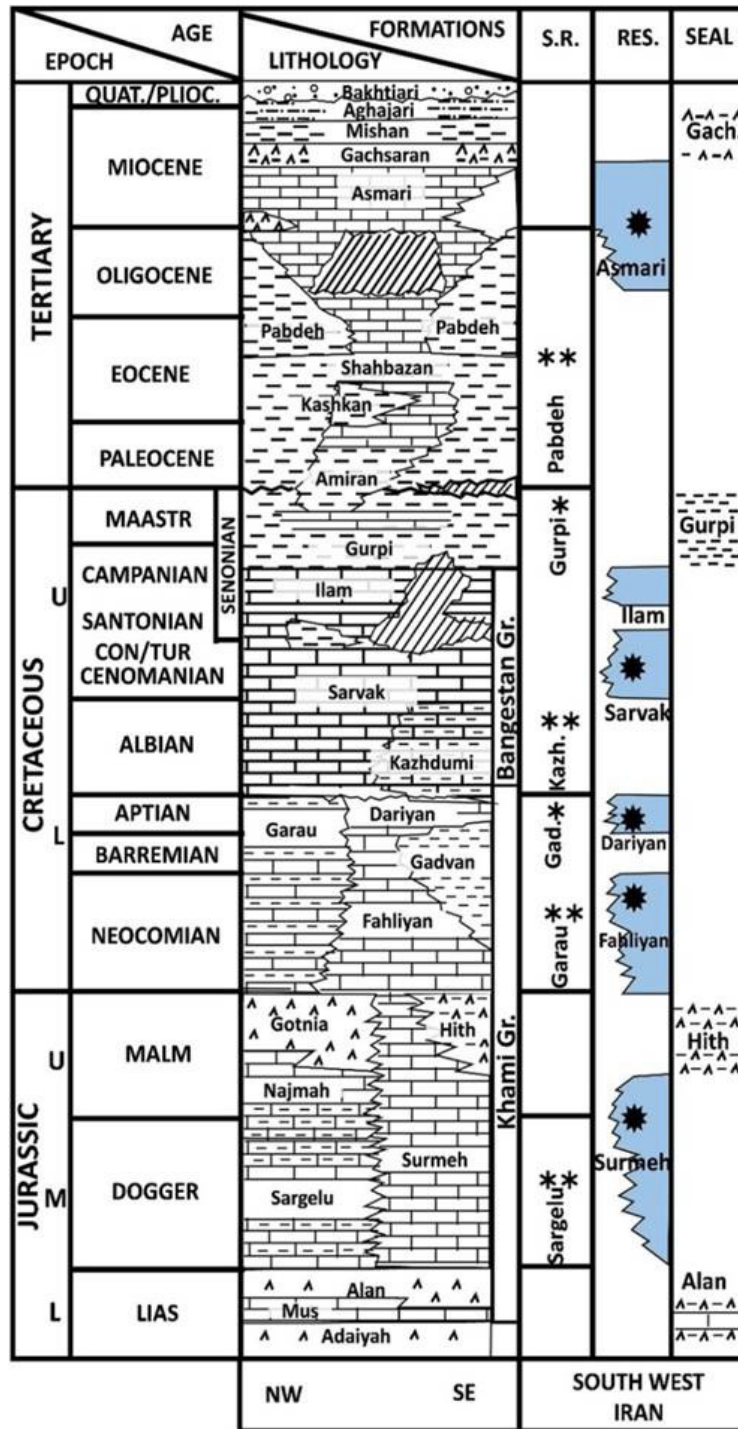
نمودار ۱. فراوانی رخساره‌های رسوبی مربوط به زیرمحیط‌های مختلف در بخش مخزنی سازند فهلیان در میدان ارونند

برخوردار نیست (شکل ۳-۳-۳ D و E). این گروه از رخساره‌ها، معادل رخساره‌های سدی (فلوگل، ۲۰۱۰) می‌باشد. ریزرخساره‌های زیرمحیط دریای باز شامل ریزرخساره‌های پکستون و قطعات بایوکلست است. این

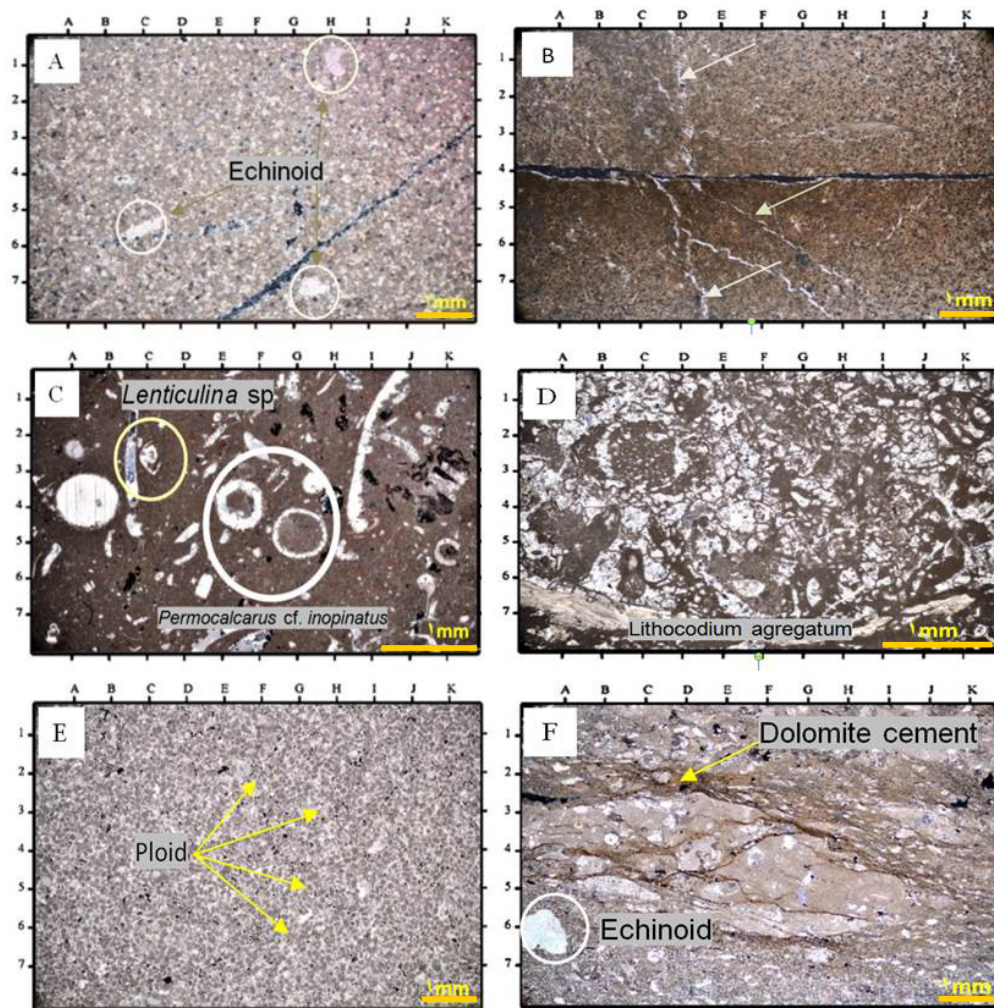
گروه رخساره‌های زیرمحیط سد شامل گرینستون اینتراکلستی پلوییدار و اوویددار، پکستون، باندستون و پکستون بایوکلستی با خردشدگی زیاد و بافت‌های پکستون گرینستونی می‌باشد که از وسعت چندانی

رخساره‌های رمپ کربناته که بیانگر شیب ملایم محیط رسوبی در هنگام رسوب‌گذاری می‌باشند، مدل رسوب‌گذاری سازند فهلیان یک پلاتفرم رمپ کربناته، تعیین گردیده است (شکل ۴).

ریزرخساره از اینتراکلیست، و بایوکلیست در خمیره‌ای از میکرایت تشکیل شده است. خرده‌های بایوکلیستی دربردارنده خرده‌های خارپوست، روزنداران، دوکفه‌ای و جلبک‌های آهکی است (شکل ۳-F). با توجه به حضور



شکل ۲. ستون سنگ‌چینه‌نگاری منطقه مورد مطالعه در جنوب‌باختری ایران بدون مقیاس. سنگ‌های منشا به شکل دو ستاره و سنگ مخزن به وسیله یک ستاره مشخص شده است (ربانی و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی از رخساره‌های رسوبی بخش مخزنی سازند فهلیان در میدان اروند. A- دولوستون در یک رخساره گلی، B- کلسیت با رخساره پکستون تا وکستون بایوکلسیتی، C- کلسیت با ریزرخساره وکستون تا پکستون جلبگ‌دار در محیط رسوبی لاگون، D- ریزرخساره گرینستون اسکلتی در محیط رسوبی سد، E- ریزرخساره گرینستون پلویدی در محیط رسوبی سد، F- ریزرخساره پکستون با محیط رسوبی رمپ کربناته

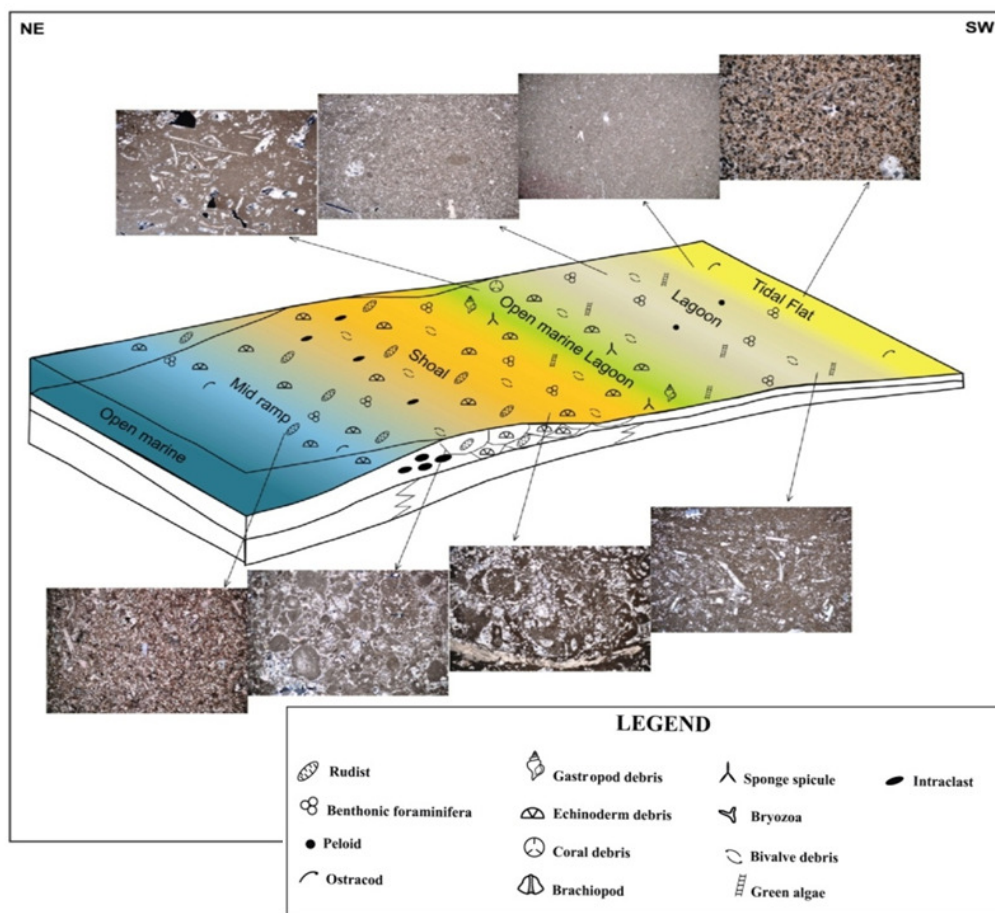
۵-۲- فرایندهای دیاژنزی

از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی در چاه اروند-۲ می‌توان به میکریتی شدن، سیمانی شدن، سیلیسی شدن محدود، دولومیتی شدن، انحلال، شکستگی و رگه‌های پر شده، تراکم (فیزیکی و شیمیایی) و پیریتی شدن اشاره نمود. در ذیل به شرح هر یک از این فرایندها پرداخته می‌شود.

۵-۲-۱- میکرایتی شدن

میکرایتی شدن از نخستین فرایندهای دیاژنزی است که در محیط دریایی و بویژه در محیط‌های دریایی و لاگون اتفاق می‌افتد. این فعالیت با تکرار فعالیت سیانوباکتری‌ها،

قارچ‌ها و جلبک‌ها بر سطح آلوکم‌ها رخ می‌دهد (السای و جردن، ۲۰۰۷). پوشش‌های میکرایتی، در حفظ شکل دانه، پس از انحلال بخش داخلی آن‌ها در طی دیاژنزی جوی، اهمیت دارد (باچست، ۱۹۷۵). فرآیند میکرایتی شدن، شاخص محیط‌های رسوبی کم انرژی و آب‌های کم عمق محدود شده زیر پهنه جزرومدی است و به طور گسترده در این محیط‌ها دیده می‌شود (ویلسون، ۲۰۰۲). در اثر فرایند پوشش میکرایتی در ناحیه مورد مطالعه، حاشیه دانه‌های اسکلتی به طور مداوم توسط موجودات میکروسکوپی سوراخ شده و سپس توسط رسوبات دانه‌ریز با سیمان پر می‌شوند (شکل ۵-A).



شکل ۴. شکل مدل رسوبی (سیستم رمپ) برای سازند فهلیان در میدان اروند

سازند فهلیان تراکم فیزیکی بصورت فشردگی آلوکم‌ها است که منجر به آرایش نزدیک‌تر آن‌ها می‌شود (شکل ۵-B). این نوع تراکم به صورت بسیار محدود عمل کرده است. بدیهی است این فرآیند دپازنزی به علت فشردگی آلوکم‌ها به یکدیگر و کاهش تخلخل باعث کاهش کیفیت مخزنی شده است.

۵-۲-۲-۲ تراکم شیمیایی

تراکم شیمیایی به دنبال افزایش عمق تدفین رخ می‌دهد (ماچل، ۲۰۰۵). این فرایند منجر به تشکیل استیلولیت‌ها، رگچه‌های انحلالی و سطوح مضرس در محل تماس بین دانه‌ها (انحلال فشارشی) شده است (شکل ۵-C). استیلولیت‌ها در صورت ایجاد می‌توانند به عنوان یک سد (seal) در برابر تراوایی بوده و مانع مهاجرت سیال شوند مگر اینکه در اثر تراکم، شکسته شوند. رگچه انحلالی برخلاف استیلولیت‌ها که کل بافت سنگ را قطع

۵-۲-۲-۲ تراکم

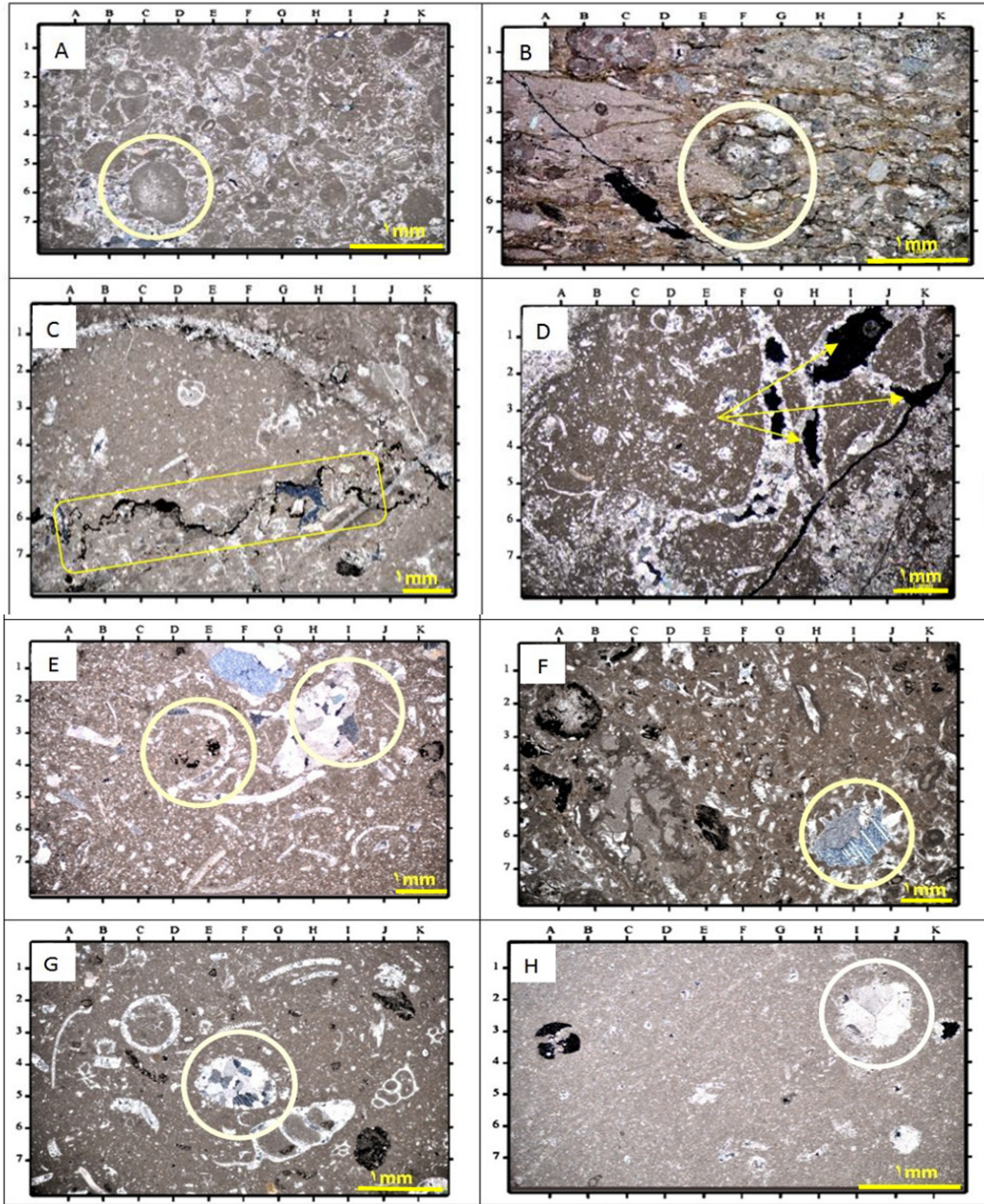
تراکم، مجموعه فرایندهایی است که حجم توده‌سنگ‌ها را کاهش می‌دهد (فلوگل، ۲۰۱۰). تراکم رسوبات ناشی از فشار هیدرواستاتیک، لیتواستاتیک و مستقیم که حاصل نیروهای زمین‌ساختی است، می‌باشد (مور، ۲۰۰۱). تراکم به دو نوع فیزیکی و شیمیایی نهشته‌های سازند فهلیان در ناحیه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. نبود یا کمبود تخلخل اولیه (به ویژه در ابتدای توالی) از دیگر نشانه‌های تراکم در این سازند است. در ادامه به شرح هر یک از آن‌ها پرداخته می‌شود.

۵-۲-۲-۱ تراکم فیزیکی

تراکم فیزیکی مهم‌ترین فرایندی است که سبب آرایش متراکم‌تر دانه‌ها و شکسته شدن بایوکلست‌ها، تراکم و خمیدگی آلوکم‌ها می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰) و تأثیر منفی بر کیفیت مخزن دارد (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰). در

می‌کند. این تخلخل دارای جهت‌یابی بوده و به موازات سطح لایه‌بندی مشاهده می‌شود (لاسمی و همکاران، ۱۳۸۵).

می‌کنند، از اطراف دانه‌ها عبور می‌کنند. فرایند استیلولیتی شدن که در توالی مورد پژوهش در امتداد رگچه‌های فشاری- انحلالی گسترش یافته است، به عنوان مسیرهای مهاجرت سیالات (آب و هیدروکربن) عمل



شکل ۵. فرایندهای دیازنزی در سنگ مخزن سازند فهلیان، چاه ارونند-۲، A- سنگ آهک گرینستون با قطعات بزرگ فرامینیفر بنتیک و پلوئیدها همراه با فرایندهای کلسیت و میکریتی شدن، B- سنگ آهک با ریزرخساره پکستون تا گرینستون پلوئیدی اسکلتی همراه با پدیده نئومورفیزم و تراکم فیزیکی با تخلخل حفره‌ای دارای شکستگی‌های باز، C- وکستون تا پکستون اسکلتی با قطعات گاستروپدا و دوکفه‌ای، با تخلخل استیلولیتی و کلسیت شدگی و نئومورفیزم و شکستگی‌های پر شده، D- سنگ آهک وکستون تا پکستون اسکلتی با قطعات گاستروپدا، اکتینوئید، جلبک و میلیولیده‌آ همراه با پدیده‌های انحلال، کلسیت‌شدگی، درزه و نئومورفیزم، E- آهک دولومیتی با ریزرخساره وکستون تا پکستون پلوئیدی اسکلتی، سیمانی شدن آلومکها و سیمان بلوکی و توسعه دولومیت، بدون تخلخل و تشکیل شده در محیط رسوبی لاگون، F- سیمان سن‌تکسیال در سنگ آهک وکستون تا پکستون اسکلتی و کلسیتی شدن آلومکها، G- کلسیت با رخساره پکستون تا وکستون بایوکلسیتی با سیمان دروزی، H- سیمان بلوکی و انحلال دانه‌ها در سنگ آهک با ریزرخساره وکستون تا پکستون پلوئیدی اسکلتی.

۵-۲-۳- انحلال

انحلال یکی از فرایندهای مهمی است سبب افزایش تخلخل در مخازن کربناته شده (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱) و باعث ایجاد تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای می‌شود (لوسیوا، ۲۰۰۷). این پدیده می‌تواند در محیط‌های دیاژنزی نزدیک سطح و محیط‌های هوازی و زون مخلوط (لانگمن، ۱۹۸۰) و محیط دیاژنزی تدفینی صورت گیرد. بیش‌تر تخلخل و نفوذپذیری‌های موجود در آهک‌ها، ثانویه بوده و منشأ آن‌ها از تخلخل اولیه است (خسروتهرانی، ۱۳۸۶). این فرایند دیاژنزی در میدان مورد مطالعه، موجب تخریب دانه‌ها شده و تخلخل موجود در سنگ را افزایش داده است (شکل ۵-D).

۵-۲-۴- سیمانی شدن

فرایند سیمانی شدن، یکی از فرایندهای شناسایی شده در میدان مورد مطالعه می‌باشد که سبب کاهش تخلخل و تراوایی گشته و با توجه به رنگ‌آمیزی تعدادی از مقاطع مورد مطالعه، انواع سیمان‌دروزی، سن‌تکسیال، ایزوپک و بلوکی پرکننده حفرات شناسایی شده است. در مطالعه صورت گرفته، حجره‌های روزن‌داران و هم‌چنین درون درزه‌ها و شکستگی‌ها توسط این سیمان‌ها، پر شده است. سیمان‌دروزی در توالی مورد پژوهش به صورت حفرات و حجرات اسکلتی پر شده، در تخلخل‌های قالبی حاصل از انحلال و نیز در طول شکستگی‌ها تشکیل می‌شود (شکل ۵-E و G). از ویژگی‌های این سیمان افزایش اندازه بلور به سمت مرکز حجره است و بیش‌تر در ارتباط با دیاژنز جوی می‌باشد (فلوگل، ۲۰۱۰). سیمان سین‌تکسیال دارای پیوستگی نوری با دانه در برگیرنده قطعات اकिनودرم است، شفاف بوده و در محیط دیاژنز جوی و دفنی نهشته می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). این سیمان در محیط مورد مطالعه بصورت دفنی تشکیل شده است (شکل ۵-F). سیمان بلوکی در محیط‌های جوی و دفنی تشکیل می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). این سیمان برخی از تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی و شکستگی‌ها را اشغال کرده است (شکل ۵-H).

۵-۲-۵- جایگزینی

کلسیت در بسیاری از نمونه‌ها یا جایگزین شده و یا به دانه‌های اسکلتی و ماتریس سنگ وصل شده است.

(شکل ۶-A). کلسیت جایگزین شده در بسیاری از نمونه‌ها، یک نوع سیمان قالبی را نشان می‌دهد.

۵-۲-۶- نوریختی (نئومورفیسم)

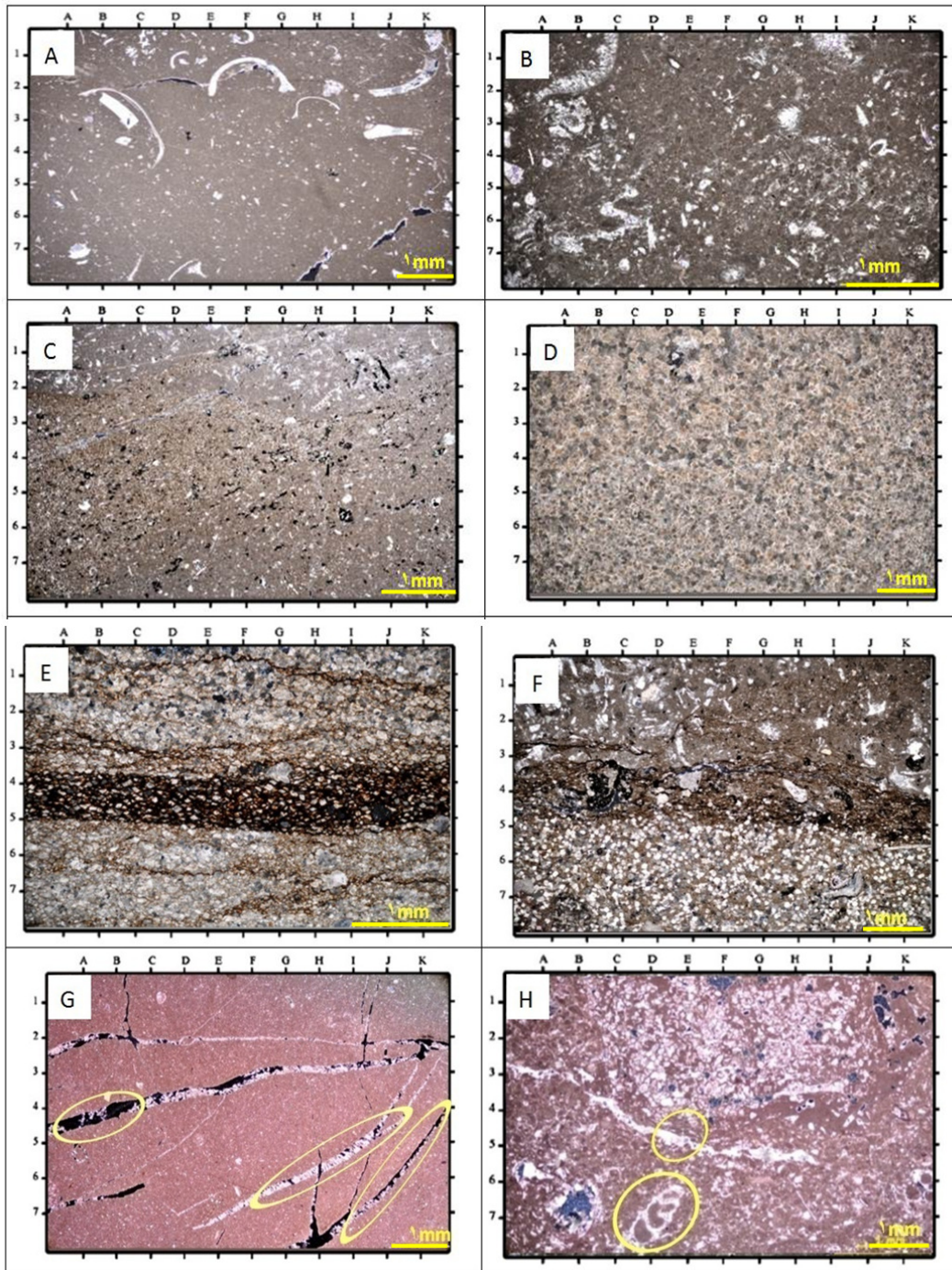
این فرایند در توالی مورد مطالعه، به صورت کلسیتی شدن بایوکلسیت‌های آراگونیتی و با خروج منیزیم در طی تبلور دوباره میکرایت به وجود می‌آید (شکل ۶-B) و تبدیل کلسیت‌های ریز بلور به درشت بلور (فلوگل، ۲۰۱۰) مشاهده می‌شود. این فرایند در اکثر رخساره‌های دارای گل‌آهکی (رخساره‌های تالاب) گسترش دارد (محسنی و همکاران، ۱۳۹۴).

۵-۲-۷- دولومیتی شدن

دولومیتی شدن در سازند، همراه پدیده استیلولیت و درزه‌های انحلالی مشاهده شده است. دولومیت‌ها تحت شرایط و موقعیت‌های فیزیکوشیمیایی مختلفی تشکیل می‌شوند (وارن، ۲۰۰۰). اگر چه بیش‌ترین حجم دولومیت‌های موجود در سازند فلهلیان به صورت جاننشینی اجزای سنگ کربناته اولیه اعم از آلومک‌ها و ماتریکس می‌باشد با این حال مواردی از تشکیل سیمان دولومیتی هم در این سازند مشاهده می‌شود و شامل دولومیت دانه‌شکری (شکل ۶-C و D) و دولومیت شکل‌دار منظم تا دولومیت نیمه‌منظم (شکل ۶-F و E) دیده می‌شود. برای مثال در نمونه‌های آهکی دانه‌افزون مثل گرینستون و پکستون، سیمان دولومیتی فضای بین آلومک‌ها را اشغال کرده است.

۵-۲-۸- شکستگی‌ها و رگه‌های پر شده

در ناحیه مورد مطالعه، این شکستگی‌ها بیش‌تر به وسیله بلورهای دولومیتی پر شده‌اند، در برخی موارد نیز، شکستگی‌ها به صورت پر نشده باقی مانده و سبب ایجاد تخلخل ثانویه (تخلخل حاصل از شکستگی) در این سنگ آهک‌ها شده‌اند (شکل ۶-G). تشکیل دولومیت‌ها در شکستگی‌های موجود در این بخش نشان می‌دهد که احتمالاً این فرایند در نتیجه گسترش شکستگی‌ها و نفوذ آب‌های جوی به داخل رسوبات به وقوع پیوسته است. شکستگی‌ها در ریزرخساره‌های دولومادستونی توالی مورد مطالعه مشاهده شده‌اند. در این مطالعه، رگه‌ها و شکستگی‌ها غالباً با سیمان پر شده و از میزان تخلخل و تراوایی کاسته شده است.



شکل ۶. فرایندهای دیاژنزی در سنگ مخزن سازند فهلیمان، چاه ارونند-۲، A- سنگ آهک با ریزرخساره و کستون تا پکستون اسکلتی انحلال آلومکها با تخلخل حفره‌ای و جایگزینی سیمان کلسیتی، B- پدیده نئومورفیزم در سنگ آهک پکستون اسکلتی پلیویدی، کلسیت‌شدگی آلومکها و شکاف‌های باز و حفره‌ای، C- پدیده دولومیتی شدن در دولومیت آهکی و کستون تا پکستون اسکلتی، D- دولومیت دانه‌شکری که باعث ایجاد تخلخل بین‌بلوری، E- دولومیت ثانویه و کستون تا پکستون آنکوئیددار دانه متوسط تا ریز به همراه دانه‌های پیریت در یک رخساره گلی، نفت بجای مانده هم دیده می‌شود، F- سنگ آهک با ریزرخساره پکستون تا گرینستون اسکلتی شامل اکتیوئید، جلبک و رودیست، دولومیتی شدن در استیلولیت‌ها و کلسیتی شدن آلومکها، G- سنگ آهک با ریزرخساره دولومادستون بایوکلسیتی محیط‌رسوبی بالای جزر و مدی شکستگی باز، نیمه پر و پر شده توسط کلسیت، انحلال در رخساره گلی با تخلخل شکستگی و حفره‌ای، H- دانه‌های پیریت در سنگ آهک داری استیلولیت شکستگی و رگچه‌ها.

۵-۲-۹- پیریتی شدن

اغلب در انواع سنگ‌های ریزدانه به ویژه در سنگ‌آهک دولومیتی رخ داده است (شکل ۷-D). تخلخل بین‌دانه‌ای در توالی مورد پژوهش، بیش‌تر در بین اجزاء آلوکم است و در مواردی توسط سیمان پر شده است (شکل ۷-F). این نوع تخلخل با توجه به محدود بودن فرایند دولومیتی شدن در رسوبات سازند فهلیان، بسیار کم است اما به دلیل اینکه باعث افزایش تراوایی و کیفیت مخزنی می‌گردد، دارای اهمیت می‌باشد.

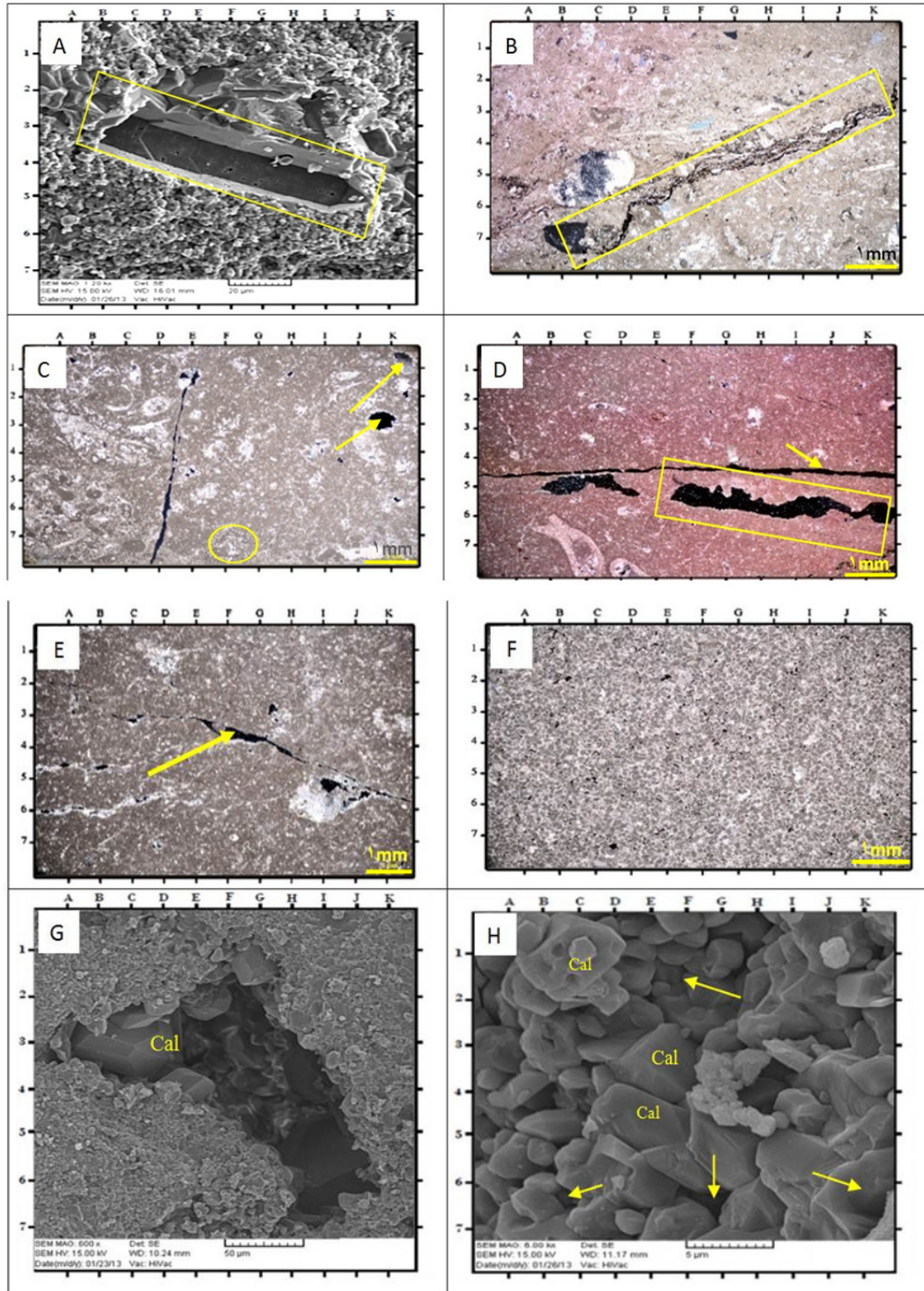
۵-۳- توالی پارائزی

پارائز، بیان زمان نسبی وقوع رویدادهای مختلف و در حقیقت بیان تقدم و تأخر آن‌ها است. زمان‌بندی تأثیر فرایندهای دیاژنزی در یک سیستم کربناته به عواملی همچون بافت، ترکیب رسوبات، ماهیت مایع درون منافذ و آب و هوا بستگی دارد (فلوگل، ۲۰۱۰). فرایندهای دیاژنتیکی در سه محیط دریایی، جوی و تدفینی، سازند فهلیان را تحت تأثیر قرار داده است (جدول ۱) که باعث افزایش و یا کاهش کیفیت مخزنی این سازند شده است. در محیط دیاژنتیکی دریایی، در نمونه‌های مورد بررسی از سازند فهلیان در ناحیه مورد مطالعه، فرایندهای دیاژنزی نظیر میکرایتی شدن کامل و ناقص آلوکم‌ها توسط جلبک‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌ها، آشفستگی زیستی، سیمان‌تکسیال باقی‌مانده در اطراف خرده‌های اکینودرم و بخش‌هایی از فرایند انحلال (تخلخل بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای) در محیط دیاژنتیکی دریایی تشکیل می‌شوند. این شواهد نشان می‌دهند که رسوبات آهکی ناحیه مورد مطالعه در اولین مرحله تحت تأثیر آب‌های دریایی قرار گرفته‌اند. این نوع دیاژنز همزمان با رسوب‌گذاری در کف دریا انجام می‌شود. شواهد خروج‌های طولانی مدت در سازند فهلیان وجود ندارد. نوع رخساره‌ها عمدتاً گلی و محیط رسوب‌گذاری عمدتاً تالاب است (شکل ۵-E و F)، بنابراین شواهد کافی برای تفسیر محیط دیاژنتیک جوی وجود ندارد. از شواهد دیاژنز تدفینی در نمونه‌های مورد مطالعه می‌توان به بخشی از فرایند انحلال (تخلخل استیلولیتی)، تراکم مکانیکی و شیمیایی (استیلولیت، رگچه‌های انحلالی و انحلال فشارشی در محل تماس دانه‌ها)، دولومیتی شدن، سیمان‌دروزی، سیلیسی شدن، پیریتی شدن اشاره نمود (شکل ۵-B و C).

یکی از فرایندهای دیاژنزی که تمام رخساره‌های این سازند را تحت تأثیر قرار داده است، پیریتی شدن است. پیریت معمولاً از احیای ماده آلی در محیط‌های دریایی عادی کم اکسیژن و آب‌های شیرین تشکیل می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). این پدیده بصورت تجمع بلورهای پیریت در افق‌هایی از سازند فهلیان در توالی مورد مطالعه و در راستای سطوح استیلولیت دیده می‌شود (شکل ۶-F, H, E). از آنجایی که پیریتی شدن بیش‌تر در استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی دیده می‌شود می‌توان چنین استنباط کرد که این پیریت حاصل فرایند دیاژنز تاخیری و دیاژنز تدفینی است.

۵-۲-۱۰- تخلخل

هدف اصلی در مطالعه این بخش، متمرکز بر روی انواع اصلی تخلخل است که می‌تواند در سازند فهلیان در محدوده مطالعاتی به عنوان مشاهدات ماکروسکوپی و میکروسکوپی از طریق مطالعه پتروگرافی متمرکز شود. فضای خالی ایجاد شده از انحلال دانه‌ها در تخلخل قالبی به طور کامل شباهت به دانه اولیه دارد (واردن و همکاران، ۲۰۰۳). این تخلخل‌ها از آنجایی که هیچگونه ارتباطی با هم ندارند در افزایش کیفیت مخزن نقشی ندارند (شکل ۷-A). تخلخل کانالی در نمونه‌های مورد مطالعه، به طور محدود دیده می‌شود و اغلب حاصل انحلال و بزرگ شدن شکستگی‌های قبلی یا در نتیجه اتصال جانبی فضاهای خالی به همدیگر ایجاد می‌شود (شکل ۷-B). اجزای اسکلتی یا بصورت محلول حل شده‌اند و یا کم و بیش در فواصل مورد مطالعه به سیمان تبدیل شده‌اند (شکل ۷-C و E). تخلخل حفره‌ای در نمونه‌های مورد مطالعه در نتیجه انحلال بیش‌تر حفره‌های بین‌دانه‌ای و بزرگ‌تر شدن این حفره‌ها حاصل شده است. اینگونه تخلخل‌ها به صورت حفراتی هم‌بعد، نامنظم و بزرگ در سنگ دیده می‌شود که به طور معمول به فابریک سنگ ارتباطی ندارند و بیش‌تر در اثر فرایند انحلال فضاهای خالی وابسته به فابریک سنگ ایجاد شده‌اند (فلوگل، ۲۰۱۰). این نوع تخلخل رایج‌ترین و قابل توجه‌ترین و مثبت‌ترین نوع تخلخل در بسیاری از فواصل مطالعه شده است (شکل ۷-G و H). تخلخل شکستگی در برخی فواصل مورد مطالعه، مشاهده شد و به نظر می‌رسد



شکل ۷. تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ پلاریزان و میکروسکوپ الکترونی از انواع مختلف تخلخل موجود در سنگ مخزن چاه ارونند-۲، A- تخلخل قالبی در سنگ آهک متراکم توسط میکروسکوپ الکترونی، B- تخلخل کانالی در سنگ آهک در حال دولومیتی شدن در طول انحلال و وجود سیمان سین‌تکسیال، C- تخلخل حفره‌ای و درون‌دانه‌ای در سنگ آهک با جلبک فراوان که در آن شکستگی باز انحلال و کلسیتی شدن، D- تخلخل حفره‌ای استروماتاکتیس (کف صاف و سقف نامنظم) در سنگ آهک با شکستگی و فرایند کلسیتی شدن دانه‌ها، E- تخلخل حفره‌ای و شکستگی در سنگ آهک به همراه سیمان‌شدگی و انحلال و شکستگی‌های باز تا نیمه پر، F- تخلخل در سنگ آهک با دانه‌های پلویید فراوان و سیمان کلسیتی که بین ذرات را اشغال کرده است، G- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سنگ آهک متخلخل با دانه‌های پلویید ریز تا متوسط، دارای تخلخل کم و اندازه حفرات بیش‌تر از ۵۰ میکرون، H- تصویر میکروسکوپ الکترونی تخلخل حفره‌ای و بین‌دانه‌ای، اندازه حفرات کمتر از ۵ میکرون.

جدول ۱. پارائز رویدادهای دیاژنتیکی مؤثر بر سنگ‌های کربناته سازند فهلیان در میدان اروند

فرایندهای دیاژنتی	محیط دیاژنتی		
	دیاژنز دریایی	دیاژنز متوریک	دیاژنز دفنی
میکریتی شدن	██████████		
سیمان هم بعد	██████████		
پیریتی شدن	██████████	██████████	██████████
نئومورفیسم	██████████		
سیمان سین تکسیال	██████████	██████████	
انحلال	██████████	██████████	██████████
دولومیتی شدن	██████████		
فشردگی	██████████		
استیلولیت	██████████		
سیمان فراگیر	██████████		
رگچه های انحلالی	██████████		

تراکم مکانیکی که در طی ته‌نشست و یا پس از آن عمل می‌کند. سیمان با پر کردن فضاها می‌تواند باعث کاهش تخلخل شود. تخلخل‌های اولیه به صورت بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای، اکثراً بر اثر دیاژنز تدفینی و یا سیمان‌شدگی (دولومیتی) از بین رفته‌اند (شکل B۵). فرایند میکرایتی شدن به حفظ شکل دانه‌ها به دنبال انحلال احتمالی آن‌ها در طی دیاژنز جوی کمک می‌کند. شکستگی‌های موجود سازند، به علت فراوانی اندک و پرشدگی اغلب آن‌ها با سیمان‌های مراحل انتهایی دیاژنز به نظر می‌رسد که نتوانسته‌اند تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت سنگ مخزن داشته باشند (شکل G6). مخازن گروه خامی سهم ناچیزی در مجموع کل نفت در جای شناخته شده ایران دارند (آقانباتی، ۱۳۹۲).

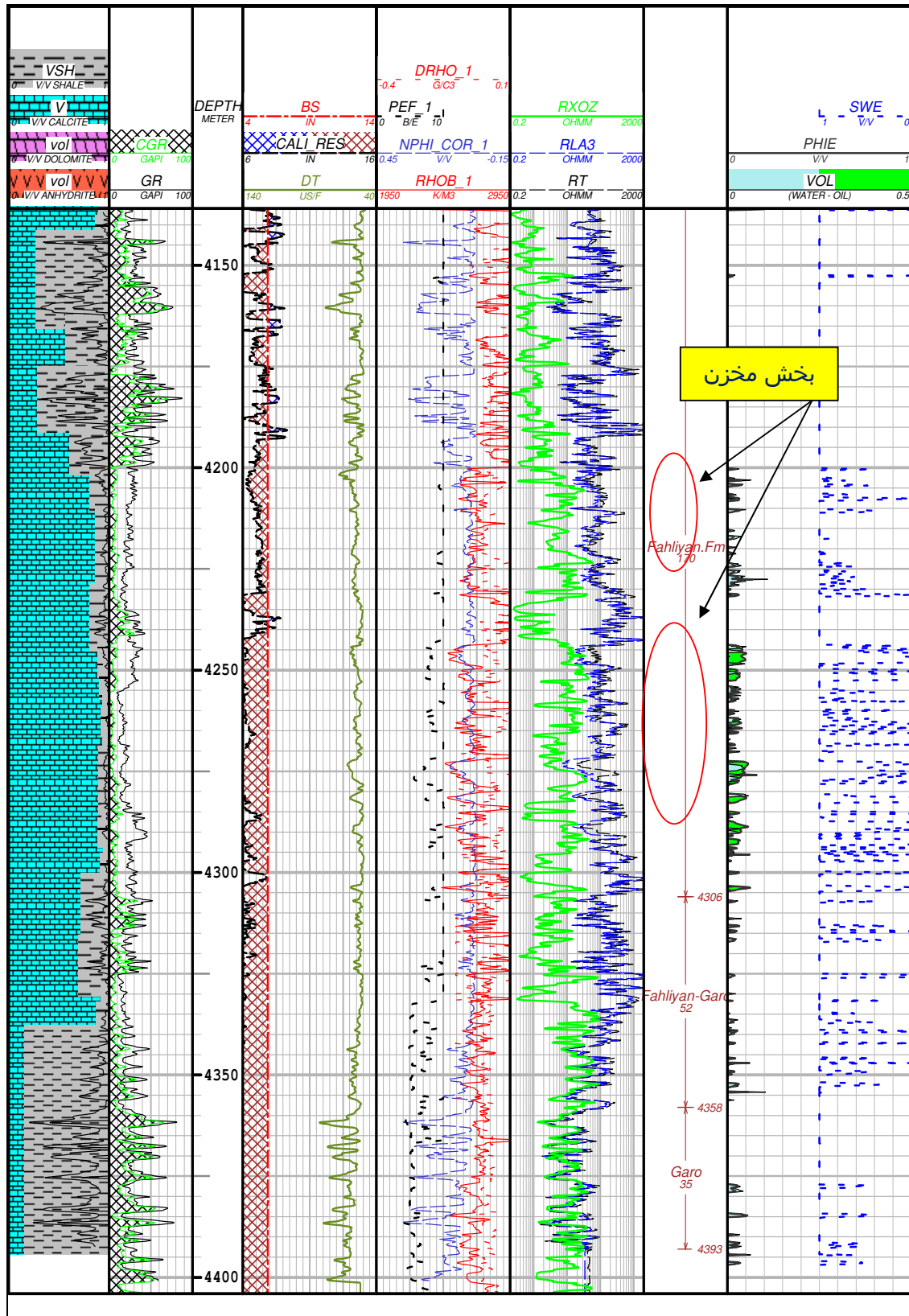
۵-۵- ارزیابی پتروفیزیکی کیفیت مخزن

مطالعه و تعبیر و تفسیر داده‌های نگارهای چاه‌پیمایی سازند فهلیان، نشان می‌دهد که سازند فهلیان عمدتاً متشکل از رخساره آهکی می‌باشد (شکل ۸). این رخساره آهکی شامل میان لایه‌هایی از رخساره شیلی همراه می‌باشد. همانطور که مقادیر تخلخل محاسبه شده با استفاده از نمودارهای تخلخلی صوتی چگالی نوترون نشان می‌دهد بخش‌های بالایی و میانی سازند فهلیان فاقد پتانسیل هیدروکربوری بوده و عمدتاً متراکم می‌باشد.

پیریت معمولاً در اثر احیای باکتریایی سولفات در محیط دریایی بوجود می‌آید. تامین سولفات از جانب آب دریاست و آهن هم از احیای ذرات آذرآواری فریک تامین می‌شود (گیر و همکاران، ۲۰۰۸). هم‌چنین در بعضی از موارد بویژه جایی که تشکیل دولومیت‌ها در کنار استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی صورت پذیرفته است، آثار بیتومن دیده می‌شود که این امر بیانگر عملکرد استیلولیت‌ها بصورت کانال‌های عبوری سیال در این نواحی می‌باشد (شکل E-۶ و F).

۵-۴- تأثیر دیاژنز بر تخلخل و تراوایی

مجموعه شواهد بدست آمده از بررسی سازند فهلیان نشان می‌دهد که عوامل متعددی در افزایش یا کاهش تخلخل نقش دارند و در این میان از مهم‌ترین آن‌ها به فرایندهای دیاژنتی باید اشاره کرد. مهم‌ترین ویژگی یک نفت‌گیر داشتن تخلخل و نفوذپذیری است؛ زیرا خلل، شکستگی‌ها و معابر سنگ عامل مؤثر در ذخیره‌سازی مخزن می‌باشد (لوسیا، ۲۰۰۷). عوامل افزایش‌دهنده تخلخل شامل انحلال، دولومیتی شدن است. انحلال مهم‌ترین عامل افزایش تخلخل و تراوایی در توالی مورد مطالعه می‌باشد (شکل D-۵ و D-۷) که سبب تشکیل تخلخل‌های انحلالی و قالبی شده است. مهم‌ترین عوامل کاهنده تخلخل در این مطالعه سیمانی شدن، تراکم مکانیکی و شیمیایی است (ده‌کار و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۸. نمودار ارزیابی پتروفیزیکی فواصل عمقی رخساره آهکی سازند فهلیان در چاه مورد مطالعه با میان لایه‌هایی از شیل که دارای دو لایه با پتانسیل مخزنی می‌باشد و مابقی سازند فهلیان در میدان ارونند فاقد پتانسیل مخزنی است.

گرفته شده است. در مطالعات ارزیابی پتروفیزیکی بر روی میدان مورد مطالعه مشخص شد که جنس سنگ مخزن سازند فهلیان از سنگ‌آهک (کلسیت و دولومیت) و مقادیر کمی شیل می‌باشد. مقدار تخلخل محاسبه شده با استفاده از نمودارهای تخلخلی صوتی چگالی نوترون نشان می‌دهد بخش‌های بالایی و میانی سازند فهلیان فاقد پتانسیل هیدروکربوری بوده و عمدتاً متراکم می‌باشد. سازند فهلیان بر اساس ارزیابی پتروفیزیکی به دو لایه با پتانسیل مخزنی تقسیم کرد: لایه نخست با ارتفاع ۳۲ متر (عمق ۴۲۰۰ تا ۴۲۳۲ متر)، بیش‌تر آهک با تخلخل ۳ تا ۵ درصد و میزان حجم شیل کمتر از ۵ درصد و اشباع آب ۲۰ تا ۴۰ درصد دارد. سیال موجود آب و نفت بوده که میزان اشباع آب بالا می‌باشد. لایه دوم مخزنی، با ارتفاع ۴۹/۵ متر (عمق ۴۲۹۳ تا ۴۲۴۳/۵ متر)، عمدتاً آهک با تخلخل ۳ تا ۸ درصد و مقادیری شیل (حجم کمتر از ۲ درصد) و اشباع آب ۱۰ تا ۴۰ درصد دارد. نتایج آزمایشات چاه‌پیمایی نشان داد که لایه‌های مخزنی در این فاصله عمقی، دارای آب، نفت و گاز می‌باشد. با توجه به میزان تخلخل، حجم شیل و درصد اشباع محاسبه شده، در سازند مورد مطالعه این فاصله عمقی دارای کیفیت مخزنی نسبتاً مناسبی می‌باشد.

۷- سپاسگزاری

نویسندگان از حوزه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان و معاونت فنی و مطالعات زمین‌شناسی شرکت نفت اروندان برای فراهم کردن امکانات مالی و معنوی پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌کنند. هم‌چنین، از داوران فرهیخته که پیشنهادهای ارزشمند آنان سبب ارتقای سطح علمی مقاله شد سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اسفندیاری، م (۱۳۹۲) بررسی محیط‌رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی و دیاژنز سازند فهلیان در میدان نفتی یادآوران، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا، ۱۳۱ ص.
آزادشهرکی، ل، رحیم‌پوربناب، ح، رنجبران، م (۱۳۹۶) محیط رسوبی، دیاژنز و چینه‌نگاری سکانسی سازند فهلیان در چاه B میدان نفتی کیلورکریم، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۱۰، ص ۶۴-۸۰.

سازند فهلیان را بر اساس خواص پتروفیزیکی (جنس سنگ مخزن، تخلخل، حجم شیل و اشباع آب) و بررسی نمودارها می‌توان به دو لایه با پتانسیل مخزنی تقسیم کرد. فاصله عمقی ۴۲۰۰ تا ۴۲۳۲ از سازند مورد پژوهش، عمدتاً آهک نسبتاً متخلخل با تخلخل ۳ تا ۵ درصد و مقادیری شیل (میزان حجم شیل کمتر از ۵ درصد) و اشباع آب ۲۰ تا ۴۰ درصد دارد. تست‌های مخزنی انجام شده در این فاصله عمقی، نشان داده است که سیال موجود آب، نفت بوده که میزان آب (درصد اشباع آب) بالا می‌باشد. فاصله عمقی ۴۲۴۳/۵ تا ۴۲۹۳ سازند فهلیان عمدتاً آهک متخلخل با تخلخل ۳ تا ۸ درصد و مقادیری شیل (کمتر از ۲ درصد) و اشباع آب ۱۰ تا ۴۰ درصد دارد. نتایج حاصل از آزمایش چاه در این فاصله عمقی نیز دارای آب، نفت و گاز می‌باشد. با توجه به میزان اشباع آب بالا این فاصله عمقی فاقد پتانسیل مخزنی است. با توجه به میزان تخلخل، حجم شیل و درصد اشباع محاسبه شده، در سازند مورد مطالعه این فاصله عمقی دارای کیفیت مخزنی نسبتاً مناسبی می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

با هدف بررسی فرایندهای دیاژنزی سازند فهلیان در میدان اروند، مقاطع میکروسکوپی و داده‌های چاه‌پیمایی به دقت مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه برش‌های نازک نشان داد که از نظر کمی، فرآیندهای دیاژنزی به ترتیب، سیمانی شدن (کلسیتی)، فشردگی شیمیایی و مکانیکی، دولومیتی شدن، انحلال، شکستگی و پیریتی شدن، از جمله فرآیندهایی هستند که مخزن فهلیان میدان اروند را تحت تاثیر قرار داده‌اند. از نظر کیفی بیش‌تر تخلخل و حفرات ایجاد شده توسط فرآیندهای دیاژنزی مانند شکستگی و انحلال همگی بخاطر تاثیر سیالات اشباع از کلسیت پر شده و از بین رفته‌اند و برآیند عملکرد این فرآیندها به گونه‌ای است که تاثیر مثبتی بر کیفیت مخزنی نداشته است. عملکرد تراکم بیش‌تر به صورت تراکم شیمیایی مانند استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی مشاهده شد که در کاهش تخلخل سازندهای مورد مطالعه نقش داشته‌اند. به دلیل پر هزینه بودن عملیات مغزه‌گیری، تنها قسمت‌هایی از سازند که از نظر کیفیت مخزنی مناسب و یا مشکوک به آغشتگی نفتی بوده، مغزه

- دیاژنتیکی سازند آسماری در یال جنوبی طاق‌دیس میش، شمال گچساران، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ششم، شماره ۲۴، ص ۱۶.
- موسوی‌حرمی، س. ر.، آرین، م.، رحمانی، م (۱۳۹۵) تأثیر دیاژنز بر کیفیت مخزنی سازند داریان در میدان پارس جنوبی، مجله علوم‌زمین، شماره ۱۰، ص ۱۶۵-۱۷۸.
- نوری، ح.، رحیم‌پوربناب، ح.، زمانی‌نژاد، ا (۱۳۹۷) کنترل محیط‌رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر ویژگی‌های پتروفیزیکی سازند فهلیان، ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۵.
- Adabi, M. H., Salehi, M. A., & Ghabeishavi, A (2010) *Depositional environment, sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), south-west Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 39: 148-160.*
- Dehkar, A., et al (2018) *Microfacies analysis and depositional environment of the Fahliyan Formation (Lower Cretaceous), Abadan plain, West South of Iran (Arvand-field) GEOSCIENCES. 106: 45-52.*
- Bathurst, R. G. C (1975) *Carbonate sediments and their Diagenesis with increasing importance further along.: Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 658 p: See p. 459-473.*
- Choquette, P. W. and L. C. Pray (1970) *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates: AAPG Bull. 54: 207-250.*
- Coleman M., Raiswell R (1995) *Source of carbonate and origin of zonation carbonate concretions in dynamic pyritiferous: evaluation of a model. American Journal of Science, 295: 282-308.*
- El-saiy, A. K. & Jordan, B. R (2007) *Diagenetic aspects of Tertiary carbonates west of the northern Oman mountains, United Arab Emirates, Journal of Asian Earth Sciences, 31: 43-53.*
- Golestaneh, A (1965) *Micropaleontology study of Khami Group and the Jurassic-Cretaceous in Fars Province (southern Iran). Bulletin de Bureau de Recherches Geologiques et Minières, 3: 165-179.*
- Kamali, M. R., Abolghasemi, A., Bagheri, R., & Kadkhodayi, A (2013) *Petroleum geochemistry and oil-oil correlation of the Fahliyan and Surmeh reservoirs in the Garangan and Chilingar oilfields, the Dezful embayment (Sw Iran). Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 3: 85-92.*
- Kheradpir, A (1975) *Stratigraphy of Khami Group in southwest Iran. National Iranian Oil Company, No. 1235 (unpublished).*
- Kobraei, M, Rabbani, A R, Taati, F (2017) *Source rock characteristics of the Early Cretaceous*
- آقابات‌ی، س. ع (۱۳۹۲) زمین‌شناسی ایران و کشورهای همجوار، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۱۰ ص.
- خسروتهرانی، خ (۱۳۸۶) رخساره‌های میکروسکوپی (جلد اول)، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۹۸ ص.
- ده‌کار، ع (۱۳۹۷) سنگ‌شناسی رسوبی و دیاژنز سازند فهلیان با تأکید بر تاثیر کانی‌های رسی بر کیفیت مخزنی در میدان نفتی اروند، پایان‌نامه دکترا، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد زاهدان.
- رحیم‌پوربناب، ح.، سلمانی، ع.، رنجبران، م.، آل‌علی، م (۱۳۹۷) تاثیر محیط‌رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان قلعه‌نار، فروافتادگی درفول، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۱۱، ص ۱۵-۳۴.
- شلالوند، م.، آدابی، م.، ح.، زهدی، ا (۱۳۹۸) سنگ‌نگاری، زمین‌شناسی و دولومیتی شدن سازند تله‌زنگ (پالیوسن پسین-اوسن پیشین) در جنوب و جنوب باختر کرمانشاه، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۳، ص ۱۴۹-۱۶۶.
- فرامرزی، س.، رحیم‌پوربناب، ح.، رنجبران، م (۱۳۹۷) بررسی توزیع واحدهای جریان سازند سروک در چارچوب چین‌نگاری سکانسی، مطالعه موردی در یکی از میدانی نفتی ناحیه دشت آبادان، جنوب‌غرب ایران، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۱۲، ص ۲۵ تا ۳۹.
- فیض‌نیا، س.، فهیمی، ع.، یآوری، م (۱۳۸۹) بررسی محیط رسوبی و چین‌نگاری سکانسی سازند فهلیان در میدان‌های نفتی اهواز و آب‌تیمور، پژوهش‌های دانش‌زمین، ص ۷۴-۵۵.
- لاسمی، ی.، فیضی، م (۱۳۸۵) رخساره‌های پلاتفرمی تا دور از پلاتفرم در سازند فهلیان، گواهایی بر پدید آمدن حوضه ژرف بین شلفی در جنوب‌باختر ایران، بیست و پنجمین گردهمایی علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۴۲ ص.
- محسنی، ح (۱۳۹۲) ریزرخساره‌های بخش بالایی گروه خامی در میدان نفتی اهواز هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۲۳۴.
- محسنی، ح.، اسفندیاری، م.، کاوسی، م. ع (۱۳۹۴) فرآیندهای دیاژنزی و چین‌نگاری سکانسی سازند فهلیان در میدان نفتی یادآوران (کوشک و حسینیه) در فروافتادگی دزفول شمالی، نشریه رخساره‌های رسوبی، شماره ۸ (۲)، ص ۲۵۵-۲۳۶.
- مرادی، ف.، صادقی، ع.، امیری‌بختیار، ح.، الله‌کرم‌پور، م (۱۳۹۱) ریزرخساره‌ها، محیط‌رسوبی و فرایندهای

- dominated succession: the Lower Jurassic Cleveland Ironstone Formation, eastern England. *Sedimentary Geology*, 131: 77-86.
- Tucker, M. E (2001) *Sedimentary Petrology*: Oxford, Blackwell, 262 p.
- Warren, W. J (2000) Dolomite: Occurrence, evolution and economically important association. *Earth Science Review*, 52: 1-18.
- Wilson, J. L (1975) Carbonates facies in geologic history. Springer-Verlag, Berlin, 471 pp.
- Wilson, M. E. J. and M. J. Evans (2002) Sedimentology and diagenesis of Tertiary carbonates on the Mangkalihat Peninsula, Borneo: Implication for subsurface reservoir quality. *Marine and Petroleum Geology*, 19: 873-900.
- Worden, R. H. and Burley, S. D (2003) Sandstone diagenesis the evolution of sand to stone, in: Burley, S. D and Worden, R.H, eds, *Sandstone Diagenesis: Recent and Ancient: reprint series*, International Association of Sedimentologists, 4: 3-46.
- Zeinalzadeh, A., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A (2018) Investigation of Hydrocarbon Generation Process for Kazhdumi Source Rock in Kitchen Area of Darquain Oil Field in the Abadan Plain, *Journal of Petroleum Research*, 28(99): 18-21.
- Garau and Gadvan formations in the western Zagros Basin—southwest Iran, *Journal of Petrol Explor Prod Technol*, 7: 1051–1070.
- Flugel, E (2010) *Microfacies of carbonate rocks, analysis interpretation and application*, Springer-Verlage, Berlin, Heidelberg. 984 pp.
- G Yuçel-Gier et al (2008) Effects of fish farming on nutrients and plankton communities *Aquaculture Research*, 39: 181- 194.
- M., et al (2011) Facies characteristic and paleoenvironmental reconstruction of the Fahliyan Formation, Lower Cretaceous, in the Kuh-e-Siah area, Zagros Basin, southern Iran. *Facies*, 57: 101-122.
- James, G. A. & Wynd, J. G (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 49 (12): 2182-2245.
- Lucia. F. J (2007) *Carbonate Reservoir Characterization*, 2nd Edition, Springer Publications, p: 336.
- Longman, M. W (1980) Carbonate diagenetic textures from near surface diagenetic environments. *American Association of Petroleum Geology Bulletin*, 64: 461-487.
- Rickard, D (1997) Kinetics of pyrite formation by the H₂S oxidation of iron (II) 1250c: monosulfide in aqueous solutions between 25 and the rate equation. *Geochemical and Cosmochimica Acta*, 61: 115-134.
- Machel, H, G (2005) Investigations of burial diagenesis in carbonate hydrocarbon reservoir rocks: *Geoscience Canada*.
- Moore, C. H (2001) *Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework*, *Developments in Sedimentology* 55, Elsevier, 444 P.
- Noori, H., Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Faghil, A (2019) Tectono-Sedimentary Controls On Lower Cretaceous Carbonate Platforms Of The Central Zagros, Iran: An Example Of Rift-Basin Carbonate Systems *Marine And Petroleum Geology*, 110: 91–111.
- Sajjadian, V. A., Zeinalzadeh, A., Moussavi-Harami, R. and Mahboubi, A (2015) Basin of Petroleum System Modeling of The Cretaceous of Jurassic Source Rocks of The Gas of Oil Reservoirs In Darquain Field, South West Iran, *Journal of Natural Gas Science of Engineering*, 26: 419-426.
- Schmid, S., Worden, R. H. and Fisher, Q. J (2004) Diagenesis and reservoir quality of the Sherwood Sandstone (Triassic), Corrib Field, Slyne Basin, west of Ireland *Marine and Petroleum Geology*, 21: 299-315.
- Taylor, K. G., Macquaker, J. H. S (2000) Early diagenetic pyrite morphology in a mudstone-