

تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند فهلیان در میدان‌های نفتی کوشک و حسینه (فروافتادگی دزفول)

موسی اسفندیاری*، حسن محسنی، دانشگاه بوعلی‌سینای همدان • محمدعلی کاووسی، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت

چکیده

سازند فهلیان با سن نیوکومین-بارمین بخشی از گروه خامی است که از مخازن مهم هیدروکربنی در جنوب باختر ایران می‌باشد. بر پایه مطالعه پتروگرافی برش‌های نازک تهیه شده از تراشه‌های حفاری چاه‌های کوشک-۱ و حسینه-۳ واقع در فروافتادگی دزفول، گروه‌های رخساره‌ای سازند فهلیان در قالب چهار کمربند رخساره‌ای دریای باز، حاشیه شلف/سد، لاگون و پهنه کشندی، در این سازند شناسایی و تفکیک شده است. هدف این مطالعه بررسی فرایندهای دیاژنزی و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند فهلیان است. بررسی رویدادهای دیاژنزی نشان داد که سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن، نوریختی، میکرایتی شدن، زیست‌آشفستگی، انحلال فشاری و تراکم، رایج‌ترین فرایندهای دیاژنزی موثر بر سازند فهلیان در میدان یادآوران می‌باشند. از میان فرایندهای یاد شده، سیمانی شدن و تراکم فیزیکی باعث از بین رفتن تخلخل، و انحلال و دولومیتی شدن 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 انحلال، باعث ایجاد سدهای تراوایی شده است. در برش‌های نازک مطالعه شده، تخلخل‌های مشاهده شده از نوع قالبی، حفره‌ای بین‌دانه‌ای و شکستگی است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۴/۰۳/۳۱

تاریخ ارسال به داور: ۹۴/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۳/۱۱

واژگان کلیدی:

فروافتادگی دزفول، سازند فهلیان، میدان‌های نفتی کوشک و حسینه، دیاژنزی، کیفیت مخزنی

مقدمه

نفتی ایران است که در ۷۰ کیلومتری جنوب‌غربی اهواز و شمال خرمشهر در منطقه کوشک-حسینه واقع است. این میدان از دو میدان (تاق‌دیس) کوشک و حسینه تشکیل شده است (شکل-۱). بر پایه ارزیابی‌های پتروفیزیکی و همچنین آزمایش ساق‌مته و بهره‌دهی از سازندهای گورپی (تاریور)، ایلام، سروک، داریان، گدوان، فهلیان، نجمه و سرگلو در این میدان، تنها سازندهای سروک، گدوان و فهلیان دارای پتانسیل مخزنی بوده و سایر سازندها توان هیدروکربنی نداشته و یا آب‌خیز هستند. در این پژوهش، سازند فهلیان در میدان‌های نفتی کوشک و حسینه واقع در فروافتادگی دزفول شمالی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش مطالعه

پژوهش حاصل بر پایه مطالعه میکروسکوپی دقیق ۶۷۰ برش نازک تهیه شده از تراشه‌های حفاری چاه‌های کوشک-۱ و حسینه-۳ سازند فهلیان انجام شده است. مطالعه سنگ‌شناسی به‌منظور شناسایی ریزرخساره‌ها و فرایندهای گوناگون دیاژنزی صورت گرفت. نامگذاری ریزرخساره‌های کربناته بر پایه طبقه‌بندی دانهام [۱۲] و لیتوفاسیس‌های غیرکربناته بر پایه طبقه‌بندی فولک [۱۳] صورت گرفت. برای شناسایی و تفکیک رخساره‌ها از ریزرخساره‌های

کیفیت مخزنی در سنگ‌های رسوبی با دو عامل اصلی دیاژنزی و شرایط محیطی کنترل می‌شود. با توجه به اینکه بیش از ۵۰ درصد هیدروکربن‌های جهان و بیش از ۶۵ درصد هیدروکربن‌های خاورمیانه در مخازن کربناته قرار دارند، بررسی اینگونه مخازن و تعیین گسترش آنها در بهره‌برداری اقتصادی درخور توجه است. در بسیاری موارد به خاطر حساسیت سنگ‌های کربناته به فرایندهای دیاژنزی، پراکندگی تخلخل-تراوایی به‌میزان زیادی می‌تواند تغییر کند [۴]. به‌علاوه، دیاژنزی، فاکتور اصلی کنترل‌کننده کیفیت مخزنی بسیاری از مخازن کربناته است [۵]. مقالات و نوشته‌های گوناگونی در دهه‌های اخیر درباره سازند فهلیان در زمینه‌های بایواستراتیگرافی، رسوب‌شناسی، چینه‌نگاری سکانسی، ژئوشیمی نفت و تکتونیک [۶ تا ۱۰] نوشته شده است. در این پژوهش نخست فرایندهای دیاژنزی مورد بررسی قرار گرفته و سپس به نقش این فرایندها در کیفیت مخزنی پرداخته می‌شود.

۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

حوضه زاگرس در شمال-شمال‌خاوری صفحه عربی واقع شده و دارای ۱۴-۷ کیلومتر توالی رسوبی است. این حوضه بخشی از ابرقاره گندوانا در دوران پالئوزویک و حاشیه غیرفعال در موزوویک بوده است [۱۱]. میدان یادآوران یکی از میدان‌های

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (moosaesfandyari@gmail.com)

استاندارد فلوگل [۱۴] استفاده گردید.

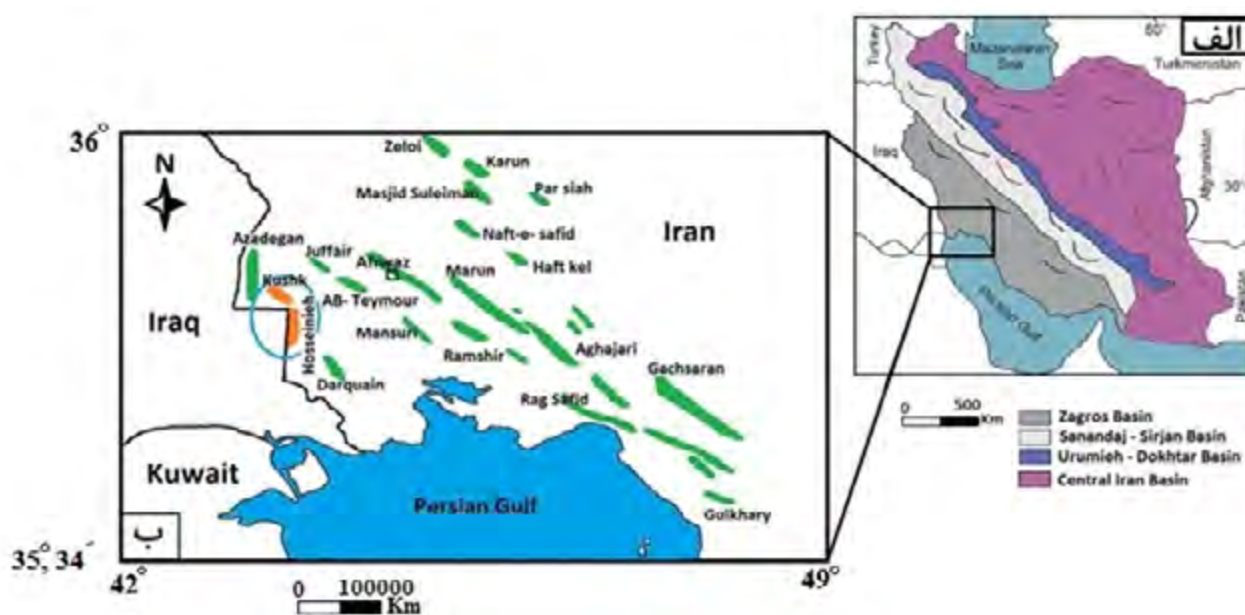
۳-رخساره‌ها و محیط رسوبی

ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی ریزرخساره‌های سازند فهلیان در میدان مورد پژوهش در چهار زیرمحیط (پهنه کشندی، تالاب پشت سد، سد و دریای باز/پلاتفرم باز) ته‌نشین شده‌اند که در ادامه به آن پرداخته شده است. گروه رخساره‌ای پهنه کشندی دربردارنده لیتوفاسیس‌های کوارتزآرنایت و شیل و ریزرخساره گرینستون اینتراکلاستی و پلوییدی، مادستون کوارتزدار، دولومادستون، مادستون می‌باشد. نبود بایوکلست، میکرایتی بودن زمینه، وجود دولومیت‌های ریزبلور به همراه دانه‌های کوارتز منشأ گرفته از خشکی بیانگر چیرگی زیرمحیط پهنه کشندی است. پلوییدهای میکرایتی و اینتراکلاستی‌های تا حدودی گرد شده نشانگر آن است که جابه‌جایی پیوسته به کمک جریان‌ها صورت گرفته است. محدودیت‌های محیطی، به‌ویژه نوسانات شوری آب، خروج متناوب محیط از آب و شدت نور سبب تنوع خیلی کم گونه‌های جانداران در این محیط است. در دسته‌بندی شلف‌های کربناته توسط ویلسون [۱۵] پهنه‌های کشندی بخشی از شلف درونی در نظر گرفته شده است. این گروه ریزرخساره‌ای در بخش‌های بالایی و میانی سازند فهلیان دیده شدند. ریزرخساره‌های زیرمحیط تالاب پشت سد، و کستون تا پکستون بایوکلست پلوییددار، و کستون تا پکستون با فرامینفر و پلویید، و کستون بایوکلست-میلویید، باندستون مرجانی، و کستون تا پکستون پلوییدی، و کستون تا پکستون آنکویدی، و کستون سرپولیدی و مادستون بایوکلستی می‌باشد.

در محیط تالاب، انرژی آب، کم تا متوسط است و بایوکلست‌ها به کمک جریان جابه‌جا می‌شوند. از سنگواره‌های شناسایی شده در این زیر محیط می‌توان گونه‌های مختلف جلبک‌های آهکی مانند داسی کلادآسه، سالپینوپورلا، هالمیدا، اکتینوپورلا و آکسی کولاریا، فرامینفرهایی مانند تکستولاریا، میلویید، تروکولینا و لتیکولینا را نام برد. این ریزرخساره بیشتر در قسمت‌های میانی سازند فهلیان گسترش یافته و هم‌ارز ریزرخساره‌های معرفی شده محیط رسوبی شلف میانی فلوگل [۱۴] است.

گروه رخساره‌ای زیرمحیط سد دربردارنده گرینستون اینتراکلاستی پلوییددار، پکستون تا گرینستون اینتراکلاستی اییددار، لیتوکودیوم باندستون و پکستون بایوکلستی می‌باشد. این گروه رخساره‌ای از ستبرای چندانی برخوردار نیست. این ریزرخساره‌ها نشان‌دهنده انرژی متوسط تا بالاست. سیمای زیستی (پیدایش هم‌زمان فرامینفرهای تالاب مانند میلویید، لتیکولینا و تکستولاریا) و ساختارهای رسوبی (خردشدگی زیاد و بافت‌های پکستون-گرینستونی) یک محیط فعال هیدرودینامیکی با جابه‌جایی دایم به کمک جریان‌ها را پیشنهاد می‌کند. این گروه رخساره‌ای هم‌ارز ریزرخساره‌های معرفی شده بخش سدی فلوگل [۱۴] است و در دسته‌بندی شلف‌های کربناته توسط ویلسون [۱۵] هم‌ارز ریزرخساره کمر بند رخساره‌ای شماره ۵- و ۶ بوده و به بخش سد نسبت داده می‌شود.

گروه رخساره‌ای زیرمحیط دریای باز شامل ریزرخساره‌های برشی شده و کربنات‌های دوباره نهشته شده با ماهیتی شکسته و خرد شده است. این ریزرخساره از اینتراکلاست، بایوکلست و دانه‌های کوارتز در خمیره‌ای از میکرایت تشکیل شده است.



الف: نقشه زون‌های ساختاری ایران، ب: نقشه منطقه مورد مطالعه



شدن و یا کاهش اندازه تخلخل‌ها به‌ویژه تخلخل حفره‌ای شده است.

میکرایتی شدن فرآیندی است که در پی حفاری موجودات میکروسکوپی و تخریب زیستی، پوشش‌های میکرایتی بر روی دانه‌های کربناته اسکلتی و غیراسکلتی تشکیل می‌شود. میکرایتی شدن در ریزرخساره‌های دانه پشتیبان سازند فهلیان به‌ویژه گرینستون تا پکستون بیوکلاستی-پلوییدی به‌دلیل چیرگی شرایط آرام در محیط رسوبی تالابی گسترش بیشتری یافته است (شکل ۲-۵). این پدیده باعث کاهش تراوایی توسط پر و یا کوچک کردن خلل و گلوگاه آنها می‌شود.

سیمان حاشیه‌ای هم‌ستبراً به‌صورت لایه‌ای از بلورهای هم‌قد و کشیده در اطراف دانه‌های کربناته تشکیل می‌شود (شکل ۲-۵). پهنای آنها بیشتر از ۱۰ میکرون و درازای ۱۰۰-۲۰ میکرون دارند و معمولاً به‌صورت هم‌ستبراً در حاشیه دانه‌ها رشد می‌کنند. جنس آن از کلسیت پر منیزیم بوده و از رایج‌ترین سیمان‌های فریاتیکی دریایی می‌باشند و گاهی در محیط دیاژنزی وایدوز دریایی نیز تشکیل می‌شوند [۱۳]. این سیمان در رخساره‌های دانه پشتیبان گرینستونی مرتبط با پشته‌های زیر آبی به‌ویژه بخش‌های رو به دریا و مرکزی آنها از گسترش زیادی برخوردار است. رشد این سیمان منجر به کاهش تراوایی در پی کاهش اندازه گلوگاه‌ها و یا بسته شدن گلوگاه‌ها شده است.

سیمان کلسیتی دروزی در سازند مورد مطالعه در رخساره‌های گرینستونی گسترش زیادی داشته و تخلخل‌های حاصل از انحلال را از بین برده است (شکل ۳-الف). همچنین باعث کاهش تخلخل اولیه بین‌دانه‌ای شده است.

سیمان فراگیرنده در سازند مورد مطالعه بیشتر در رخساره‌های گرینستونی پهنه کشندی، تالابی و سدی مشاهده گردید که باعث کاهش تراوایی در سازند فهلیان شده است. (شکل ۳-ب) تراکم مکانیکی و شیمیایی (انحلال فشاری) در اثر افزایش فشار روباره و تنش‌های تکنونیککی صورت می‌گیرند و موجب تشدید سطوح لایه‌بندی و کاهش کیفیت مخزنی در سنگ‌های آهکی طی فرایند دیاژنزی دفنی می‌گردند. تراکم شیمیایی منجر به پدید آمدن استیلولیت، درزه‌های انحلالی و سطوح مضرس (بافت درهم) در بین دانه‌ها در این سازند گردیده (شکل ۳-ج، د، ه). و گاهی با شکستگی همراه می‌باشد.

دولومیتی شدن در توالی پهنه‌های کشندی و تالابی در سازند فهلیان رخ داده است (شکل ۳-و). این پدیده موجب افزایش تراوایی شده زیرا در پاره‌ای از رخساره‌ها مانند پلویید گرینستون/پکستون و اید گرینستون، تخلخل بین بلوری ایجاد کرده است.

۵-تخلخل در سازند فهلیان

برای درک ویژگی‌های پتروفیزیکی رخساره‌های موجود در هر

خرده‌های کربناته گرد شده تا نیمه زاویه‌دار و دانه‌های کوارتز زاویه‌دار هستند. خرده‌های بایوکلسیتی در بردارنده خرده‌های خارپوست، فرامینیفر، دوکفه‌ای و جلبک‌های آهکی است. این ریزرخساره از خرده‌ها و دانه‌های گوناگون تشکیل شده است. این ریزرخساره‌ها می‌تواند در پی تالوس‌های جلوی منطقه شیب و یا در پای شیب رخداد داشته باشد و هم‌ارز رخساره‌های کمر بند رخساره‌ای شماره ۴- ویلسون [۱۵] هستند. این گروه رخساره‌ای در بخش زیرین سازند فهلیان دیده شدند. ریزرخساره‌های مادستون با فونای پلاژیک (رادولر، سوزن اسفنج و...) و مادستون آهکی آرژیلیتی مربوط به مجموعه ریزرخساره‌های ژرف (حوضه) می‌باشند. این گروه رخساره‌ای هم‌ارز ریزرخساره‌های معرفی شده آبهای ژرف (شلف باز) فلوگل [۱۴] می‌باشد و در طبقه‌بندی ویلسون [۱۵] هم‌ارز کمر بندهای رخساره‌ای ۱- و ۲ هستند.

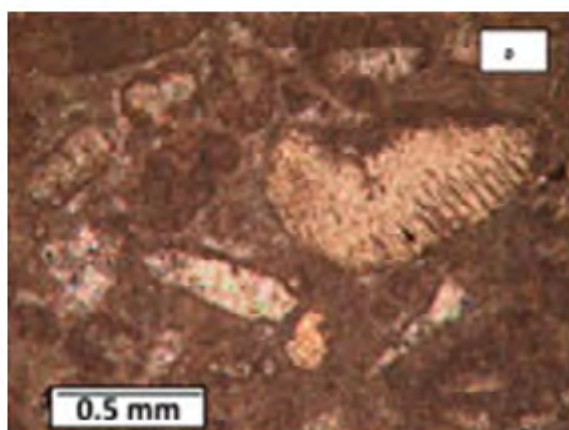
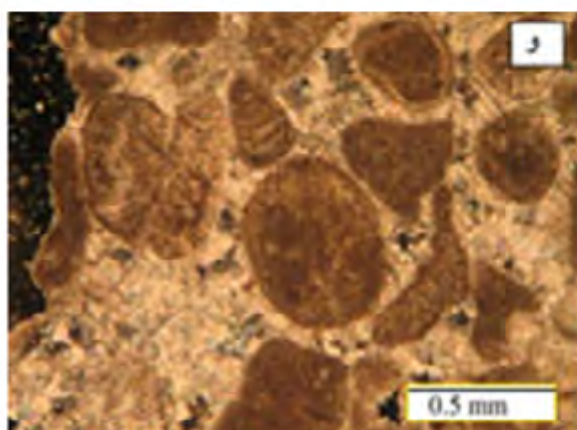
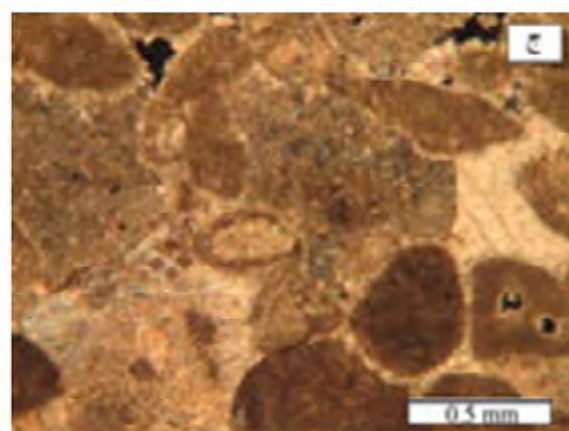
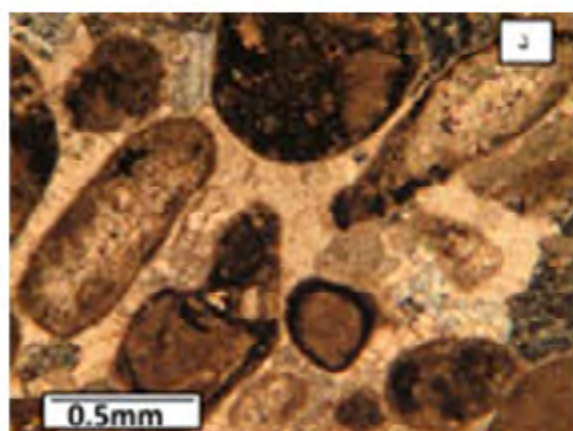
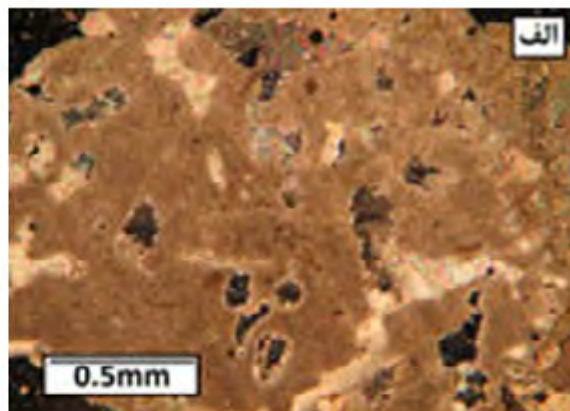
۴-سیمای دیاژنزی سازند فهلیان

فرایندهای دیاژنزی سازند فهلیان در سه محیط دیاژنتیکی فراتیکی دریایی، متیوریک و دفنی رخ داده است.

انحلال در توالی مورد مطالعه از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی متیوریک است که سبب پدید آمدن تخلخل درون دانه‌ای، تخلخل قالبی در خرده‌های اسکلتی (گاستروپودها، فرامینیفرها و دوکفه‌ای‌ها)، تخلخل حفره‌ای به‌ویژه در رخساره‌های گل پشتیبان و انحلال سیمان شده است. (شکل ۲-الف).

نوریختی (نیومورفیسم) پس از خروج یون منیزیم از محیط در طی بلورش دوباره میکرایت پدید می‌آید. خروج یون منیزیم می‌تواند به‌خاطر قرار گرفتن در محیط لب‌شور یا ورود آبهای شیرین در طی دیاژنزی هوایین به داخل لایه‌های کربناته و یا جذب یون منیزیم توسط کانی‌های رسی باشد [۳]. این فرایند در اکثر رخساره‌های دارای گل آهکی (رخساره‌های تالاب) گسترش دارد (شکل ۲-ب) و باعث ایجاد ریزتخلخل شده است. سیمان کلسیتی رو رشدی هم‌محور (سین تکسیال) در سازند مورد مطالعه، سیمان حاشیه‌ای به‌صورت شفاف از منشاء متیوریکی در ریزرخساره‌های تالابی نزدیک به سد تشکیل شده و گسترش چندانی ندارد (شکل ۲-ج) با این وجود در مکان‌های موجود موجب کاهش اندازه گلوگاه‌های خلل و تراوایی شده است.

سیمان کلسیتی بلوکی یا هم‌بعد شامل بلورهای متوسط تا درشت دانه بدون جهت‌یابی ترجیحی می‌باشد. گستره اندازه بلورها از ده‌ها میکرون تا چندین میلی‌متر متغیر است (شکل ۲-د). سیمان بلوکی در سازند مورد مطالعه، بیشتر در ریزرخساره‌های قسمت‌های پر انرژی تالابی نزدیک به سد و به‌ویژه در ریزرخساره‌های محیط کشندی و لاگونی دیده شدند که شکستگی‌ها و حفره‌های موجود را پر کرده و موجب بسته



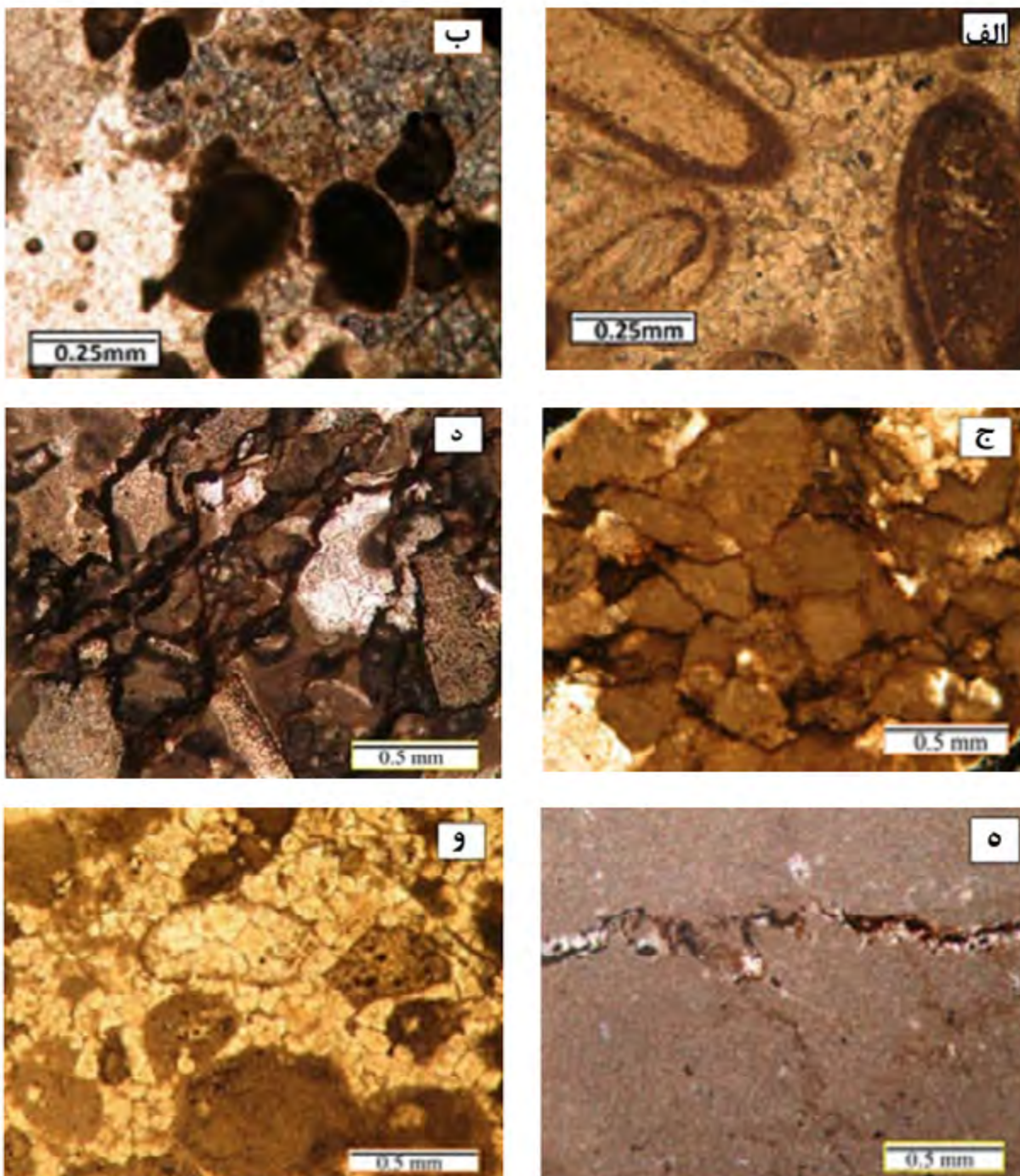
۲ | تصویر میکروسکوپی فرایندهای دیاژنز سازند فهلپان: الف؛ انحلال میکرایت (ژرفای ۴۰۷۰ متری، حسینیه-۳)؛ ب؛ نیومورفیسم افزایشی در گریستون (ژرفای ۴۱۰۸ متری حسینیه-۳)؛ ج؛ سیمان رورشدی هم‌محور (ژرفای ۴۱۰۸ متری، حسینیه-۳)؛ د؛ سیمان کلسیتی بلوکی (ژرفای ۴۱۰۰ متری، حسینیه-۳)؛ ه؛ میکرایتی شدن آلوک‌ها پلویید بایوکلاست پکستون (ژرفای ۲۰۶۵ متری کوشک-۱)؛ و؛ سیمان کلسیتی حاشیه‌ای هم‌ضخامت (ژرفای ۴۱۰۸ متری حسینیه-۳)



دانه پشتیان عامل مهمی در حفظ این نوع تخلخل می‌باشد ولی به علت از بین رفتن این گونه تخلخل با سیمان‌های کلسیتی متیوریکی و دفنی، تنها مقدار کمی از تخلخل مخزن را به خود اختصاص می‌دهد. این تخلخل در رخساره‌های دانه‌پشتیان پلوییدی و اییدی سازند فهلپان به خوبی دیده می‌شود (شکل ۴-الف).

مخزن باید نخست نوع تخلخل و ارتباط آنها با یکدیگر بررسی گردد.

تخلخل بین دانه ای: در زمان رسوبگذاری در بین دانه‌ها و ذره‌ها تشکیل می‌شود. شکل فضاها خالی در این گونه تخلخل خیلی متغیر است و به اندازه قطعات، جورشدگی و آرایش دانه‌ها بستگی دارد [۲]. گسترش سیمان‌های حاشیه‌ای در رخساره‌های

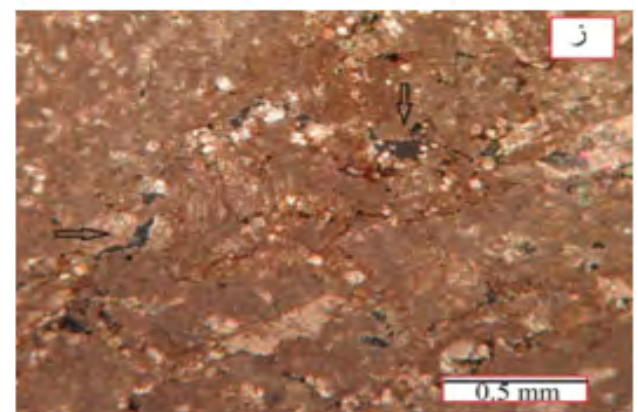
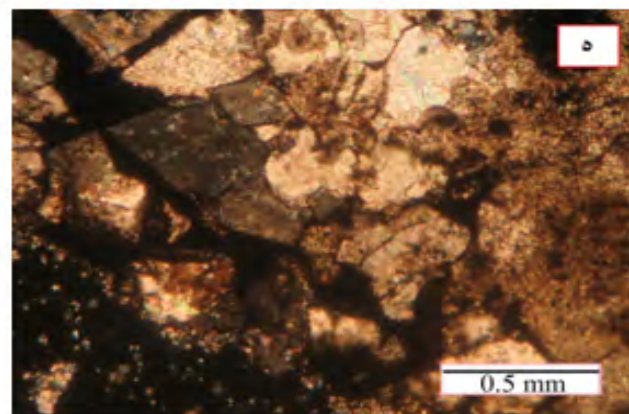
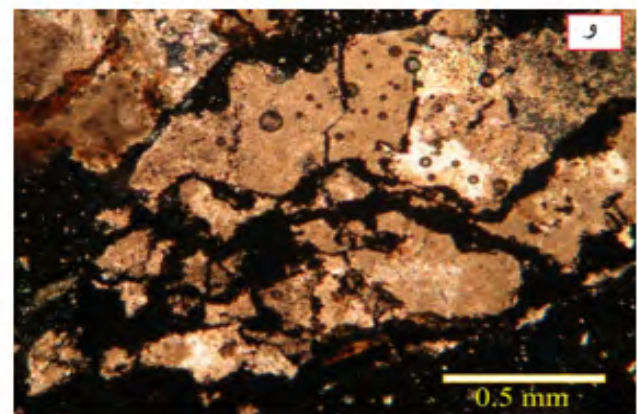
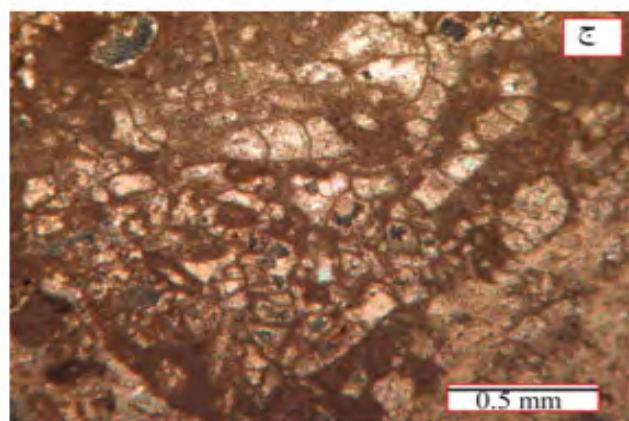
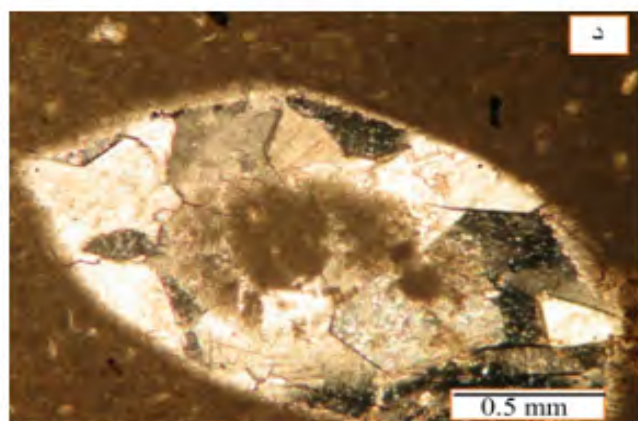
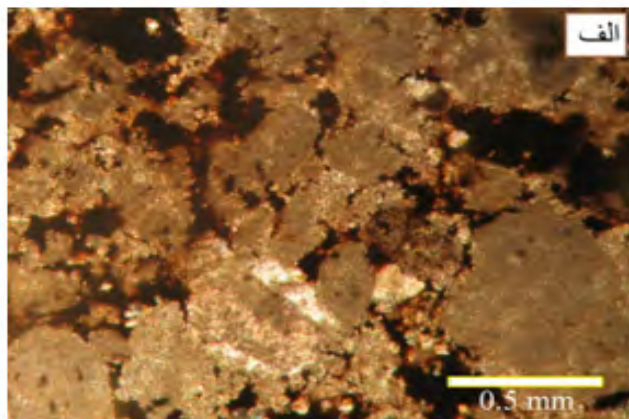
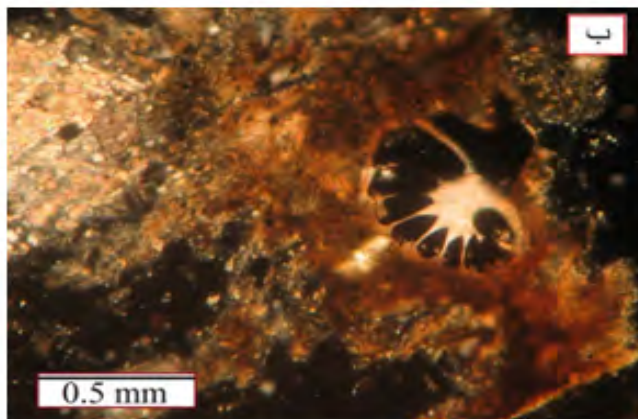


الف؛ سیمان کلسیت دروزی در پلویید بایوکلسیت گریستون (ژرفای ۴۰۰۶ متری، حسینیه-۳)، ب؛ سیمان فراگیرنده در پلویید گریستون (ژرفای ۴۰۸۸ متری، کوشک-۱)، ج؛ بافت درهم در رخساره پکستون پلوییدی (ژرفای ۴۱۲۰ متری، کوشک-۱)؛ د؛ رگچه‌های انحلالی در رخساره وکستون بایوکلسیتی (ژرفای ۴۲۵۲ متری، حسینیه-۳)، ه؛ استیلولیت در رخساره مادستون (ژرفای ۴۲۳۲ متری، کوشک-۱)؛ و؛ دولومیتی شدن (ژرفای ۴۲۱۲ متری، کوشک-۱)



پکستون پلوییدی و بایوکلسیتی می‌حیط تالاب و گریستون‌های مربوط به بخش مرکزی و رو به دریای پشته‌های زیرآبی بیشتر به صورت قالب‌های مجزا و تخلخل غیر مفید گسترش دارد و در برخی افق‌ها تخلخل قالبی حاصل با هیدروکربن و در موارد

تخلخل قالبی: از مهمترین تخلخل‌های وابسته به فابریک می‌باشد و معمولاً از انحلال انتخابی دانه‌هایی مانند سنگواره‌ها یا الییدها حاصل می‌شود. در سازند فهلیان این نوع تخلخل ثانویه بوده و بیشتر در رخساره‌های دانه‌پشتیبان و کستون تا


شکل ۴

تصویر میکروسکوپی (PPL) انواع تخلخل سازند فلهیان در میدان یادآوران الف: تخلخل بین دانه‌ای در رخساره پلونییدی که به ترتیب با هیدروکربن و سیمان پر شده‌اند (ژرفای ۴۲۳۵ متری، کوشک-۱)، ب: تخلخل درون دانه‌ای در رخساره مادستون بایوکلاستی که به ترتیب با سیمان و هیدروکربن پر شده‌اند (ژرفای ۴۰۷۴ متری حسینه-۳)، ج: تخلخل شبکه‌ای در سنگواره‌ی لیتوکودیوم (ژرفای ۴۰۸۱/۵ متری، کوشک-۱)، د: تخلخل قالبی ناشی از انحلال بایوکلاست‌ها به ترتیب (ژرفای ۴۲۵۲ متری، حسینه-۳)، و: تخلخل بین بلوری در میان بلورهای دولومیت به ترتیب (و ۴۱۸۰ متری کوشک-۱)، ه: تخلخل ناشی از شکستگی (۴۱۳۶ متری، کوشک-۱)، ز: تخلخل استیلولیتی (۴۰۷۳ متری، کوشک-۱)

تخلخل استیلولیتی: استیلولیت‌ها در ایجاد مسیرهای مهاجرت سیالات در سنگ‌های کربناته نقش مهمی دارند [۱۷]. با توجه به زایش دولومیت و تمرکز مواد آلی از جمله بیتومین و نفت مرده در امتداد استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی، عملکرد استیلولیت‌ها به صورت کانال‌های عبور سیال در زون‌های استیلولیتی شده‌ی این سازند آشکار است. این نوع تخلخل در رخساره‌های وکستونی و پکستونی گسترش بسیار زیادی داشته و منجر به افزایش تراوایی شده است. غالباً در محل حفره‌های استیلولیتی دولومیت و پیریت تمرکز پیدا کرده است (شکل ۴-ز) که نشان‌دهنده عبور سیالات در امتداد استیلولیت‌هاست.

۶- توالی پاراژنتیکی فرآیندهای دیاژنزی سازند فهلیان

نتایج حاصل از مطالعه فرآیندهای دیاژنزی، تأثیر هر سه محیط دیاژنزی، متیوریک، دریایی و تدفینی را بر روی سازند مورد مطالعه به خوبی نشان می‌دهد (شکل ۵-۵). پراکنندگی فرآیندهای دیاژنزی در کمرندهای رخساره‌ای در سازند فهلیان تا حد زیادی از فابریک سنگ پیروی کرده است، به طوری که فرآیندهایی مانند انحلال سیمان شدن و میکرایتی شدن در رخساره‌های دانه‌پشتیان فراوان‌تر بوده و دولومیتی شدن اولیه، آشفستگی زیستی و نوریختی در رخساره‌های گل‌پشتیان بیشتر گسترش دارند.

نخستین تغییرات دیاژنزی در بستر دریا به صورت میکرایتی شدن دانه‌ها و سیمان حاشیه‌ای به‌عنوان سیمان زودرس دریایی بوده‌اند. در رخساره‌های دانه‌پشتیان فهلیان به‌ویژه در گریستون‌های پشته‌های زیرآبی، گریستون بیوکلاستی و پلوییدی پهنه‌های کشندی و گریستون اینتراکلاستی و آنکویدی، سیمان در اطراف دانه‌ها به شکل سیمان تیغه‌ای و حاشیه‌ای مشاهده می‌گردد که با ایجاد چارچوبی محکم

دیگر توسط سیمان کلسیتی پر شده است (شکل ۴-ب). **تخلخل چارچوبی:** یا رشدی حاصل رشد موجودات چارچوب‌ساز آهکی، مانند مرجان‌ها، استروماتوپوریدا و جلبک‌های آهکی است. رشد شاخه‌ها و زواید این موجودات موجب تشکیل فضاهای خالی زیادی در لابه‌لای این بخش‌ها می‌شود [۳]. تخلخل شبکه‌ای ممکن است زیاد (در ریف‌های مرجانی امروزی) و یا کم (در ریف‌هایی که ارگانسیم‌های چسبنده غالب‌اند) باشد. تخلخل شبکه‌ای به سرعت با تجمع رسوب یا سیمان کربنات کاهش می‌یابد. در مخزن فهلیان، ریف‌های کومه‌ای (مرجان‌ها و لیتوکودیوم) گسترش دارند. بنابراین این نوع تخلخل در این بخش‌ها دارای اهمیت است اما به‌خاطر پُر شدن با سیمان کلسیتی، در ایجاد کیفیت مخزنی نقش چندانی ندارند (شکل ۴-ج).

تخلخل درون دانه‌ای: این نوع تخلخل فضای خالی درون دانه‌های اسکلتی مانند فرامینفرها، گاستروپودها و ریف‌ها را در برمی‌گیرد. این تخلخل ممکن است اولیه باشد و یا بعدها در طی دیاژنز زودرس بر اثر تجزیه مواد آلی پُرکننده فضاهای اسکلتی موجودات آهک‌ساز حاصل شود. تراوایی در این تخلخل معمولاً کم است، زیرا حفره‌های درون دانه‌ای ممکن است به هم مرتبط نباشند [۳]. بیشتر تخلخل‌های درون دانه‌ای پیش از رسوبگذاری قطعات و دانه‌های رسوبی تشکیل شده‌اند (شکل ۴-د). تخلخل‌های درون ذره‌ای بعد از رسوبگذاری، عمدتاً توسط فرآیند انحلال و بورینگ تشکیل می‌شود [۱۳]. این نوع تخلخل به دلیل پُر شدن توسط سیمان و یا ایجاد تخلخل غیر مفید در این سازند نقش چندانی در کیفیت مخزنی ندارد.

تخلخل بین بلوری: این نوع تخلخل در کربنات‌ها اغلب در دولومیت‌های جانیشینی یافت می‌شود و از نوع ثانویه است. این تخلخل در آهک‌های متبلور و رسوبات تبخیری که دیاژنز زیادی تحمل نکرده‌اند نیز فراوان است. شکل فضاهای خالی به شکل بلورها بستگی دارد و تراوایی خوبی نشان می‌دهد [۳]. تخلخل بین بلوری در سازند فهلیان در رخساره‌های دولومیتی، گریستونی و پکستونی دیده می‌شود و در رخساره‌هایی که دچار نیومورفیسم و تبلور دوباره شده‌اند نیز متداول است. مهمترین نوع تخلخل بین بلوری مربوط به فضای بین دولومیت خودریخت می‌باشد (شکل ۴-ه).

تخلخل شکستگی: این شکستگی‌ها ثانویه بوده و در سنگ‌های همگن کربناته به‌وفور دیده می‌شود و زمانی تشکیل می‌شود که سنگ در اثر فشار طبقات بالایی، چین خوردگی، گسل خوردگی و غیره دچار شکستگی می‌شود [۱۳]. در توالی مورد مطالعه، این نوع تخلخل عمدتاً در مادستون‌ها توسعه دارد که به‌طور موثری تراوایی را در این سازند بیشتر کرده است (شکل ۴-و).

فرآیندهای دیاژنزی	دیاژن دریایی	دیاژن متئوریک	دیاژن دفنی
میکرایتی شدن	بلند	پایین	پایین
تخلخل‌های اولیه	بلند	پایین	پایین
سیمان هم بعد	بلند	پایین	پایین
پیوستی شدن	بلند	پایین	پایین
دولومیت زایی	بلند	پایین	پایین
فابریک درهم	بلند	پایین	پایین
رگه‌های انحلالی	بلند	پایین	پایین
استیلولیت	بلند	پایین	پایین
سیمان فراگیرنده	بلند	پایین	پایین
تخلخل بین بلوری	بلند	پایین	پایین
نیومورفیسم	بلند	پایین	پایین
سیمان بین تکسالی	بلند	پایین	پایین
تخلخل فابری	بلند	پایین	پایین

شکل ۵ | توالی پاراژنتیکی انواع فرآیندهای گوناگون دیاژنزی سازند فهلیان به صورت شماتیک نشان داده شده است.



را کاهش داده است. تراکم شیمیایی و فرآیند فشار- انحلال سبب گسترش زیاد استیلولیت و رگه‌های انحلالی در سازند فهلیان شده است.

نتیجه‌گیری

سیمانی شدن، میکریتی شدن، فشردگی فیزیکی و شیمیایی، انحلال، انواع جان‌شینی، نوریختی، شکستگی و پُرشدگی از مهمترین فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده است که رخساره‌های سازند فهلیان را تحت تأثیر قرار داده است. فرایندهای دیاژنزی فشردگی مکانیکی و شیمیایی، سیمانی شدن و نوریختی افزایشی از مهمترین عوامل کاهنده و فرایندهای انحلال متیوریک- تدفینی، شکستگی و استیلولیت از عوامل اصلی در افزایش تخلخل و تراوایی در رخساره‌هاست. فرایند پیریتی شدن به دلیل اندک بودن تأثیر چندانگی در مقدار تخلخل و تراوایی ندارد اگرچه در پاره‌ای موارد تخلخل‌ها را پُر کرده است. ■

مانع از بین رفتن تخلخل طی مراحل بعدی دیاژنزی شده است. مهمترین فرآیندهای دیاژنزی متیوریک در توالی مورد مطالعه شامل انحلال، ته‌نشست سیمان بلوکی و دروزی، تبلور دوباره و نیومورفیسم است. آبهای متیوریک فرورو در ابتدا دانه‌های آراگونیتی را حل کرده و باعث ایجاد تخلخل‌های قالبی گسترده در رخساره‌های دانه پشته‌تیبان شده است. سپس آب اشباع شده از کربنات، با حرکت به سمت پایین باعث ته‌نشست سیمان کلسیتی در فضاهای خالی رسوبات زیرین شده است. گسترش سیمان‌های محیط دیاژنزی دفنی مانند سیمان فراگیر، سیمان‌های دروزی و هم‌بُعد و شواهدی مانند پُرشدن شکستگی‌ها، وجود استیلولیت، رگچه‌های انحلالی و بافت‌های درهم می‌تواند نشان‌دهنده محیط دیاژنزی دفنی باشد. دیاژنزی دفنی در توالی مخزنی فهلیان بیشتر به صورت تراکم فیزیکی و شیمیایی بوده است. تراکم فیزیکی تأثیر کمی بر ویژگی‌های مخزنی داشته است و باعث افزایش تراکم در رخساره‌های گل پشته‌تیبان و دانه‌پشته‌تیبان شده و کیفیت مخزنی

منابع

- [1] مطیعی، ه.، ۱۳۷۲. زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، تهران، ۵۳۶ ص.
- [2] رضایی، م.، ۱۳۸۰، زمین‌شناسی نفت، انتشارات علوی، تهران، ۴۷۲ ص.
- [3] رحیم‌پور بناب، ح.، ۱۳۸۹، سنگ‌شناسی کربناته با نگرشی بر کیفیت مخزنی، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۴ ص.
- [4] Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., 2013. Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian-early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. *Facies*, DOI 10.1007/s10347-013-0374-0.
- [5] Ehrenberg, S. N, Aqrabi, A. A. M., Nadeau, P. H., 2008. An overview of reservoir quality in producing Cretaceous strata of the Middle East. *Petrol. Geosci.* 14(4):307-318.
- [6] Hosseini, S. A, Conrad, M. A, 2008, Calcareous algae, foraminifera and sequence stratigraphy of the Fahliyan Formation at Kuh-e-Surmeh (Zagros Basin, SW of Iran). *Geologica Croatica* 61, 215-237
- [7] James, G. A. and Wynd, J. G., 1965, Stratigraphic nomenclature of Iranin Oil Consortium Agreement Area, AAPG Bull., 49 (12), 2182-2245.
- [8] Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., 2013. Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian-early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. *Facies*, DOI 10.1007/s10347-013-0374-0.
- [9] Kheradpir, A., 1975, Stratigraphy of Khami Group, in south-west Iran, O. S. C. I. Report, No. 1235.
- [10] Jamalian, M., Adabi, M. H., Moussavi, M. R., Sadeghi, A., Darius Baghban, D., Ariyafar, B., 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.
- [11] Bahroudi A, Koyi HA (2004) Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin. *Mar Petrol Geol* 21:1295-1310
- [12] Dunham, R. J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture, In: W., E-Ham (ed). *Classification of carbonate rocks*, Mem. 1, AAPG. 108-121.
- [13] Folk, R.L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publication Co., Austin, Texas.
- [14] Flugel, E., 2010, *Microfacies of carbonate rocks, analysis interpretation and application*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 984 pp.
- [15] Wilson, J. L., 1975, *Carbonates facies in geologic history*. Springer-Verlag, Berlin, 471 pp.
- [16] Leythaeuser, H., Krooss, B., Hillebrand, T., Primo, R.D 1993, Hydrocarbon generation and expulsion in shale V. Carbonate source rocks, AAPG Bull, 77, No.9, p. 1642
- [17] Tucker, M.E., and Wright, V.P., 1990, *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Science, Inc. 482 pp.