

عوامل کنترل کننده کیفیت مخزنی سازند بورقان در میدان نفتی فروزان، خلیج فارس

جواد هنرمند

پژوهشکده علوم زمین، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۳۰

چکیده

سازند بورقان با سن کرتاسه از مهمترین سنگ مخزن‌ها در میادین هیدروکربنی خلیج فارس و کویت محسوب می‌شود. به منظور بررسی کیفیت مخزنی این سازند و عوامل کنترل‌کننده آن در میدان فروزان، ۶۲/۵ m مغزه، مورد مطالعات زمین‌شناسی و مخزنی قرار گرفت. این مطالعه نشان می‌دهد که سازند بورقان متشکل از ماسه‌سنگ‌های خیلی دانه ریز تا دانه متوسط، رس سنگ، شیل‌های آهکی و توالی‌های محدود کربناته بوده و از ۸ رخساره رسوبی تشکیل شده است که براساس شواهد رسوب‌شناسی، در یک خلیج دهانه‌ای تحت تاثیر جزر و مد نهشته شده‌اند. این رخساره‌ها عبارتند از: (۱) ماسه سنگ‌های کانالی با لایه‌بندی مورب، (۲) پهنه گلی/خلیج، (۳) پهنه ماسه‌ای، (۴) تناوب پهنه ماسه‌ای و پهنه گلی، (۵) پهنه گلی تحت تاثیر دریا، (۶) پهنه ماسه‌ای تحت تاثیر دریا، (۷) خلیج محدود شده/باتلاق و (۸) پشته اوئیدی. اندازه‌گیری مقادیر تخلخل و تراوایی نمونه‌های مغزه نشان می‌دهد که اولاً تخلخل و تراوایی، به ترتیب، در محدوده ۳۶/۳ - ۳٪ و ۰/۶ mD - ۱۳۳۴۳ تغییر می‌کند. ثانیاً ارتباط خوبی بین کیفیت مخزنی و رخساره‌های رسوبی سازند بورقان وجود دارد. بهترین کیفیت مخزنی سازند بورقان متعلق به ماسه سنگ‌های دانه‌ریز تا متوسط کانالی است در صورتی که نمونه‌های شیلی و رس سنگی متعلق به پهنه گلی و خلیج محدود شده از تخلخل و تراوایی پایینی برخوردار بوده و به عنوان بخش‌های غیرمخزنی در نظر گرفته می‌شوند. مقایسه مقادیر تخلخل و تراوایی با پارامترهای بافتی در ماسه‌های سست سازند بورقان نیز نشان می‌دهد که ارتباط خوبی بین اندازه و جورشدگی دانه‌ها و مقادیر تخلخل و تراوایی وجود دارد.

کلمات کلیدی: رخساره، تخلخل، تراوایی، خلیج دهانه‌ای و سازند بورقان

مقدمه

و بویژه مخزنی زیادی روی آن انجام شود [۱-۸]. توالی ماسه‌سنگی - شیلی سازند بورقان در زمان کرتاسه (همزمان با نهشته شدن سازند کژدمی در بخش خشکی ایران) و پس از رسوب‌گذاری سازند کربناته داریان (سازند شعیبا^۱ در بخش عربی) نهشته شده است [۶ و ۷].

اهمیت مخزنی سازند بورقان در بخش فلات قاره ایران و میادین هیدروکربنی کشورهای عربی، به ویژه کویت، باعث شده است که این سازند مورد توجه کارشناسان نفتی واقع شده و مطالعات زمین‌شناسی

دارند، اما اهمیت مخزنی قابل توجهی دارند [۱۱]. رسوب گذاری سیلیسی - آواری های سازند بورقان با شروع رسوب گذاری نهشته های کربناته سازند کژدمی (سازند مدود^۲ در بخش عربی)، طی فاز رسوبی پیشرونده پایان می یابد [۲، ۴ و ۸].

تغییر کیفیت مخزنی و ناهمگونی موجود در مخزن ارتباط تنگاتنگی با تغییر شکل هندسی و توزیع رخساره های رسوبی و همچنین فرآیندهای دیاژنزی موثر بر آن دارد. بنابراین شناخت این ویژگی ها در زمینه اکتشاف و تولید هیدروکربن از مخزن از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. هدف از این مطالعه بررسی کیفیت مخزنی سازند بورقان و ارزیابی نقش عوامل اولیه یا رسوبی (سنگ شناسی، رخساره، بافت و ساختمان های رسوبی) و ثانویه یا دیاژنزی در کنترل خواص مخزنی (تخلخل و تراوایی) این سازند می باشد.

روش مطالعه

به منظور بررسی کیفیت مخزنی سازند بورقان و عوامل کنترل کننده آن در میدان مورد مطالعه، ابتدا نمونه های مغزه موجود از این سازند (۶۲/۵ m) مورد مطالعه قرار گرفتند.

این سازند که عمدتاً متشکل از تناوب ماسه سنگ، شیل و رس سنگ است، به عنوان مهمترین افق مخزنی دارای نفت در کشورهای عربی حاشیه خلیج فارس و مخصوصاً کویت محسوب می شود [۹-۵ و ۳]. سازند بورقان در بخش فلات قاره^۱ ایران یا میادین دریایی خلیج فارس گسترش داشته و به عنوان مخزن نفتی در میادینی همانند سروش، نوروز، فروزان و غیره محسوب می شود (شکل ۱). با گذر از حاشیه حوضه رسوبی زاگرس به بخش داخلی آن یا بخش خشکی^۲ جنوب غرب ایران نهشته های آواری سازند بورقان به نهشته های کربناته و نهایتاً شیلی سازند کژدمی، با پتانسیل بالای سنگ منشاء، تغییر رخساره می دهد [۴].

سازند بورقان با توجه به تلفیق ویژگی های رسوب شناسی و مخزنی، به دو بخش پائینی (B) و بالایی (A) تقسیم شده است [۹ و ۸]. بخش پائینی سازند بورقان که متشکل از یک توالی ضخیم ماسه سنگی با کیفیت مخزنی خیلی خوب می باشد مهمترین افق مخزنی این سازند را تشکیل می دهد [۲-۳ و ۵-۸]. ماسه سنگ های بخش بالایی این سازند نیز اگرچه ضخامت کمتری



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان فروزان و میدان های همجوار

1. Shuaiba
2. Offshore
3. Onshore
4. Mauddud

خلیج دهانه‌ای تحت تاثیر جزر و مد^۷ نهشته شده‌اند [۱۱ و ۱۲]. مدل رسوب‌گذاری مذکور در شکل ۲ و مشخصات رخساره‌های ۸ گانه رسوبی، به اختصار، در جدول ۱ ارائه گردیده است. تصاویر تهیه‌شده از نمونه‌های مغزه و مقاطع نازک متعلق به رخساره‌های مذکور نیز در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

کیفیت مخزنی رخساره‌های رسوبی سازند بورقان

به منظور تعیین تخلخل و تراوایی سازند بورقان تعداد ۱۹۵ نمونه پلاگ از نمونه‌های مغزه تهیه گردیده و سپس تخلخل و تراوایی آنها تحت شرایط آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. نمودار تخلخل-تراوایی نمونه‌های مختلف این سازند در شکل ۵ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که ماسه‌های سست کانالی (رخساره‌های ۱ و ۳) از بیشترین مقادیر تخلخل و تراوایی برخوردارند در حالی که نهشته‌های شیلی و رس سنگی متعلق به پهنه گلی (رخساره ۲) و خلیج محدود شده / مرداب (رخساره ۷) کمترین مقادیر تخلخل و تراوایی را نشان می‌دهند. وجود میان لایه‌های شیلی (رخساره ۴)، ماتریکس رسی و آثار زیست‌آشفته‌گی (رخساره ۶) در نهشته‌های ماسه سنگی، کیفیت مخزنی آنها را به طور قابل توجهی کاهش داده است.

در شکل ۶ محدوده تغییرات تخلخل و تراوایی در رخساره‌های مختلف سازند بورقان نشان داده شده است. بر اساس این شکل بیشترین تغییرات تخلخل و تراوایی در نمونه‌های ماسه سنگی دیده می‌شود.

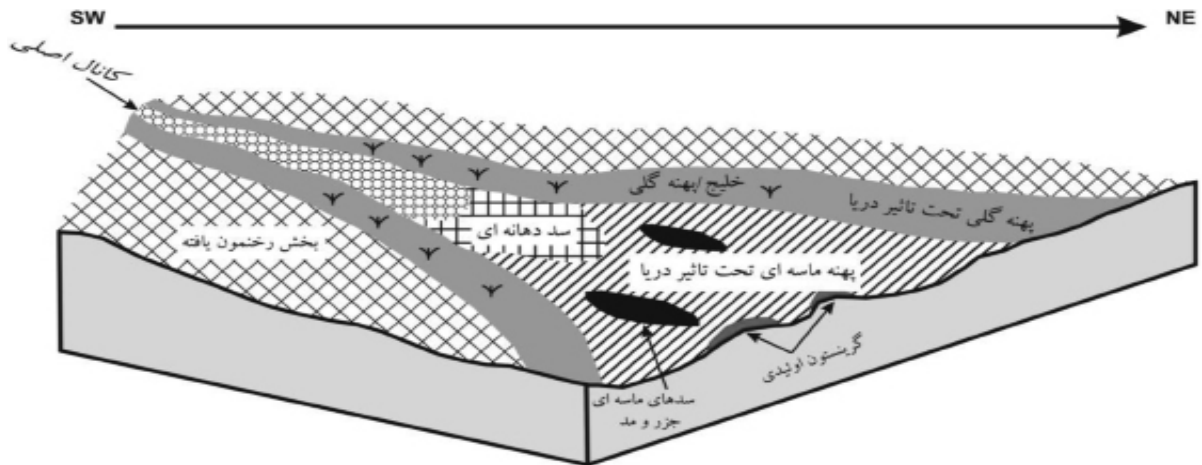
در شکل ۷ نمودار فراوانی بازه‌های مختلف تخلخل و تراوایی در ماسه سنگ‌های سازند بورقان ارائه شده است.

در این بخش از مطالعه ویژگی‌هایی مانند مرز بین لایه‌ها، ضخامت لایه‌بندی، تغییرات اندازه دانه‌ها، تغییرات سنگ‌شناسی، ساختمان‌های رسوبی فیزیکی اولیه، ساختمان‌های رسوبی زیستی، نوع و مقدار تخلخل قابل رؤیت و میزان آغشته‌گی به نفت توصیف شدند. در ادامه تعداد ۸۵ نمونه مقطع نازک که از رخساره‌های مختلف انتخاب شده بودند مورد مطالعات میکروسکوپی قرار گرفتند. به منظور امکان مقایسه مقادیر تخلخل و تراوایی با ویژگی‌های زمین‌شناسی سازند بورقان، تخلخل و تراوایی ۱۹۵ نمونه پلاگ در شرایط آزمایشگاهی و به روش‌های تخلخل نسبت به هلیوم^۱ و تراوایی نسبت به هوا^۲، در آزمایشگاه مغزه پژوهشگاه صنعت نفت واقع در تهران اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور تعیین عمق دقیق نمونه‌های مغزه، با استفاده از دستگاه اسکن گامای مغزه^۳ مقدار گامای مغزه‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری و با نمودار چاه‌پیمایی گاما مقایسه گردید. همچنین با استفاده از مقایسه خواص مخزنی و رخساره‌های رسوبی با نمودار گامای مغزه، امکان استفاده از این نمودار به منظور انطباق با سایر چاه‌ها بررسی گردید. جهت بررسی نقش پارامترهای بافتی، به ویژه اندازه و جورشدگی^۴ دانه‌ها، در کنترل خواص مخزنی ماسه‌های سست کانالی^۵ تعداد ۴ نمونه سست ماسه‌ای انتخاب و مورد آزمایش دانه‌بندی^۶ به روش غربال کردن قرار گرفت.

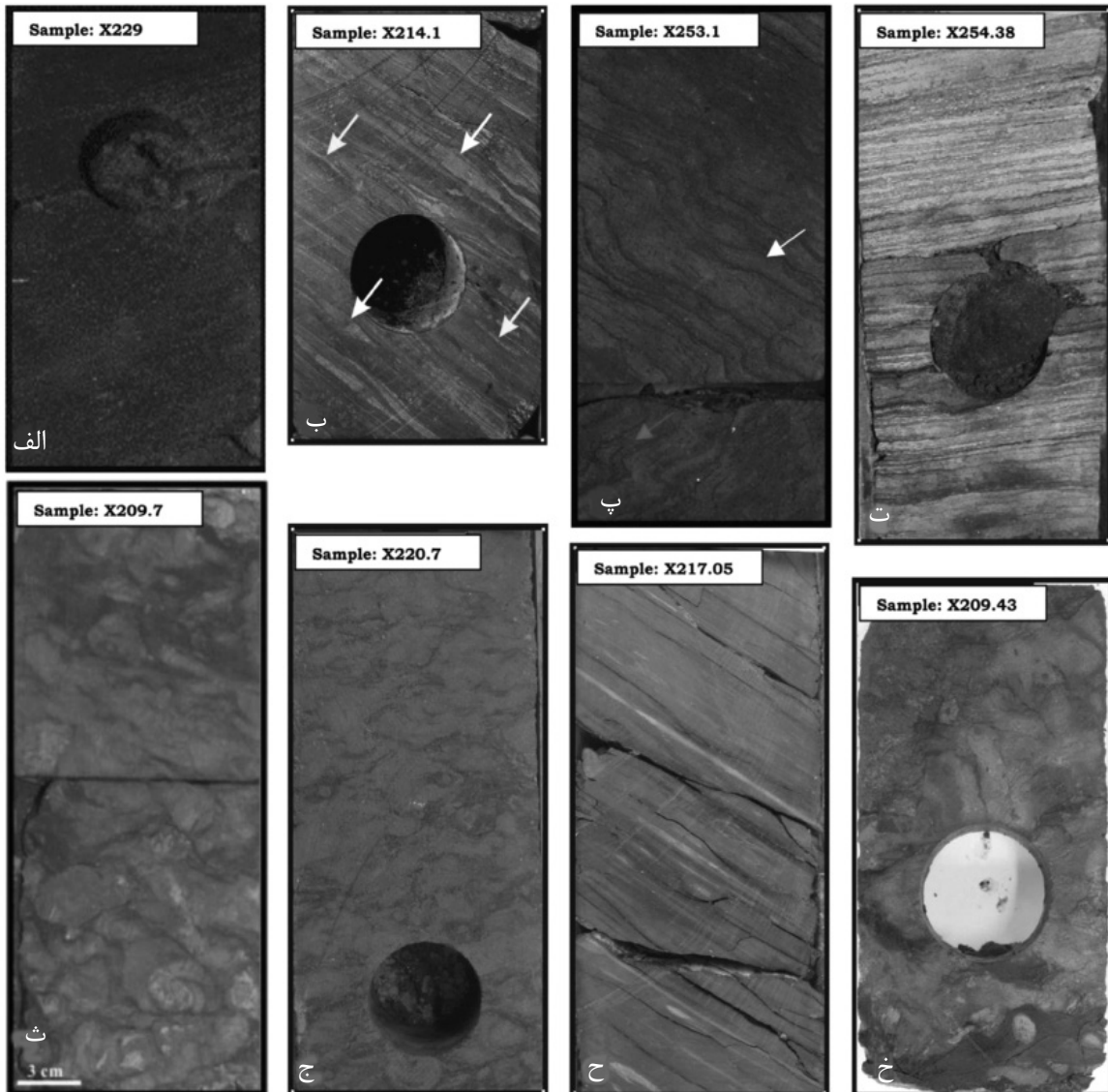
رخساره‌های رسوبی

در این پژوهش، بر مبنای مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی نمونه‌های مغزه و مقاطع نازک، ۸ رخساره رسوبی مختلف در سازند بورقان شناسایی و معرفی گردید [۱۱ و ۱۲]. با توجه به شواهد رسوب‌شناسی و مقایسه با نتایج مطالعات رسوب‌شناسی انجام شده قبلی بر روی این سازند [۲، ۴ و ۶-۱۰] و نهشته‌های سیلیسی-آواری در مناطق دیگر [۱۳] این رخساره‌ها در یک محیط

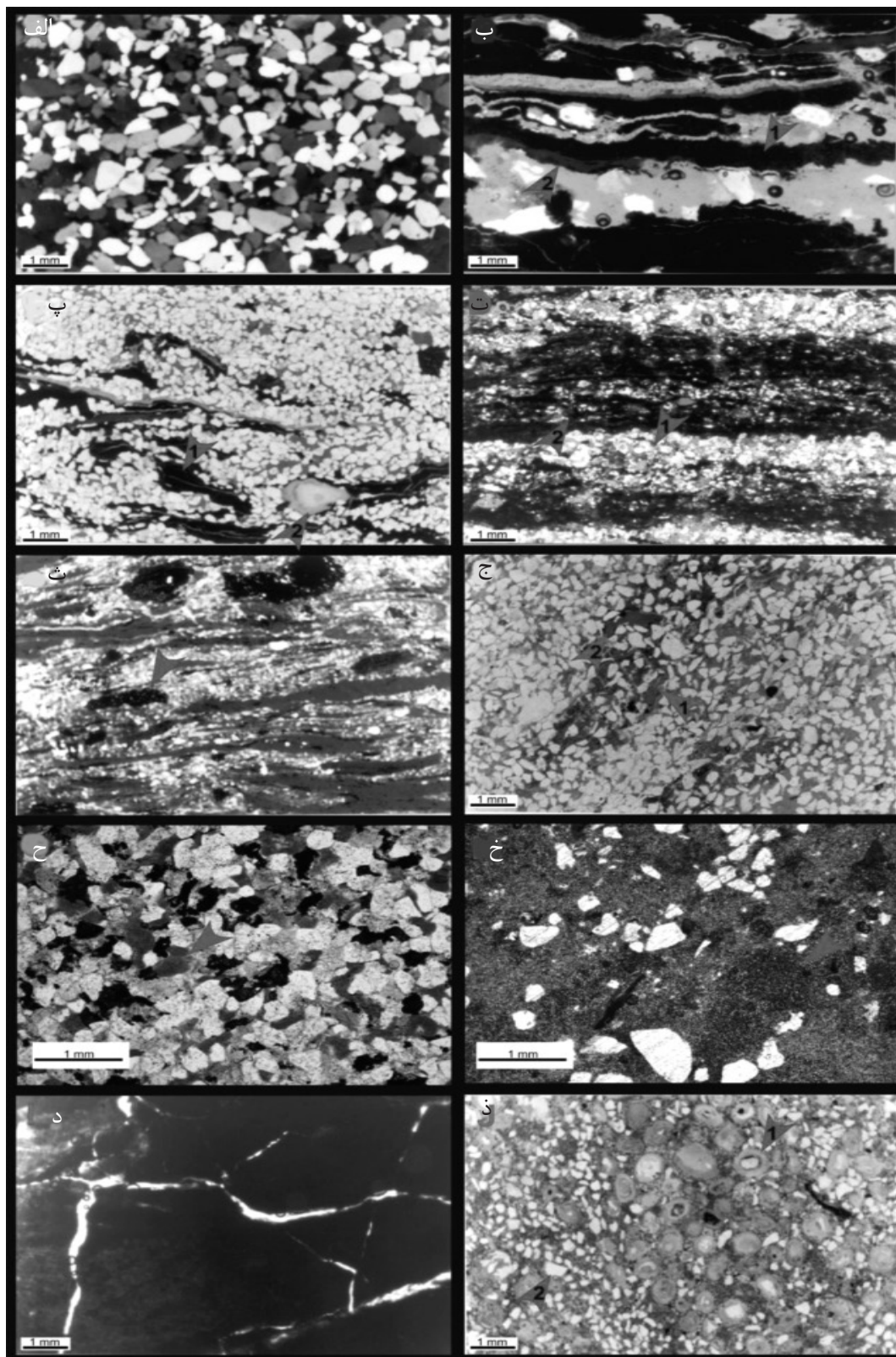
1. Helium Porosity
2. Air Permeability
3. Core Gamma Scan
4. Sorting
5. Unconsolidated Channel Sands
6. Sieve Analysis
7. Tide-dominated Estuary System



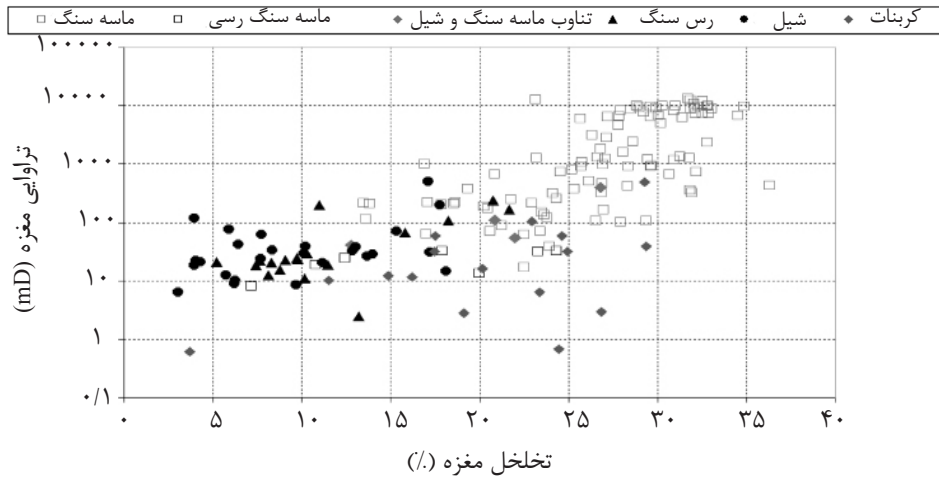
شکل ۲- مدل رسوبی پیشنهادی برای سازند بورقان در منطقه مورد مطالعه [۱۱ و ۱۲]



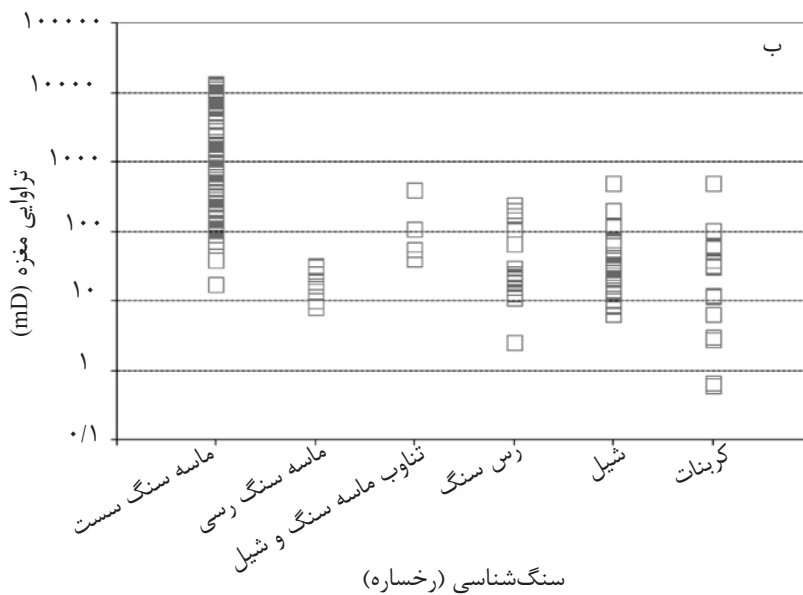
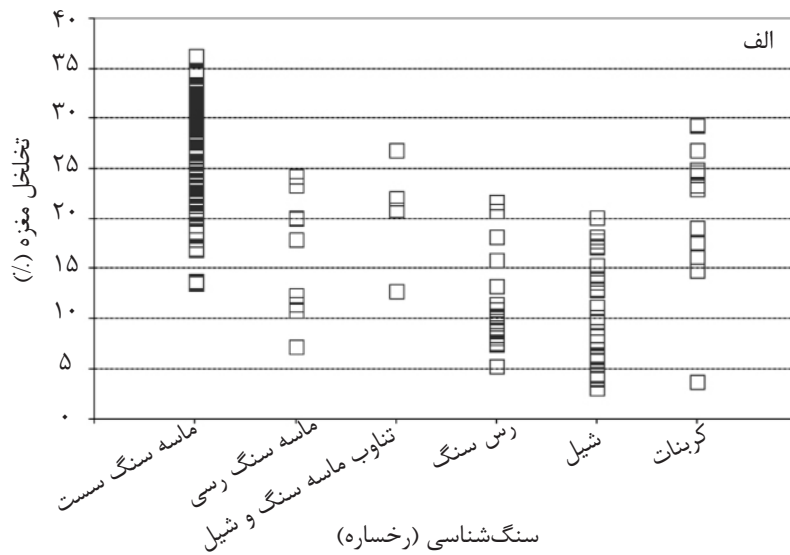
شکل ۳- تصاویر مغزه سازند بورقان در میدان فروزان: (الف) ماسه سنگ دانه ریز تا دانه متوسط و آغشته به نفت، (ب) رس سنگ سیلتی با لایه بندی عدسی شکل، (پ) ماسه سنگ با لایه های گلی (فلش سفید) و لامینه های موجدار (فلش قرمز)، (ت) تناوب ماسه سنگ دانه ریز آغشته به نفت با شیل، (ث) رس سنگ با اثرات حفاری موجودات، (ج) دولستون ماسه ای با اثرات حفاری موجودات، (ح) شیل متورق دارای مواد آلی و لامیناسیون و (خ) گروینستون اوئیدی دولومیتی



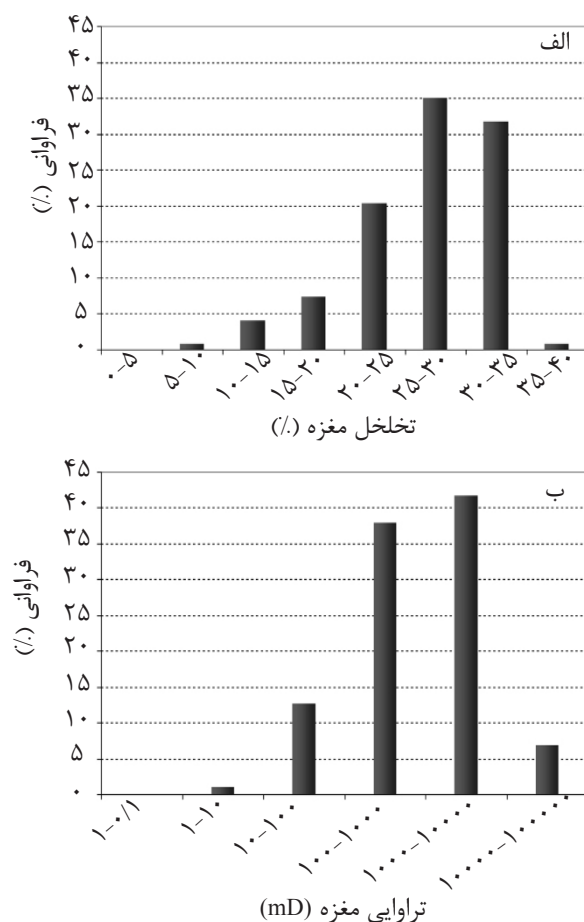
شکل ۴ - تصاویر میکروسکوپی رخساره‌های رسوبی سازند بورقان در میدان فروزان. (الف) نمونه ماسه‌ای دانه متوسط، (ب) رس سنگ حاوی مواد آلی (علامت‌های ۱ و ۲)، (پ) ماسه سنگ دانه‌ریز حاوی مواد آلی (علامت‌های ۱ و ۲)، (ت) تناوب لامینه‌های ماسه سنگی (۱) با شیل‌های دارای مواد آلی (علامت ۲)، (ث) رس سنگ سیلتی دارای زیست آشفستگی و مواد آلی پراکنده (علامت ۱)، (ج) ماسه‌سنگ با زیست آشفستگی و اثرات حفاری (علامت ۱) و ذرات مواد آلی (علامت ۲)، (ح) ماسه‌سنگ دارای گلاکونیت (فلش) و مواد آلی پراکنده (تیره رنگ)، (خ) دولستون ماسه‌ای دارای زیست آشفستگی (فلش)، (د) شیل حاوی مواد آلی و (ذ) اوئید گرینستون ماسه‌ای. اوئید (علامت ۱) و کوارتز (علامت ۲) به فراوانی دیده می‌شوند.



شکل ۵- نمودار تخلخل- تراوایی نمونه‌های سازند بورقان در میدان مورد مطالعه



شکل ۶- نمودارهای الف) تخلخل و ب) تراوایی در لیتولوژی (رخساره‌های مختلف سازند بورقان در میدان نفتی مورد مطالعه)



شکل ۷- فراوانی الف) تخلخل و ب) تراوایی در نمونه‌های ماسه سنگی سازند بورقان در میدان نفتی فروزان

نمونه‌های این رخساره، به ترتیب، ۳/۲۷٪ و ۳۹۳۳ mD می‌باشد (شکل ۶). توالی ضخیم ماسه‌ای مذکور عمدتاً در بخش پایینی سازند بورقان گسترش یافته و باعث شده تا در این بخش از سازند، ناهمگونی مخزنی افقی و قائم، در مقایسه با بخش بالایی آن به مراتب کمتر باشد. این حالت در میدان نفتی بورقان در کویت نیز مشاهده می‌شود [۲، ۳، ۶ و ۸].

نمونه‌های رخساره ۲ و ۵ شامل رس سنگ (شکل ۳-ب) و رس سنگ ماسه‌ای یا سیلتی خاکستری رنگ (شکل ۳-ث) که متعلق به پهنه گلی می‌باشند، تخلخل و تراوایی پائینی داشته و بازه‌های عمقی متشکل از این رخساره‌ها به عنوان بخش‌های ناتراوا یا غیرمخزنی سازند در نظر گرفته می‌شوند. متوسط مقدار تخلخل و تراوایی در این رخساره‌ها، به ترتیب، ۱۱٪ و ۳۹ mD می‌باشد (شکل ۶).

ماسه سنگ‌های سازند بورقان در میدان مورد مطالعه را می‌توان به دو گروه سست^۱ و سخت^۲ شده تفکیک نمود. در نمونه‌های سخت شده، کانی‌های رسی به شکل ماتریکسی پراکنده و همچنین بین لایه‌ای دیده می‌شوند (شکل پ-۳). این نوع از نمونه‌های سخت شده ماسه سنگی، با تخلخل ۲۴-۷٪ و تراوایی ۱۰ تا ۷۰ mD، با قرارگیری در بخش میانی نمودار تخلخل-تراوایی کیفیت مخزنی متوسطی را نشان می‌دهند.

در نمونه‌های سست ماسه‌ای متعلق به رخساره ۱ (شکل‌های الف-۳ و الف-۴) هیچ‌گونه ماتریکس و یا سیمانی وجود نداشته و بنابراین این نمونه‌ها، با تخلخل بیش از ۳۶/۳٪ و تراوایی ۱۳۳۴۳ mD در بالاترین بخش نمودار تخلخل-تراوایی، که نشان‌دهنده کیفیت مخزنی خیلی خوب می‌باشد، قرار گرفته‌اند. متوسط مقدار تخلخل و تراوایی در

1. Unconsolidated

2. Consolidated

ارتباط اندازه و جورشدگی دانه‌ها با تخلخل و تراوایی ماسه‌های کانالی

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که مهمترین ویژگی‌های بافتی قابل اندازه‌گیری در رسوبات آواری عبارتند از: (۱) اندازه دانه، (۲) جورشدگی، (۳) شکل دانه، (۴) گردشدگی (زاویه‌دار بودن) و (۵) آرایش دانه [۱۷]. اندازه و جورشدگی دانه‌ها، از نظر تاثیر بر مقدار تخلخل و تراوایی، بیشترین اهمیت را داشته در حالی که شکل و گردشدگی دانه‌ها اهمیت کمتری دارند. به طور کلی تفکیک نقش آرایش دانه‌ها بر خواص مخزنی ماسه‌سنگ‌ها بسیار مشکل می‌باشد [۱۷].

در این پژوهش پارامترهای اندازه و جورشدگی با دو روش آنالیز دانه‌بندی توسط غربال و نیز با استفاده از مقاطع نازک و نمودارهای مقایسه‌ای برای نمونه‌های سازند بورقان تعیین گردید. به این منظور تعداد ۴ نمونه از بخش‌های مختلف ماسه‌ای سازند بورقان (رخساره‌های ۱ و ۳) انتخاب شد. نمونه‌ها از الک‌های منظم با فواصل اندازه‌ای ۰/۲۵ فی^۳ عبور داده شدند. در پایان ماسه‌های جمع شده روی هر الک وزن شده و درصد وزنی آن محاسبه گردید. سپس پارامترهای آماری مختلف نظیر اندازه دانه، جورشدگی، کج شدگی و کشیدگی، با استفاده از روابط فولک و وارد^۴، محاسبه شد [۱۸].

مطالعات نشان می‌دهد که تاثیر پارامترهای کرویت و گردشدگی دانه‌ها در مقایسه با اندازه و جورشدگی آنها بر روی تخلخل و تراوایی ماسه‌ها به مراتب کمتر است. از طرف دیگر تفکیک نقش دو پارامتر کرویت و گردشدگی از اندازه و جورشدگی بر روی تخلخل و تراوایی ماسه‌ها مشکل است. منحنی درصد تجمعی و هیستوگرام توزیع نرمال اندازه دانه‌ها برای ۴ نمونه ماسه‌ای انتخابی با اندازه و جورشدگی مختلف، همراه با مقادیر تخلخل و تراوایی آنها، در شکل ۸ ارائه شده است.

ماسه سنگ‌های رخساره ۳ (پهنه ماسه‌ای) به دلیل دانه ریز بودن و وجود اثرات ریشه گیاهان و مواد آلی پراکنده (شکل ۴ پ) نسبت به ماسه‌های رخساره ۱ (ماسه‌های کانالی) از تخلخل و تراوایی کمتری برخوردار هستند (شکل ۶).

همان‌طور که در نمودارهای شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود نمونه‌های متعلق به رخساره ۴ که به صورت تناوب لایینه‌های ماسه سنگی و شیلی هستند تخلخل و به ویژه تراوایی چندان مناسبی ندارند. لایینه‌های ماسه سنگی عمدتاً تخلخل و تراوایی خوبی دارند و آغشته به نفت هستند در صورتی که بین لایه‌های شیلی نه تنها تخلخل و تراوایی کمی دارند بلکه به صورت سد^۱ از حرکت عمودی نفت جلوگیری کرده و تراوایی رخساره را به شدت کاهش می‌دهند [۱۵]. بنابراین در زون‌هایی از سازند که رخساره ۴ در آن گسترش دارد انتظار تراوایی مناسبی نباید داشت (شکل ۶).

نمونه‌های ماسه سنگی متعلق به رخساره ۶ (پهنه ماسه‌ای تحت تاثیر دریا) به دلیل دانه ریز بودن، زیست آشفستگی شدید، وجود ماتریکس رسوبی و ایکنوفسیل‌های فراوان از هتروژنیته یا ناهمگونی زیادی برخوردار است. وجود ماتریکس رسوبی و همچنین سیمان دولومیتی در برخی اعماق باعث شده که نمونه‌ها برخلاف نمونه‌های رخساره ۱ حالت سخت شده داشته باشد.

شیل‌های تیره رنگ متعلق به رخساره ۷ کمترین مقادیر تخلخل و تراوایی را در سازند بورقان داشته و به عنوان زون‌های ناتراوا در مخزن محسوب می‌شوند.

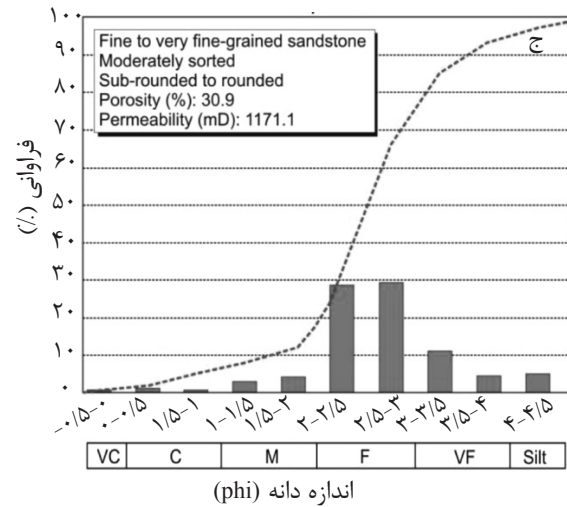
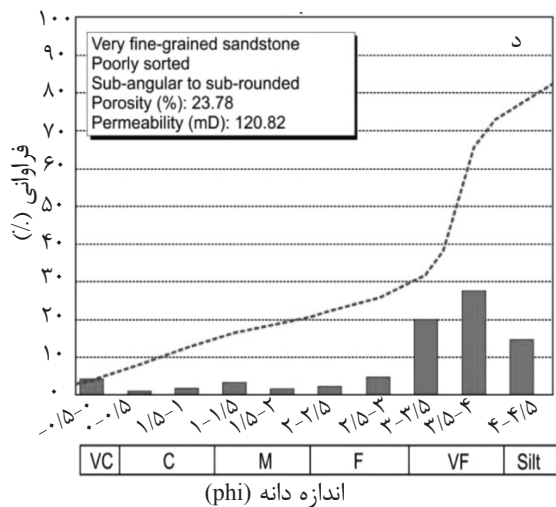
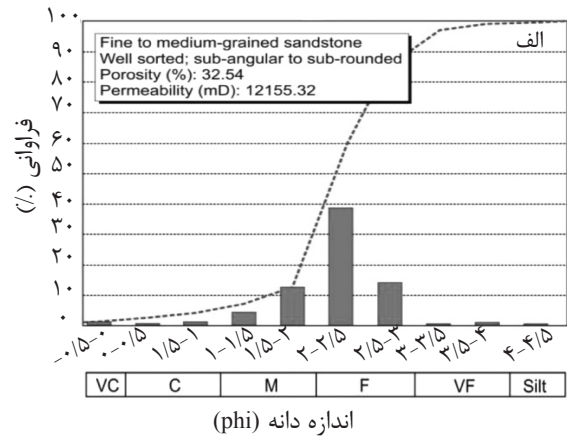
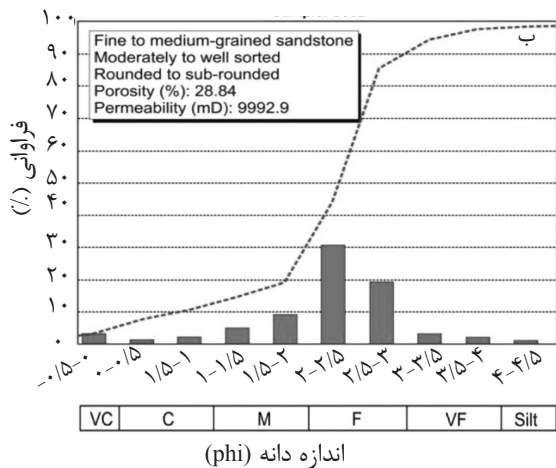
تخلخل در نمونه‌های کربناته پشته اوئیدی (رخساره ۸) عمدتاً از نوع قالبی و حفره‌ای بوده و به همین دلیل تراوایی در نمونه‌های متخلخل نیز چندان بالا نیست [۱۶]. پرشدگی حفرات ایجاد شده توسط موجودات^۲ با دولومیت متخلخل یا ماسه سنگ باعث افزایش تخلخل و تراوایی در برخی نمونه‌های این رخساره شده است.

1. Barrier

2. Burrows

3. Phi واحد استاندارد اندازه گیری قطر الک - $(\phi = -\log_{10} d)$ قطر ذره بر حسب میلی‌متر است

4. Folk and Ward



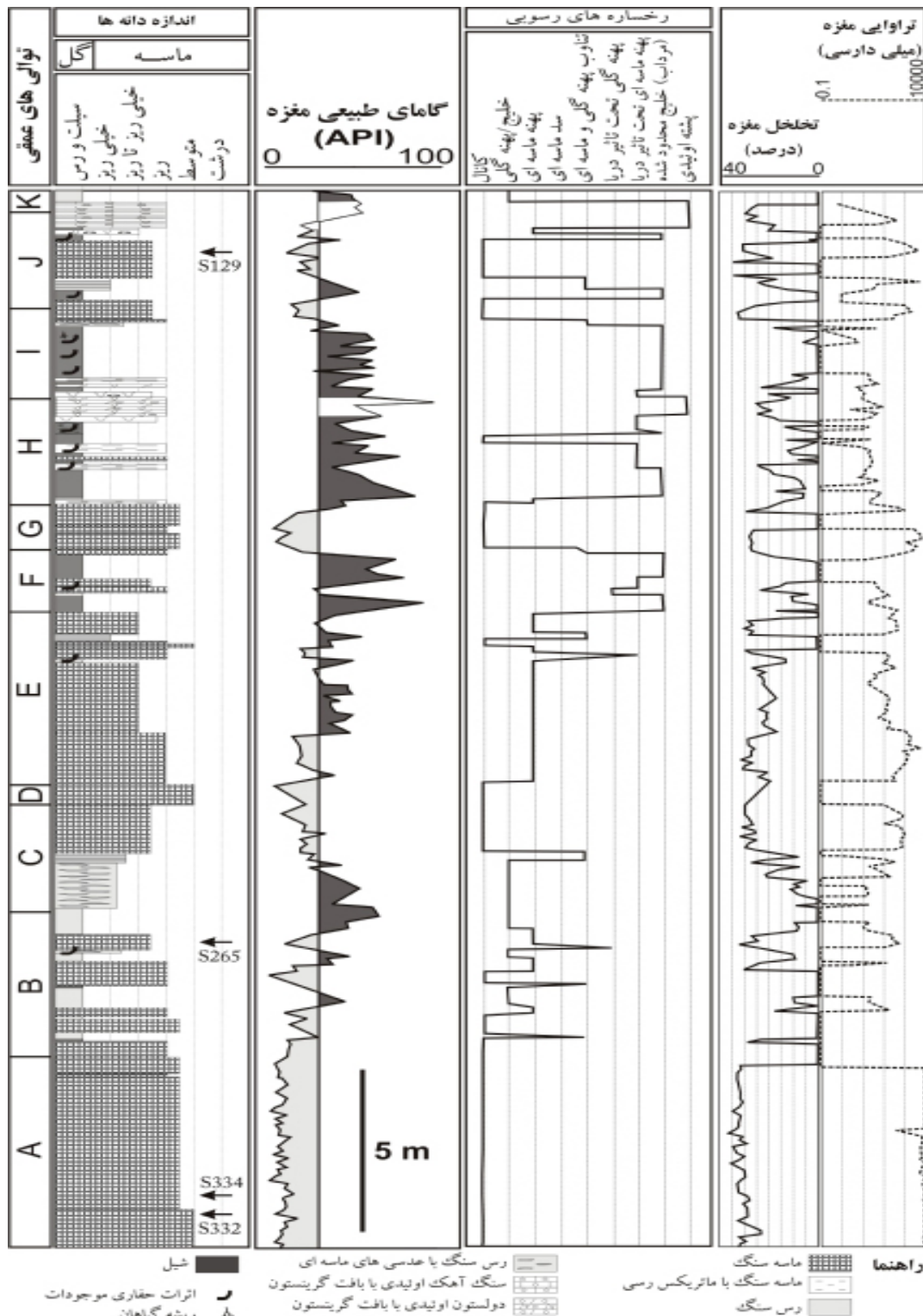
VC: ماسه‌های خیلی درشت C: ماسه‌های درشت M: ماسه‌های متوسط F: ماسه‌های ریز VF: ماسه‌های خیلی ریز

شکل ۸- هیستوگرام فرآوانی و منحنی تجمعی (نمودار خط‌چین) اندازه دانه‌ها در تعدادی از نمونه‌های ماسه‌ای سست سازند بورقان در میدان مورد مطالعه. با افزایش اندازه و جورشده‌گی دانه‌ها تخلخل و بویژه تراوایی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. شکل‌های الف، ب و ج مربوط به رخساره کانالی (رخساره ۱) و شکل د مربوط به رخساره پهنه ماسه‌ای (رخساره ۳) است. در شکل د به دلیل وجود ۱۸٪ ماتریکس دانه ریز (در اندازه رس) منحنی تجمعی به ۱۰۰٪ نرسیده است.

مقادیر تخلخل و تراوایی در دو نمونه ۳۳۲ (شکل ۸-ب) و ۳۳۴ (شکل ۸-الف) تاثیر عامل جورشده‌گی را بر خواص مخزنی ماسه‌ها نشان می‌دهد. کاهش جورشده‌گی در نمونه دانه‌ریز تا متوسط ۳۳۲ نسبت به نمونه ۳۳۴ با کاهش ۴٪ مقدار تخلخل مغزه و بیش از ۲۰۰۰ mD در مقدار تراوایی همراه می‌باشد. این شکل نشان می‌دهد که تاثیر اندازه و جورشده‌گی دانه‌ها بر روی تراوایی به مراتب بیشتر از تخلخل است.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که به ویژه در توالی‌های آواری ارتباط خوبی بین مقدار رادیواکتیویته طبیعی سازند با سنگ‌شناسی، مقدار شیلی بودن و اندازه دانه‌ها وجود دارد [۱۹ و ۲۰].

موقعیت نمونه‌های انتخابی در شکل ستون سنگ‌شناسی شکل ۹ نشان داده شده است. در این شکل ارتباط خوبی بین اندازه و جورشده‌گی دانه‌ها با خواص پتروفیزیکی ماسه‌ها مشاهده می‌شود. به طوری که هرچه اندازه دانه‌ها کاهش یافته و جورشده‌گی ضعیف‌تر می‌شود، تخلخل و تراوایی ماسه‌ها نیز کاهش می‌یابد و برعکس. ماسه‌های دانه ریز تا متوسط با جورشده‌گی خوب (شکل ۸-الف) دارای تخلخل و تراوایی ۳۲/۵٪ و ۱۲۱۵۵ mD می‌باشند در حالیکه ماسه‌های خیلی دانه‌ریز با جورشده‌گی ضعیف (شکل ۸-د) ۲۳/۸ درصد تخلخل و تراوایی ۱۲۰ mD دارند. مقایسه



شکل ۹- نمودار سنگ‌شناسی، اندازه دانه‌ها، رخساره رسوبی، مقادیر تخلخل و تراوایی و گامای طبیعی در سازند بورقان در میدان مورد مطالعه. لازم به ذکر است که زون‌های فاقد مقادیر تخلخل و تراوایی مناطقی را نشان می‌دهد که امکان تهیه پلاگ از آنها نبوده است. موقعیت ۴ نمونه انتخابی (در شکل ۸) برای آنالیز دانه‌بندی در ستون سنگ‌شناسی نشان داده شده است.

ارتباط خوبی بین مقدار رادیواکتیویته طبیعی و کیفیت مخزنی این سازند پیدا کرد [۱۵ و ۲۱].

بنابراین انتظار می‌رود با توجه به ارتباط بین رخساره رسوبی و اندازه دانه‌ها با تخلخل و تراوایی سازند بورقان، بتوان با استفاده از نمودار گامای طبیعی^۱

1. Gamma Ray Log

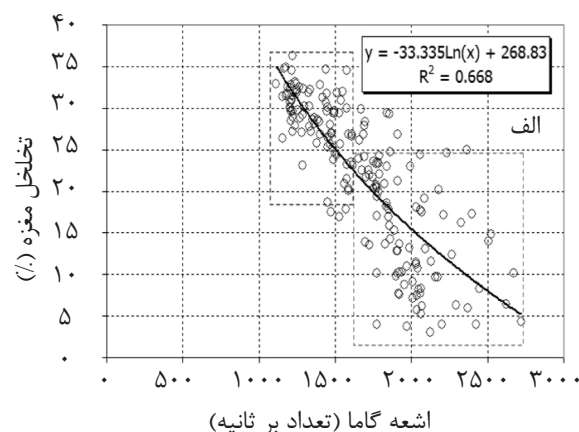
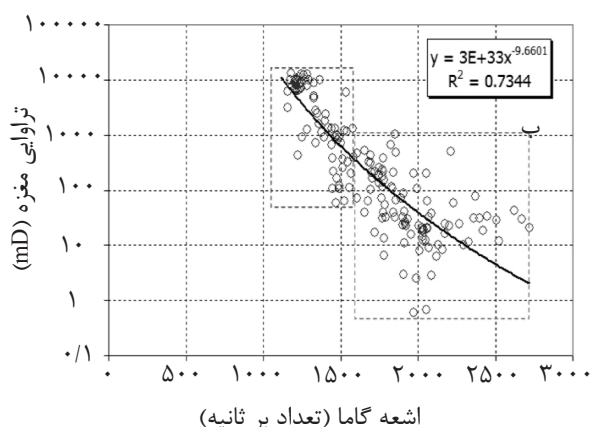
رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار گامای طبیعی، تخلخل و تراوایی نمونه‌های مغزه کاهش می‌یابد. افزایش مقدار گامای طبیعی معرف افزایش حجم ماتریکس رسوبی در سازند می‌باشد که باعث اشغال بخشی از فضاهای خالی^۲ موجود در سنگ شده و کیفیت مخزنی را کاهش می‌دهد.

بنابراین مقایسه تغییرات مقدار گامای طبیعی در سازند بورقان با تغییرات سنگ‌شناسی، تخلخل و تراوایی نمونه‌ها نشان می‌دهد که نمودار گاما ابزاری بسیار کارآمد در مطالعات رسوب‌شناسی، مدل‌سازی دو و سه بعدی توالی‌های شیلی-ماسه سنگی و حتی تخمین کیفیت مخزنی در این توالی‌ها می‌باشد. مقدار گامای طبیعی سازند از طریق ارتباط با حجم شیل یا ماتریکس رسوبی و در نتیجه اندازه دانه‌ها در ماسه سنگ‌ها، می‌تواند شاخص تعیین سنگ‌شناسی و تراوایی بخش‌های مختلف سازند باشد [۱۵ و ۲۱].

ارتباط تغییرات رادیواکتیویته طبیعی با سنگ‌شناسی و کیفیت مخزنی

برای اندازه‌گیری مقدار رادیواکتیویته طبیعی نمونه‌های مغزه سازند بورقان در میدان مورد مطالعه یک طیف سنج اشعه گاما بکار گرفته شد. هدف از تهیه نمودار گامای نمونه‌های مغزه، انطباق نمودار گامای مغزه با گامای چاه و تعیین مقدار تغییر عمق نمونه‌های مغزه^۱ نسبت به گامای سرچاهی بود. شکل نمودار تغییرات مقدار گاما تا حدود زیادی تغییرات سنگ‌شناسی و رخساره‌ای در این سازند را نشان داد. با کاهش اندازه دانه‌ها و افزایش درصد ماتریکس رسوبی، مقدار نمودار گاما افزایش یافت (شکل ۹). کمترین و بیشترین مقادیر گامای طبیعی، به ترتیب، در ماسه‌های دانه متوسط کانالی و شیل/رس سنگ‌ها مشاهده گردید. مرز بین شیل‌ها/رس سنگ‌ها و ماسه سنگ‌های دانه متوسط روی آنها با کاهش مشخص مقدار گاما در مرز بین افق‌های F و G مشاهده شد (شکل ۹).

در شکل ۱۰ نمودارهای تغییر تخلخل و تراوایی در مقابل مقدار رادیواکتیویته طبیعی سازند بورقان



شکل ۱۰- نمودارهای تغییر الف) تخلخل و ب) تراوایی نسبت به مقدار گامای طبیعی نمونه‌های مغزه در سازند بورقان در میدان مورد مطالعه. در شکل محدوده ماسه سنگ‌های کانالی متخلخل و تراوا (محدوده با گامای کمتر و تخلخل و تراوایی بیشتر) از شیل‌ها، رس سنگ‌ها و ماسه سنگ‌های رسی، (محدوده با گامای بیشتر و تخلخل و تراوایی کمتر)، تفکیک شده است. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش مقدار گامای طبیعی، تخلخل و تراوایی نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

1. Depth Shifting
2. Pore Space

نتیجه گیری

و تغییرات نسبتاً زیادی در مقدار تخلخل و تراوایی این نمونه‌ها گردیده است. تناوب لایه‌های نازک شیل و ماسه سنگ در نمونه‌های متعلق به رخساره ۴ نیز از عوامل مهم دیگر در ناهمگونی مخزنی سازند بورقان محسوب می‌شود. لایه‌های رس سنگی و شیلی (رخساره‌های ۲، ۵ و ۷) با تخلخل و تراوایی پایین به عنوان بخش‌های ناتراوا در مخزن بورقان محسوب شده و غیریکنواختی مخزنی را در جهات افقی و قائم سبب شده است.

مطالعات رسوب‌شناسی و پتروفیزیکی انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهد که رخساره رسوبی، ویژگی‌های بافتی رسوبات (به ویژه اندازه و جورشدگی دانه‌ها) و بعضاً گسترش ماتریکس رسوبی مهمترین عوامل کنترل کننده کیفیت مخزنی سازند بورقان محسوب می‌شوند. ضمن اینکه گسترش زیست آشفستگی و وجود لامینه‌های رسی نیز نقش مهمی در ایجاد ناهمگونی مخزنی و قابلیت تولید از این سازند ایفا می‌نماید. لذا انجام فعالیت‌های توسعه‌ای بر روی مخزن بورقان در این میدان و میادین نفتی این منطقه مستلزم مدل‌سازی رخساره‌های رسوبی، به عنوان مهمترین عامل کنترل کننده کیفیت مخزنی، در این سازند می‌باشد.

سازند بورقان در میدان مورد مطالعه متشکل از ماسه‌سنگ‌های خیلی دانه ریز تا دانه متوسط، رس سنگ، شیل‌های آهکی و توالی‌های محدود کربناته بوده که در یک خلیج دهانه‌ای تحت تاثیر جزر و مد نهشته شده است. نمونه‌های سست ماسه‌ای متعلق به رخساره ۱ (عمدتاً ماسه‌های کانالی) به دلیل عدم وجود هرگونه سیمان و یا ماتریکس رسوبی از بالاترین کیفیت مخزنی برخوردار بوده و بهترین واحدهای جریان‌ی مخزن بورقان را تشکیل می‌دهند. مقادیر تخلخل و تراوایی در نمونه‌های سست کانالی، به ترتیب، به بیش از ۳۶٪ و ۱۳۰۰۰ mD می‌رسد. در این نمونه‌ها تخلخل و به ویژه تراوایی توسط اندازه و جورشدگی دانه‌ها کنترل می‌شود به طوری که با افزایش اندازه و جورشدگی دانه‌های ماسه، کیفیت مخزنی بهبود می‌یابد. وجود توالی‌های ضخیم از این نوع نهشته‌های ماسه‌ای متخلخل و تراوا، در بخش پایینی سازند بورقان، سبب یکنواختی مخزنی در جهات افقی و قائم گردیده است.

در ماسه سنگ‌های سخت شده متعلق به رخساره پهنه ماسه‌ای وجود ماتریکس رسوبی و دولومیتی باعث کاهش تخلخل و تراوایی شده است. از سوی دیگر زیست آشفستگی و اثرات حفاری موجودات در ماسه سنگ‌های پهنه ماسه‌ای باعث ایجاد ناهمگونی

منابع

- [1]. Denby P., Guit F., and Willet A., "Integrated development and early production scheme for the burgan reservoir in the soroosh and Nowrooz fields offshore Iran," Society of Petroleum Engineers, SPE 68200, 2001.
- [2]. Al-Eidan A. J., Wethington W. B., and Davies R. B., "Upper urgan eservoir escription," Northern Kuwait: Impact on Reservoir Development, GeoArabia, Vol. 6, No. 2, pp. 179-208, 2001.
- [3]. Kaufman R. L., Dashti H., Kabir C. S., Pederson J. M., Moon M. S., Quttainah R., and Al-Wael H., "Characterizing the greater Burgan Field: use of geochemistry and oil fingerprinting," SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 78129, 2002.
- [4]. Strohmenger C. J., Demko T. M., Mitchell J. C., Patterson P. E., Lehmann P. J., Al-Sahlan G., and Al-Enezi H., "Sequence stratigraphy of the burgan and mauddud formations (lower cretaceous, Kuwait)," Reservoir Distribution and Quality in a Carbonate-Clastic Transition, AAPG Annual Meeting, Houston, Texas, 2002.

- [5]. Alsharhan A. S. and Nairn A. E. M., "Sedimentary basins and petroleum geology of the middle east," Elsevier Science, 2003.
- [6]. Abdul Azim S., Al-Awadi W., Al-Ajeel H., Hassan Y., Cameron P., Abdullah S., and El-Baradi A., "Impact of paleo-current analysis on reservoir description of Burgan clastic reservoirs, North Kuwait," AAPG International Conference, Cancun, Mexico, pp. 24-27, Oct. 2004.
- [7]. Strohmenger C. J., Patterson P. E., Al-Sahlan G., Mitchell J. C., Feldman H. R., Demko T. M., Wellner R. W., Lehmann P. J., McCrimmon G. G., Broomhall R. W., and Al-Ajmi N., "Sequence stratigraphy and reservoir architecture of the burgan and maddud formations (kower cretaceous)," Kuwait, in P. M. Harris and L. J. Weber, eds., Giant hydrocarbon reservoirs of the world: From rocks to reservoir characterization and modeling: AAPG Memoir 88/SEPM Special Publication, pp. 213-245, 2006.
- [8]. Filak J. M., Van Lint J., Desgoutte E. L. N., Fabre G., Ali F., Ma E., Datta K., Al-Houti R., and Madhavan S., "3D geological modeling of the world's largest siliciclastic reservoirs: greater Burgan Field," Kuwait, AAPG Annual Convention & Exhibition, Long Beach, April, 25, 2012.
- [9]. Datta k., Al-Enezi B., Abdullah F., Burman K., Al-Enezi H., Filak J. M., Guerroué E. L., Murat B., Rouse S. and Peysson, A., "New sequence stratigraphic model for the burgan, mauddud and wara formations of greater burgan field, Kuwait," AAPG International Conference and Exhibition, Milan, Italy, pp. 23-26, Oct. 2011.
- [10]. Al-Ajmi Hussain Z. and Abdul Azim S., "Sequence stratigraphy, depositional environment and reservoir geology of albian reservoirs in Kuwait", AAPG Annual Meeting, 2003.
- [۱۱]. هنرمند، ج. و لطف‌پور، م.، "بررسی محیط رسوبی و چینه‌شناسی توالی‌ها در سازند بورقان، میدان نفتی سروش، جنوب غرب ایران"، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه کرمان، ایران، صفحات ۶۰۱-۵۹۷، ۱۳۸۱.
- [۱۲]. هنرمند، ج.، معلمی، ع.، و لطف‌پور، م.، "بررسی رخساره‌های سنگی، محیط رسوبی و چینه‌شناسی توالی‌ها در سازند بورقان در شمال غرب خلیج فارس"، مجله علوم دانشگاه اصفهان، شماره ۳۷، صفحات ۱۵۰-۱۳۵، ۱۳۸۸.
- [13]. Sixsmith P. J., Hampson G. J., Gupta S. Johnson H. D. and Fofana J. F., "Facies architecture of a net transgressive sandstone reservoir analog," the Cretaceous Hosta Tongue, New Mexico: AAPG Bulletin, Vol. 92, No. 4, pp. 513-547, 2008.
- [14]. Dalrymple R. W., Zaitlin B. A., and Boyd R., "Estuarine facies models—Conceptual basis and stratigraphic implications," Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 62, pp. 1130–1146, 1992.
- [15]. Sun S., Shu L., Zeng Y., Cao J., and Feng Z., "Porosity-permeability and textural heterogeneity of reservoir sandstones from the lower cretaceous putaohua member of yaojia formation, weixing oil field, songliao basin, northeast China," Marine and Petroleum Geology, Vol. 24, No. 2, pp. 109-127, 2007.
- [16]. Lucia J. F., "Carbonate reservoir characterization," Springer, 2007.
- [17]. Beard D. C. and Weyl P. K., "Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sands", AAPG Bulletin, Vol. 57, pp. 349-369, 1973.
- [18]. Folk R. L. and Ward W. C., "Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters", Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 27, pp. 3-26, 1957.
- [19]. Martinius A. W., Geel C. R., ad Arribas J., "Lithofacies characterization of fluvial sandstones from outcrop gamma-ray logs, Loranaca Basin, Spain," Petroleum Geoscience, Vol. 8, pp. 51–62, 2002.

- [20]. Ruffell A. H., Worden R. W., and Evans R., "*Palaeoclimate controls on spectral gamma-ray radiation from sandstones*," In: Morad, S. (Ed.), *Clay Cements in Sandstones*. Special Publication of the International Association of Sedimentologists, Vol. 34, pp. 93–108, 2003.
- [21]. Zhang J., Qin L., and Zhang Z., "*Depositional facies, diagenesis and their impact on the reservoir quality of Silurian sandstones from Tazhong area in central Tarim Basin, western China*," *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 33, pp. 42-60, 2008.
- [22]. Yan J., "*Reservoir parameters estimation from well log and core data: a case study from the North Sea*," *Petroleum Geoscience*, Vol. 8, No. 1, pp. 63-69, 2002.
- [23]. Evans R., Mory A. J., and Tait A. M., "*An outcrop gamma ray study of the Tumblagooda Sandstone, Western Australia*," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 57, pp. 37–59, 2007.