

تلفیق مطالعات زمین‌شناسی و پتروفیزیکی به منظور ارزیابی ناهمگنی‌های مخزنی در توالی‌های رسوبی کربناته: مطالعه موردی از مخازن پرمین - تریاس خلیج فارس

محمدحسین دهاقین^۱، حمزه مهرابی^{۲*}، حسین رحیم‌پوربناب^۳ و بیژن بیرانوند^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- استاد دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴- استادیار پژوهشکده علوم‌زمین، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

نویسنده مسئول: mehrabi.hamze@ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۸

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در این پژوهش بر اساس تلفیق داده و اطلاعات بدست آمده از مغزه‌های حفاری و برش‌های نازک میکروسکوپی به بررسی و ارزیابی ناهمگنی‌های مخزنی در توالی‌های کربناته دالان بالایی و کنگان پرداخته شده است. هدف از این پژوهش تعیین گونه‌های سنگی مخزنی، واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی و زون‌بندی مخزنی بر اساس روش لورنز (SMLP) و بررسی ارتباطات موجود بین این مفاهیم با جایگاه‌های سکansı توالی‌های مورد نظر می‌باشد. بر اساس اطلاعات در دسترس، تعداد ۷ گونه سنگی مخزنی و ۸ واحد جریان‌ی هیدرولیکی با استفاده از مفهوم نشانگر زون جریان تعیین شده است. همچنین بر اساس روش لورنز، تعداد ۱۵ زون مخزنی و غیرمخزنی در این توالی‌ها شناسایی گردید که هر زون از یک یا چند گونه سنگی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی و پتروفیزیکی تقریباً مشابه تشکیل شده است. گونه سنگی PRT1 شامل انیدریت متراکم، پایین‌ترین کیفیت مخزنی و گونه سنگی PRT7 شامل پکستون/گرینستون‌های دولومیتی شده بهترین کیفیت مخزنی را در سازندهای مورد مطالعه دارا می‌باشند. سایر گونه‌های سنگی بنابر رخساره و فرآیندهای دیاژنزی غالب، کیفیت مخزنی متوسط تا ضعیفی دارند. سازند کنگان در توالی‌های مورد مطالعه به ۵ زون تقسیم می‌شود که شامل ۱ زون تله‌ای و ۱ زون مخزنی در واحد K1 و ۲ زون مخزنی و ۱ زون سرعت در واحد K2 می‌باشد. همچنین تعداد ۱۰ زون نیز در سازند دالان بالایی (۱ زون تله‌ای، ۱ زون مخزنی، ۱ زون سرعت و ۱ زون سدی در واحد K3 و ۴ زون مخزنی و ۲ زون تله‌ای در واحد K4) شناسایی و تفکیک شده است. ناهمگنی‌های کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس در توالی‌های مخزنی مورد مطالعه بر مبنای تلفیق روش‌های پتروفیزیکی و مطالعات پتروگرافی مورد بررسی قرار گرفته و جایگاه سکansı آن‌ها مشخص گردیده است. در نتیجه مشخص گردید که بخش‌های غیرمخزنی مخازن دالان بالایی و کنگان در سیستم تراکت RST سکانس UDS3 و بخش بالایی سیستم تراکت RST سکانس KS1 متمرکز شده‌اند و افق‌های مخزنی خوبی در سکانس‌های رسوبی UDS4، بخش میانی و بالایی سکانس KS2 و ابتدای سکانس KS1 قابل مشاهده است.

واژگان کلیدی: واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی، زون‌بندی مخزن، چینه‌نگاری سکansı، دالان و کنگان، خلیج فارس

۱- پیشگفتار

هیدروکربنی در ایران و خاورمیانه توسط سنگ‌های کربناته میزبانی می‌شوند که به دلیل ویژگی‌های رسوبی و دیاژنزی پیچیده، بسیار ناهمگن هستند (آر، ۲۰۰۸؛ توکلی، ۲۰۲۰). از دیدگاه زمین‌شناسی، ناهمگنی‌های تحت تاثیر فرآیندهای رسوبی و بخش عمده‌ای از ناهمگنی‌های تحت تاثیر فرآیندهای دیاژنزی می‌توانند با تغییرات سطح نسبی آب دریا مرتبط باشند که در اینصورت در یک چارچوب چینه‌نگاری سکansı قابل پیش‌بینی هستند

ناهمگنی‌های مخزنی شامل مجموعه تغییراتی است که در ویژگی‌های یک مخزن مانند اندازه دانه، شکل، جورشدگی، بافت، انواع منافذ و ترکیبات کانی‌شناسی و در مقیاس‌های مختلف رخ می‌دهد. این مجموعه تغییرات باعث دگرگونی در ویژگی‌های مخزن مانند تخلخل، نفوذپذیری، اشباع سیالات، فشار موینگی و... می‌شود (نورمی و همکاران، ۱۹۹۰؛ تیاب و دونالدسون، ۲۰۱۵). اکثر منابع

یک ساختار منطقه‌ای در بخش مرکزی خلیج فارس ایجاد شده است (زیگلر، ۲۰۰۱). این ساختار یک تاق‌دیس ملایم بسیار بزرگ (بیش از ۱۰۰ کیلومتر عرض و ۳۰۰ کیلومتر طول) می‌باشد (اینسالاکو و همکاران، ۲۰۰۶). طبق داده‌های لرزه‌نگاری دریایی، این ساختار دارای جهت شمال شرقی- جنوب غربی در بخش ایران در خلیج فارس است و به سمت جنوب تا شبه جزیره قطر ادامه دارد (پروتی و همکاران، ۲۰۱۱). در اوایل پرمین پسین، به دلیل پیشروی گسترده آب دریا همراه با باز شدن اقیانوس نفوذتیس منجر به توسعه سکوهایی با زاویه بسیار کم همانند رمپ، در شمال شرق حاشیه غیرفعال صفحه عربی شده است (پیلوت، ۱۹۹۳؛ ادگل، ۱۹۹۶؛ شارلند و همکاران، ۲۰۰۱). به دنبال پسروی آب در اواخر پرمین پسین تا اوایل تریاس توالی‌های کربنات-تبخیری ضخیمی بر روی این پلتفرم‌ها نهشته شده‌اند (زیگلر، ۲۰۰۱؛ اینسالاکو و همکاران، ۲۰۰۶). توالی‌های پرمین-تریاس در بخش مرکزی خلیج فارس به سازندهای دالان-کنگان معروف است (شکل ۱). سازندهای دالان و کنگان و معادل این‌ها در صفحه عربی (سازند خوف)، بزرگ‌ترین ذخیره گاز جهان (میدان‌های پارس جنوبی و گنبد شمالی) را در خاورمیانه تشکیل داده‌اند (الشرحان، ۲۰۰۶؛ ارنبرگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ کوثر و همکاران، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲؛ زلر و همکاران، ۲۰۱۱). سازند دالان از نظر چینه‌نگاری به سه عضو، شامل دالان پایینی (LD)، تبخیری نار (NEV) و دالان بالایی (UD) تقسیم می‌شود (ادگل، ۱۹۷۷) این سازند توسط سازند کنگان در امتداد ناپیوستگی مرز پرمین-تریاس پوشانده شده است (زابو و خردپیر، ۱۹۷۸) با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی، توالی‌های دالان بالایی و کنگان را می‌توان به چهار واحد مخزنی K1 تا K4 تقسیم کرد (اینسالاکو و همکاران، ۲۰۰۶). بر این اساس، واحدهای K4 و K3 مربوط به دالان بالایی، عمدتاً از سنگ آهک تا سنگ دولومیت آهک (K4) و دولومیت تا انیدریت (K3) تشکیل شده‌اند. سازند کنگان نیز شامل دو واحد می‌باشد که واحد K2 از سنگ آهک تا دولوستون و انیدریت تشکیل شده و واحد K1 شامل انیدریت، دولوستون و سنگ آهک است (شکل ۲).

(رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۲؛ عنایتی‌بیدگلی و رحیم‌پوربناب، ۲۰۱۶؛ مهرابی و همکاران، ۲۰۱۹). در خلیج فارس توالی پرمین-تریاس میزبان بزرگ‌ترین ذخایر گازی جهان است که با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی خود، به عنوان مخازن ناهمگن شناخته می‌شوند (ارنبرگ، ۲۰۰۶؛ مهرابی و همکاران، ۲۰۱۶). با مطالعاتی که در سال‌های گذشته انجام گرفته است (نظیر رحیم‌پوربناب، ۲۰۰۷؛ رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۴؛ عنایتی‌بیدگلی و رحیم‌پوربناب، ۲۰۱۶) تعدادی از سدهای درون مخزنی و زون‌های تله‌ای در این توالی‌ها شناسایی شده است که می‌توانند جریان سیال را در مقیاس و جهات مختلف تغییر دهند. تغییرات شدید در خصوصیات مخزنی نیز در برخی از مطالعات قبلی با استفاده از مفاهیم نشانگر منطقه جریان^۱، فشار موینه تزریق جیوه^۲، داده‌های ژئوشیمیایی، گزارش لاگ تشدید مغناطیس هسته‌ای^۳ و چندین مطالعه رسوب‌شناسی دیگر گزارش شده است.

این مطالعه با هدف ایجاد ارتباط میان توصیفات کیفی رسوب‌شناختی با اندازه‌گیری‌های کمی مخزنی به منظور بررسی ناهمگنی‌های موجود در توالی‌های پرمین - تریاس خلیج فارس انجام شده است. تفکیک مخازن با واحدهای غیرمخزنی، تفکیک ناهمگنی‌ها در مقیاس‌های مختلف، تجزیه و تحلیل کمی ناهمگنی‌های میکروسکوپی در تمام مخزن و تعیین چارچوب چینه‌نگاری سکانشی ناهمگنی‌های درون مخزن در توالی‌های پرمین-تریاس خلیج فارس از دیگر اهداف این مطالعه می‌باشد. برای دستیابی به این اهداف، تجزیه و تحلیل یکپارچه رسوب‌شناسی و پتروفیزیکی مخزن در بخش‌های زیر سطحی خلیج فارس انجام می‌پذیرد.

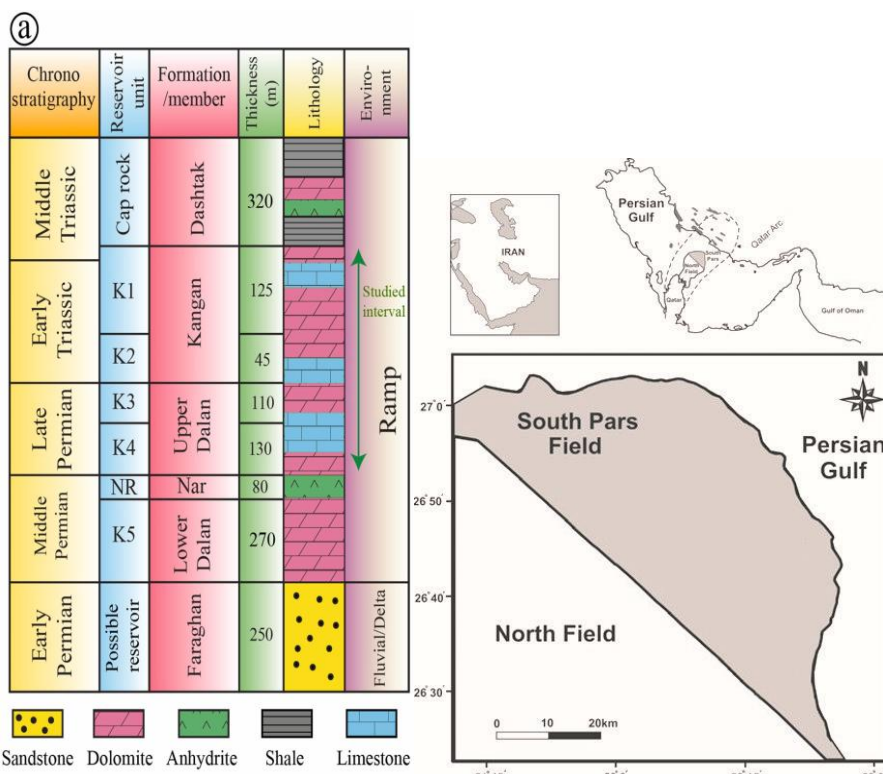
۲- زمین‌شناسی منطقه و چینه‌شناسی

بخش مرکزی خلیج فارس قسمتی از حاشیه شمال غربی صفحه عربی است (شکل ۱)، که از زمان پرکامبرین تا حال حاضر یک تکامل پیچیده زمین‌شناسی ساختاری را تجربه کرده است (ادگل، ۱۹۹۶؛ توانی و همکاران، ۲۰۱۸). مورفولوژی کلی این منطقه تحت تأثیر کمان قطر-فارس قرار گرفته است (آلی و همکاران، ۲۰۰۶)، در اواخر پرکامبرین تا اوایل کامبرین به دلیل حرکات تکتونیکی،

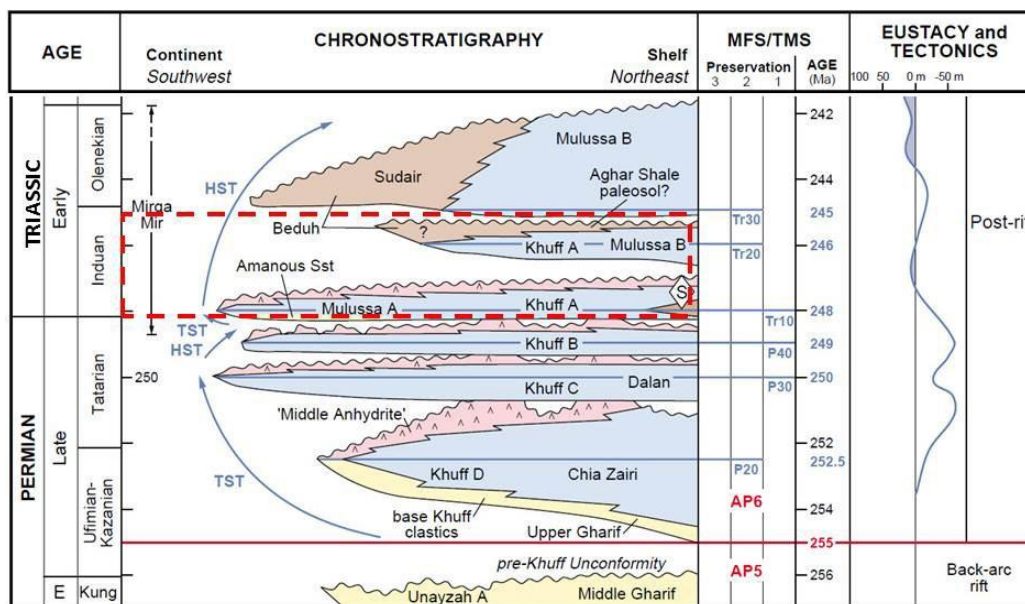
³ NMR

¹ FZI

² MICP



شکل ۱. چین‌نگاری توالی‌های پرمین-تریاس (a) (توکلی، ۲۰۲۱) و موقعیت میدان مورد مطالعه در بخش مرکزی خلیج فارس (با کمی تغییر، رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۲. نمودار کروئوئاستراتیگرافی مربوط به گسترش سازندهای موجود در پلتفرم عربی در زمان‌های پرمین و تریاس همراه با سطوح حداکثر پیشروی دریای پرمین و تریاس (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱).

۳- داده‌ها و روش‌های مطالعه

تعیین واحدهای جریانی و زون بندی مخزنی استفاده شده است. همچنین جهت شناسایی ویژگی‌های رسوبی و دیانرژی که بر روی مخزن اثرگذار بوده‌اند تعداد ۳۹۱ برش نازک تهیه شده از مغزه‌های حفاری که با آلزارین قرمز رنگ آمیزی شده‌اند مطالعه گردید.

داده‌های اصلی و ضروری مورد نیاز در این مطالعه، در مجموع شامل ۷۴۰ داده تخلخل و تراوایی مغزه و یا در نبود آن‌ها، داده‌های لاگ تطابق داده شده با مغزه، در یکی از چاه‌های بخش مرکزی خلیج فارس می‌باشد که برای

پرکننده حفرات، هندسه سیستم حفرات و اثرات دیاژنزی می‌باشد (پراس و همکاران، ۱۹۹۹). واحدهای جریان هیدرولیکی را می‌توان براساس مقادیر شاخص زون جریان شناسایی کرد. جهت تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از شاخص زون جریانی، روش‌های مختلفی وجود دارد که اغلب روش‌های ترسیم نمودار احتمال نرمال^۵ لگاریتم شاخص زون جریانی که از داده‌های تخلخل و تراوایی محاسبه می‌گردد و آنالیز خوشه‌ای پیوسته^۶ توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است (الاجمی و همکاران، ۲۰۰۰؛ سوتو و همکاران، ۲۰۰۱؛ کدخدایی و امینی، ۲۰۰۹؛ مهرابی و همکاران، ۲۰۱۹).

روش لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه‌نگاری یکی از بهترین روش‌ها برای ارزیابی حداقل تعداد واحدهای جریانی در مخزن می‌باشد (گانتر، ۱۹۹۷). سازندهای دالان بالایی و کنگان با وجود تنوع رخساره‌ای و نیز فرآیندهای متعدد دیاژنزی، دارای ناهمگنی‌های مختلفی در مقیاس‌های مختلف هستند (توکی و همکاران، ۲۰۱۰). وجود این ناهمگنی‌ها سبب ایجاد واحدهای مختلف مخزنی و غیرمخزنی نظیر زون‌های سدی^۴ و تله‌ای^۵ در درون این سازندها شده و مطابق‌شدگی^۶ آن‌ها را در مقیاس عمودی در پی داشته است (رحیم‌پوربناب، ۲۰۰۷). در این مطالعه بر اساس میزان تخلخل و تراوایی چهار نوع واحد جریانی قابل شناسایی است که شامل: واحدهای مخزنی^۷، سدها یا موانع جریان، تله‌ها یا زون‌هایی که در حرکت سیال آشفستگی ایجاد می‌کنند و زون‌های سرعت یا گذرگاه‌ها^۸ می‌باشد. مقادیر ظرفیت ذخیره تجمعی و ظرفیت جریانی تجمعی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌گردند (مگلیوجانسون، ۲۰۰۰):

$$(kh)cum = \frac{k_1(h_1 - h_0) + k_2(h_2 - h_1) + \dots + k_i(h_i - h_{i-1})}{\sum k_i(h_i - h_{i-1})}$$

$$(\phi h)cum = \frac{\phi_1(h_1 - h_0) + \phi_2(h_2 - h_1) + \dots + \phi_i(h_i - h_{i-1})}{\sum \phi_i(h_i - h_{i-1})}$$

که در این معادلات، K تراوایی برحسب میلی‌داری، h عمق نمونه بر حسب متر و ϕ تخلخل به صورت کسری است. در ابتدا نمودار متقاطع دوبعدی درصد ظرفیت جریان در مقابل درصد ظرفیت ذخیره با استفاده از فرمول‌های بالا رسم می‌گردد (شکل ۸). سپس بر پایه نقاط شکست در

جهت نام‌گذاری رخساره‌ها از روش دانهام (۱۹۶۲) و امری کلوان (۱۹۷۱) استفاده شده و تفسیر رخساره‌ها با کمک مدل استاندارد فلوگل (۲۰۱۰) صورت گرفته است. از تلفیق نتایج مطالعات رخساره‌ای و دیاژنزی و با در نظر گرفتن نوع غالب حفرات و مقادیر تخلخل و تراوایی، گونه‌های سنگی پتروگرافی تعریف شده‌اند (مهرابی و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین مقادیر تخلخل و تراوایی پلاگ‌های تهیه شده از مغزه‌های حفاری در آزمایشگاه پژوهشگاه صنعت نفت با استفاده از گاز هلیوم اندازه‌گیری شده است. واحدهای جریانی مفهومی است که برای ارتباط دادن داده‌های مهندسی نفت و داده‌های زمین‌شناسان بکار می‌رود. مبنای واحدهای جریانی هیدرولیکی بر پایه ارتباط بین تخلخل و تراوایی می‌باشد که در اصل توسط کوزنی (کوزنی، ۱۹۲۷) و کارمن (کارمن، ۱۹۳۷) پیشنهاد شد. برای تعیین واحدهای جریانی هیدرولیکی با استفاده از روش شاخص زون جریانی^۱ که برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط آمافوله و همکارانش ارایه شد، داشتن اطلاعات RQI و FZI لازم و ضروری است. بنابراین برای هر داده تخلخل و تراوایی، مقادیر RQI و FZI با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه می‌شود.

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{K}{\phi}}$$

$$\phi_e = \frac{\phi}{(1 - \phi)}$$

$$FZI = \frac{RQI}{\phi_e}$$

در این معادلات K تراوایی، ϕ_e تخلخل نرمال شده و ۰/۰۳۱۴ فاکتور تبدیل تراوایی از میکرومتر مربع به میلی‌داری است. RQI به عنوان شاخص کیفیت مخزنی شناخته می‌شود و برآوردی از میانگین شعاع هیدرولیکی در سنگ مخزن می‌باشد. در واقع شاخص کیفیت مخزنی باعث ارتباط تخلخل، تراوایی و فشار موینه با یکدیگر می‌شود. نسبت حجم حفره به حجم سنگ را تخلخل نرمال شده می‌گویند (عباس‌زاده و همکاران، ۱۹۹۶؛ آمافوله و همکاران، ۱۹۹۳). FZI یا شاخص زون جریان، نشان‌دهنده ارتباط بین گلوگاه حفرات، پیچ و خم و سطح ویژه موثر بر اساس خصوصیات بافتی رسوبات، مانند نوع سیمان

^۵ Baffle

^۶ Compartmentalization

^۷ Reservoir unit

^۸ Speed Zone

^۱ FZI

^۲ Normal Probability

^۳ Hierarchical Cluster Analysis

^۴ Barrier

نمودار مرز واحدهای جریانی انتخاب می‌گردد. بخش‌های پرشیب نمودار، ظرفیت جریان بیشتری نسبت به ظرفیت ذخیره داشته (نسبت تراوایی به تخلخل بالا) که اصطلاحاً زون‌های پرسرعت نامیده می‌شوند. بخش‌هایی از نمودار که دارای شیب کمتری هستند، ظرفیت ذخیره بالا و ظرفیت جریان کمی دارند که زون‌های غیرمخزنی نامیده می‌شوند (چپرا، ۱۹۸۹).

۴- نتایج

۴-۱- رسوب‌شناسی مخزن

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، تعداد ۱۳ رخساره در توالی‌های دالان بالایی و کنگان در میدان مورد مطالعه شناسایی گردید (شکل ۳). انواع رخساره‌های شناسایی شده همراه با خصوصیات بافتی آن‌ها به اختصار در جدول ۱ نشان داده شده است. مشخصات رخساره‌ای و محیط‌رسوبی کامل این توالی‌ها در مطالعات پیشین توسط پژوهشگران مورد بحث قرار گرفته است (اینسالاکو و همکاران، ۲۰۰۶؛ توکلی و همکاران، ۲۰۱۱؛ عنایتی بیدگلی و رحیم‌پوربناب، ۲۰۱۲؛ مهربانی و همکاران، ۲۰۱۵) با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی مقاطع نازک توالی‌های مورد مطالعه و همچنین ریزرخساره‌های شناسایی شده به همراه شواهد معتبر دیگر از جمله عدم وجود ریف‌های بزرگ سدی و نهشته‌های توربیدیتی، گسترش نسبی پهنه‌های جزرومدی همراه با رخساره‌های سدی اوویدی نشان می‌دهد که بخش بزرگی از توالی‌های مخزنی مورد مطالعه در یک رمپ کربناته هم‌شیب با شرایط آب و هوایی گرم و خشک نهشته شده است (اینسالاکو و همکاران، ۲۰۰۶؛ رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۰)، که شامل چهار کمر بند رخساره‌ای پهنه جزرومدی، لاگون، پشته‌های سدی زیر دریایی به موازات ساحل و دریای باز می‌باشد. این رخساره‌ها، طی گذر از محیط‌های دیاژنزی دریایی، هایپرزالین و دفنی کم‌عمق تا عمیق، متحمل فرآیندهای مختلفی نظیر میکرایتی شدن، سیمانی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، تبلور مجدد و فشردگی (فیزیکی تا شیمیایی) شده‌اند (اسرافیلی‌دیزجی و رحیم‌پوربناب، ۲۰۰۹؛ توکلی و همکاران، ۲۰۱۱؛ مهربانی و همکاران، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶). در این توالی‌ها دیاژنز به عنوان عامل

مهمی در کنترل کیفیت مخزنی مطرح می‌باشد. سازندهای دالان و کنگان در برابر تغییرات کانی‌شناسی و بافتی، سیمانی شدن و انحلال بسیار حساس بوده‌اند و در طی زمان؛ دیاژن‌های متعددی را متحمل گشته‌اند. این فرآیندها از راه‌های مختلف بر روی خصوصیات مخزنی اولیه رخساره‌ها و نوع حفرات آن‌ها تاثیرگذار بوده‌اند. از این رو، فرآیندهای دیاژنزی موثر بر کیفیت مخزنی این توالی‌ها را می‌توان در دو گروه عمده قرار داد: ۱) فرآیندهای دیاژنزی افزایش کیفیت مخزنی، شامل انحلال و دولومیتی شدن و ۲) فرآیندهای دیاژنزی کاهش کیفیت مخزنی، شامل انواع سیمانی شدن و فشردگی.

با مطالعات صورت گرفته در توالی‌های مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان، چهار سکانس رده سوم^۹ و نه سکانس رده چهارم^{۱۰} به همراه یک سیستم تراکت RST مشترک با بخش پایینی دالان بالایی تا عضو تبخیری نار شناسایی شد که سطوح چین‌های اصلی سکانس رده سوم شامل پنج مرز سکانشی^{۱۱} و چهار سطح حداکثر غرقابی^{۱۲} و سطوح چین‌های سکانس رده چهارم مشتمل بر ده مرز سکانشی و ده سطح حداکثر غرقابی می‌باشد. این سکانس‌های شناسایی شده قسمتی از یک سکانس پیشرونده - پسرونده رده دوم هستند (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱).

۴-۲- گونه‌های سنگی رسوبی

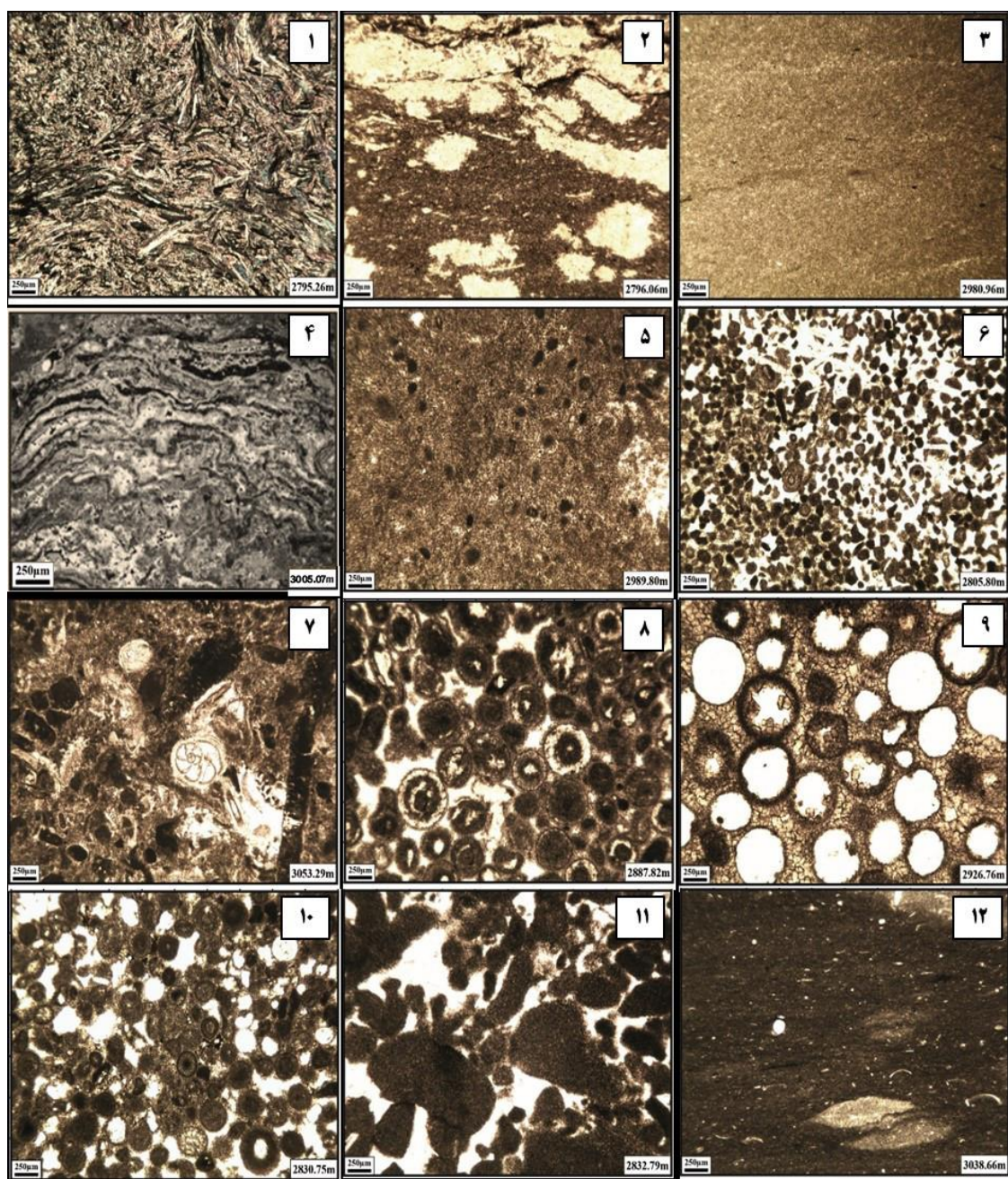
در این مطالعه پس از بررسی برش‌های نازک و توصیف جامع آن‌ها، گونه‌های سنگی بر مبنای کیفیت مخزنی توالی‌های مورد مطالعه مشخص و تعیین گردید. هر گونه سنگی از نظر مشخصات پتروفیزیکی و نیز زمین‌شناسی نسبت به دیگر گونه‌ها، مشخص و قابل شناسایی است (شکل ۴). با در نظر گرفتن تغییرات دیاژنزی بر روی ریزرخساره‌های شناسایی شده و انواع تخلخل‌های غالب موجود، تعداد ۷ گروه به عنوان گونه‌های سنگی رسوبی تعریف می‌شوند که به ترتیب ویژگی‌های هر کدام از گونه‌های سنگی تعیین شده و مشخصات پتروگرافی این‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. در ادامه شرح کوتاهی از ویژگی‌های گونه‌های سنگی پتروگرافی شناسایی شده در توالی‌های مورد مطالعه ارائه شده است:

¹¹ Sequence boundary

¹² Maximum flooding surface

⁹ 3rd Order

¹⁰ 4th Order



شکل ۳. تصاویر ریزرخساره‌های شناسایی شده توالی‌های دالان بالایی و کنگان در چاه شماره ۱ یکی از میادین مرکزی خلیج فارس، ۱: رخساره انیدریت (MF1)، ۲: مادستون حاوی تبخیری (MF2)، ۳: دولومادستون یا دولومیکرایت (MF3)، ۴: باندستون استرومانولیتی و ترومبولیتی (MF4)، ۵: مادستون تا وکستون حاوی خرده‌های اسکلتی (MF5)، ۶: وکستون حاوی پلیید و اینتراکلت (MF6)، ۷: وکستون تا پکستون حاوی خرده‌های اسکلتی (MF7)، ۸: پکستون حاوی خرده‌های اسکلتی و اینتراکلت (MF8)، ۹: پکستون تا گرینستون حاوی اوید (MF9)، ۱۰: پکستون تا گرینستون حاوی اوید و خرده‌های اسکلتی (MF10)، ۱۱: پکستون تا گرینستون حاوی خرده‌های اسکلتی و اینتراکلت (MF11)، ۱۲: مادستون تا وکستون حاوی خرده‌های ریز اسکلتی (MF12).

PRT2: این گونه سنگی شامل رخساره‌های بافت بلورین می‌باشد که بافت اولیه سنگ به دلیل دولومیتی شدن گسترده و مخرب فابریک، کاملاً از بین رفته است (عنایتی بیدگلی و نویدطلب، ۲۰۲۰). رخساره‌های دولومیتی که در آن‌ها بافت اولیه سنگ قابل تشخیص نیست، در این گروه قرار می‌گیرند. تخلخل بین‌بلورین، تخلخل غالب در

PRT1: رخساره‌های غالب این گونه سنگی انیدریتی بوده که به همین دلیل از نظر کیفیت مخزنی بسیار ضعیف بوده و می‌توان به عنوان گونه‌سنگی غیرمخزنی در نظر گرفته شود. این گونه سنگی با رخساره‌های انیدریتی در بالای پهنه جزرومدی (MF1) مطابقت دارد.

رخساره‌های این گروه می‌باشد، بسته به پارامترهای مختلف مانند بافت رسوبی و اندازه بلورهای دولومیت، ممکن است از کیفیت مخزنی ضعیف تا متوسط برخوردار باشند. دولومیتی شدن و تراکم، از فرآیندهای قابل توجه دیانژی این گونه سنگی هستند.

PRT3: رخساره‌های میکروبی سازندهای دالان بالایی و کنگان در این گونه سنگی قرار می‌گیرند که شامل استروماتولیت و ترامبولیت بوده و به زیرمحیط پهنه‌های

جزرومدی تعلق دارند. تراکم و تا حدی انحلال، فرآیندهای غالب دیانژی در این رخساره‌ها هستند. همچنین دو نوع تخلخل فنسترال و حفره‌ای عمده تخلخل‌های این گروه می‌باشند. رخساره‌های ترامبولیت فشرده شده می‌توانند به عنوان سدهای درون مخزنی در برخی از موقعیت‌های چین‌شناسی مخصوصا در قاعده سازند کنگان عمل کنند. به طور کلی، این گونه سنگی دارای کیفیت مخزنی پایینی می‌باشد.

جدول ۱. خلاصه‌ای از خصوصیات ریزرخساره‌های شناسایی شده توالی‌های مورد مطالعه.

کد رخساره	نام رخساره	لیتولوژی اصلی	الوکم اصلی		رخساره‌های استاندارد	محیط رسوبی
			اسکلتی	غیراسکلتی		
MF1	انیدریت متبلور	انیدریت	ندارد	ندارد	SMF25, RMF25	محیط بالای پهنه جزرومدی
MF2	مادستون همراه با تبخیری	دولومیت آهک انیدریت	دوکفه‌ای‌ها، اسفنج‌ها	پلویید	RMF25	
MF3	دولومادستون یا دولومیکرایت	دولومیت آهک	فرامینیفرهای بنتیک	پلت و پلویید	RMF22	
MF4	باندستون استروماتولیتی و ترومبولیتی	دولومیت آهک	ندارد	ندارد	SMF20	پهنه جزرومدی (اینترتایدال)
MF5	بایوکلست مادستون تا وکستون	دولومیت آهک انیدریت	جلبک سبز، دوکفه‌ای‌ها، فرامینیفرهای بنتیک	پلت و پلویید	RMF16	لاگون
MF6	وکستون حاوی پلویید و اینتراکلست	دولومیت آهک انیدریت	جلبک سبز، دوکفه‌ای‌ها، فرامینیفرهای بنتیک	آنکویید پلویید	RMF20 SMF16	
MF7	بایوکلست پکستون	دولومیت آهک	جلبک سبز، دوکفه‌ای‌ها، فرامینیفرهای بنتیک، گاستروپود	پلویید، اوید	RMF20	قسمت رو به لاگون پشته‌های ماسه‌ای
MF8	پکستون حاوی خرده‌های اسکلتی و اینتراکلست	دولومیت آهک	جلبک سبز، دوکفه‌ای‌ها، فرامینیفرهای بنتیک، گاستروپود	پلویید، اوید، آنکویید	RMF20 SMF16	
MF9	پکستون تا گرینستون حاوی اوید	دولومیت آهک	ندارد	اوید	RMF29	پشته‌های ماسه‌ای
MF10	بایوکلست اوید پکستون تا گرینستون	دولومیت آهک	جلبک سبز دوکفه‌ای براکیوپود	اوید	RMF30	
MF11	پکستون تا گرینستون حاوی خرده‌های اسکلتی و اینتراکلست	آهک	دوکفه‌ای‌ها، براکیوپود،	اوید، اینتراکلست	RMF27	قسمت جلویی پشته‌های ماسه‌ای
MF12	وکستون تا مادستون حاوی خرده‌های ریز اسکلتی	دولومیت آهک	براکیوپود، فرامینیفرهای محیط پلاژیک، دوکفه‌ای‌ها	اینتراکلست	RMF5	دریای باز
MF13	کربنات بلورین	دولومیت	---	ندارد		نامعلوم

جدول ۲. خصوصیات و ویژگی‌های گونه‌های سنگی رسوبی شناسایی شده در توالی‌های دالان بالایی و کنگان.

کد گونه سنگی	بافت رسوبی	اندازه دانه / بلور	دیاژنز غالب	نوع تخلخل غالب	کیفیت مخزنی	گروه رخساره‌ای
۱	انیدریت	-	تراکم	ندارد	پایین	MF1
۲	بلورین	کوچک‌تر از ۰/۵ میلی‌متر	دولومیت مراحل اولیه دیاژنز و تراکم	بین‌بلورین	پایین تا متوسط	MF13
۳	باندستون	-	تراکم، انحلال و سیمانی شدن	فنسترال، حفره‌ای	پایین	MF4
۴	مادستون / دولومادستون	۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر	تراکم، دولومیتی شدن، سیمانی شدن	بین‌بلورین، فنسترال	اغلب پایین	MF2, MF3, MF5, MF12
۵	وکستون / دولووکستون	۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر	تراکم، دولومیتی شدن، سیمانی شدن	بین بلورین	پایین تا متوسط	MF5, MF6,
۶	پکستون / گرینستون	۰/۵ تا ۲ میلی‌متر	سیمانی شدن، تراکم	قالبی، درون‌دانه‌ای	پایین	MF8, MF9, MF10
۷	پکستون / گرینستون	۰/۵ تا بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر	انحلال، دولومیتی شدن	قالبی، بین‌دانه‌ای و حفره‌ای	بالا	MF8, MF9, MF11

رخساره‌های محیط شول مخصوصاً بخش رو به لاگون شول مطابقت دارد.

PRT7: این گونه سنگی بهترین کیفیت مخزنی را در بین دیگر گونه‌های سنگی دارا می‌باشد که شامل رخساره‌های دانه غالب نهشته شده در محیط‌های پراثری شول با مقادیر زیادی از تخلخل اولیه بین‌دانه‌ای و دیاژنری (قالبی و حفره‌ای) است. انحلال و دولومیتی شدن فرآیندهای غالب دیاژنری این گروه هستند. این گونه سنگی با رخساره‌های دانه غالب کمریند پراثری شول مطابقت دارد که در بخش‌های کم‌عمق رمپ درونی گسترش یافته‌اند.

۴-۳- واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی

در این مطالعه به منظور شناسایی و تعیین تعداد واحدهای جریان‌ی از نمودار احتمال نرمال لگاریتم شاخص زون جریان‌ی استفاده شده است (شکل ۵) و براساس تعداد نقاط شکست یا عطف آن، واحدهای جریان‌ی تعیین گردیده است. پس از رسم نمودار احتمال نرمال تعداد ۸ واحد جریان‌ی در چاه مورد مطالعه مشخص گردید (جدول ۳). تفکیک مناسب واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی بر روی نمودارهای متقاطع تخلخل- تراوایی و شاخص کیفیت مخرنی- تخلخل نرمال شده مشخص می‌باشد (شکل ۶). همچنین نمودارهای فراوانی واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی در واحدهای K1 تا K4 سازندهای دالان بالایی و کنگان در شکل ۷ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، بیشترین فراوانی واحدهای جریان‌ی با کیفیت مخزنی

PRT4: این گونه سنگی شامل رخساره‌های مادستون و دولومادستون با ساختارهای فنسترال و نودولار است. تراکم و سیمانی شدن اثرات قابل‌توجه دیاژنری در این گونه سنگی هستند. تخلخل‌های بین‌بلورین و فنسترال، تخلخل‌های غالب این رخساره‌ها هستند که معمولاً توسط سیمان‌های انیدریتی و کلسیتی پر شده‌اند. بسته به شدت دولومیتی شدن و ویژگی‌های بافتی بلورهای دولومیت (مانند شکل و اندازه بلورها)، کیفیت مخزنی این گونه سنگی از ضعیف تا متوسط متغیر است. این گونه سنگی با رخساره‌های محیط بین جزرومدی مطابقت دارد.

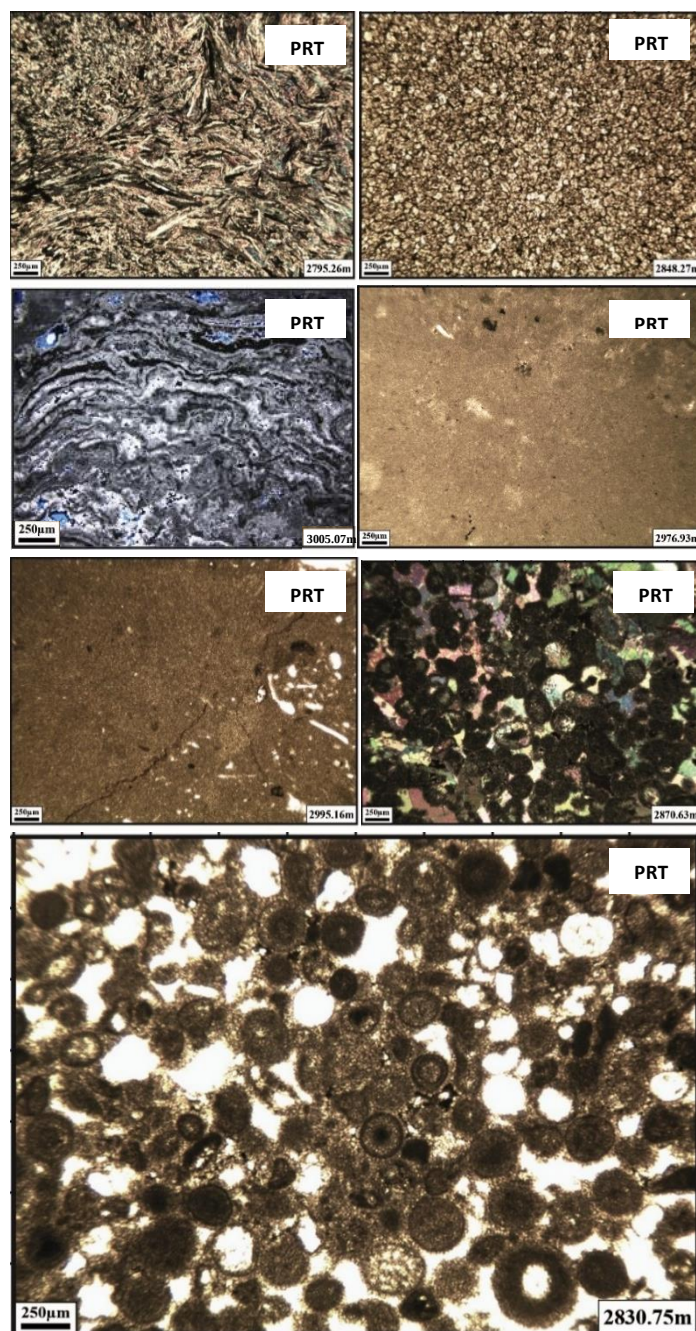
PRT5: این گونه سنگی شامل رخساره‌های وکستونی بوده که درجات مختلفی از دولومیتی شدن را پشت سر گذاشته‌اند. علاوه بر این، تراکم و سیمانی شدن باعث از بین رفتن کیفیت مخزنی در این گونه سنگی شده است. تخلخل بین‌بلورین، تخلخل غالب است. بسته به شدت دولومیتی شدن و ویژگی‌های بافتی بلورهای دولومیت، کیفیت مخزنی این گونه سنگی از ضعیف تا متوسط متغیر است. این گونه سنگی با رخساره‌های گل‌غالب محیط‌های کم‌انرژی لاگون و پشت شول مطابقت دارد.

PRT6: این گونه سنگی شامل رخساره‌های دانه غالب پکستون و گرینستون می‌باشد که تحت تأثیر تراکم شدید و یا سیمان‌شدگی گسترده قرار گرفته‌اند. به همین علت، این گونه سنگی نیز فاقد کیفیت مخزنی می‌باشد. در بعضی از نمونه‌های این گونه سنگی، تخلخل‌های قالبی و درون دانه‌ای به مقدار کم وجود دارند. این گونه سنگی با

۴-۴- زون‌بندی مخزنی بر اساس روش لورنز

بر اساس روش لورنز اصلاح شده بر مبنای چین‌نگاری^۱ مجموعاً تعداد ۱۵ زون مختلف مخزنی- غیرمخزنی در توالی‌های پرمین- تریاس شناسایی شده است (شکل ۸). بر اساس این روش، یک توالی مخزنی می‌تواند بر اساس ارتباط بین پارامترهای ظرفیت جریان (KH) و ظرفیت ذخیره (PhiH)، چهار رفتار مختلف داشته باشد:

بالا را می‌توان به ترتیب در واحدهای K4 از سازند دالان بالایی و K2 از سازند کنگان مشاهده کرد. بر اساس نتایج بدست آمده، با توجه به میانگین تخلخل و تراوایی برای هر واحد جریان هیدرولیکی (جدول ۳)، می‌توان گفت که واحدهای جریانانی ۳ و ۴ (به دلیل تخلخل و تراوایی بالا) دارای بهترین کیفیت مخزنی و واحدهای جریانانی ۱ (به دلیل تراوایی پایین)، ۶، ۷ و ۸ (به دلیل تخلخل پایین)، دارای کیفیت مخزنی پایین می‌باشند.

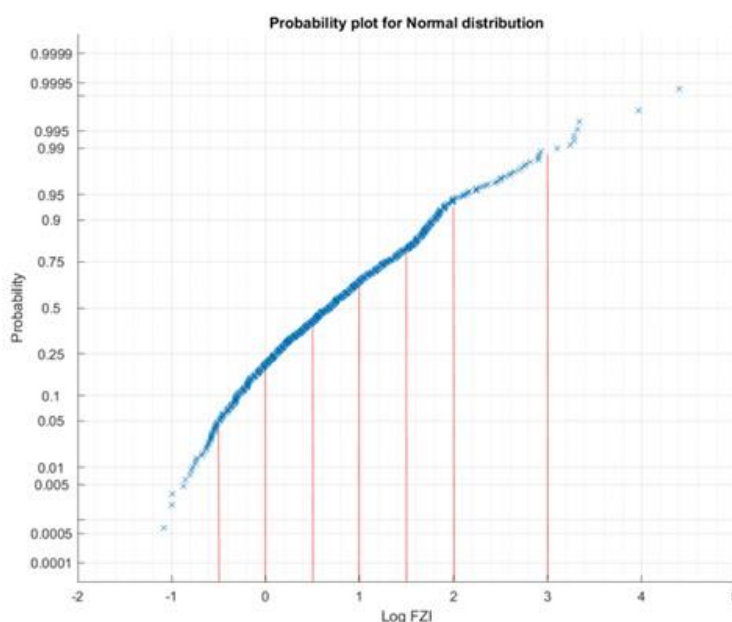


شکل ۴. تصاویری از برش نازک میکروسکوپی گونه‌های سنگی رسوبی شناسایی شده در سازندهای دالان و کنگان در چاه مورد مطالعه.

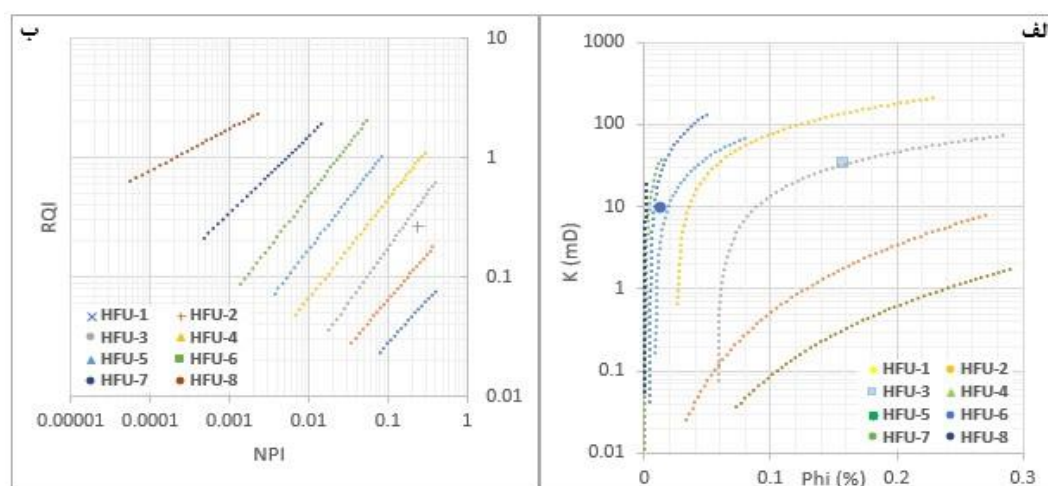
^۱ SMLP

جدول ۳. مشخصات واحدهای جریان‌ی تعیین شده در چاه مورد مطالعه توالی‌های دالان بالایی و کنگان.

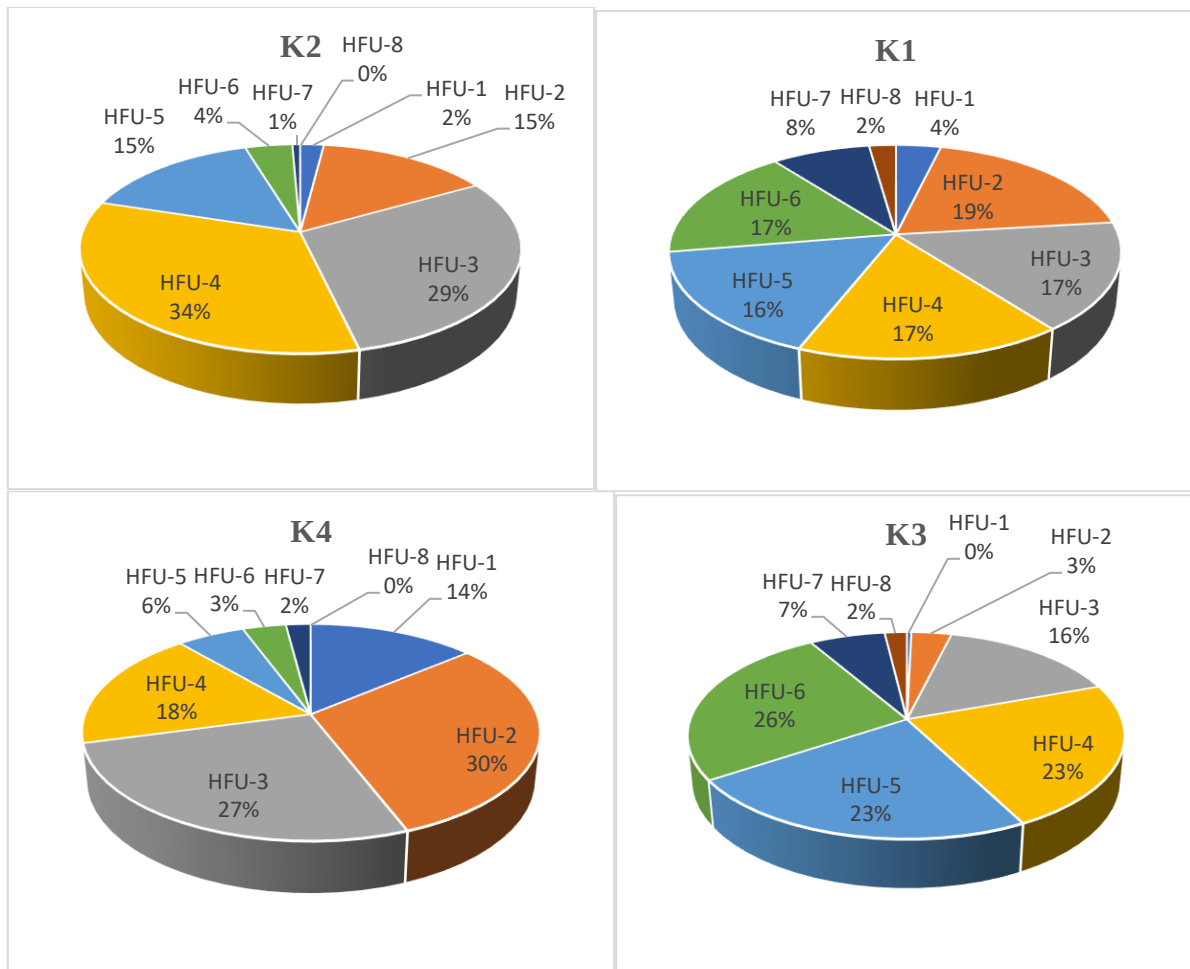
کیفیت مخزنی	میانگین آریتمائیک				میانگین ژئومتریک				واحدهای جریان‌ی
	K (md)	Phi (%)	RQI	FZI	K (md)	Phi (%)	RQI	FZI	
متوسط	۰/۸	۲۰/۶	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۵۹	۱۹/۷	۰/۰۵	۰/۲	۱
خوب	۲	۱۳	۰/۰۹	۰/۶۳	۰/۷۶	۱۱/۶	۰/۰۸	۰/۶	۲
عالی	۱۱	۹/۵	۰/۲	۱/۸	۱/۶۵	۷/۴	۰/۱۴	۱	۳
عالی	۲۱	۴/۷	۰/۲۵	۵/۸	۰/۷۴	۲/۷	۰/۱۶	۵	۴
خوب	۶/۴	۱/۵	۰/۲۵	۱۷/۸	۰/۳۷	۱/۰۸	۰/۱۸	۱۶	۵
بد	۴/۸	۰/۶۲	۰/۳۲	۵۵	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۲۵	۵۲	۶
بد	۴/۶	۰/۲۴	۰/۶۷	۳۵۲	۰/۳۸	۰/۱۶	۰/۴۷	۲۸۷	۷
بد	۴/۵	۰/۰۶	۱/۶	۵۷۱۴	۰/۶۸	۰/۰۴	۱/۲۸	۳۱۰۵	۸



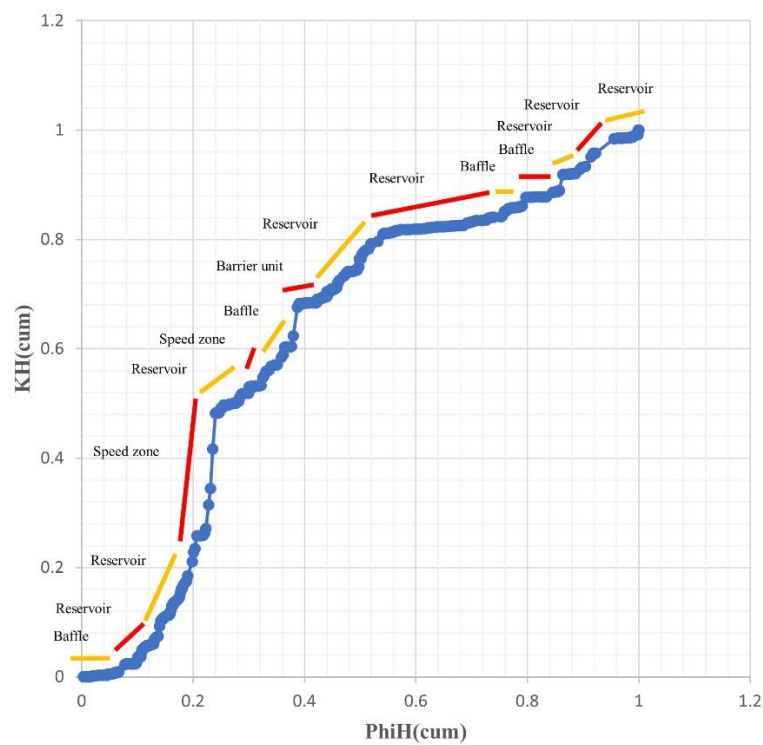
شکل ۵: نمودار احتمالی مقادیر لگاریتم FZI که بر اساس تعداد نقاط شکست موجود در آن، تعداد ۸ واحد جریان‌ی هیدرولیکی در توالی‌های دالان بالایی و کنگان شناسایی شده است.



شکل ۶. الف) نمودار تخلخل-تراوایی برای واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی تعیین شده و ب) نمودار اندیس کیفیت مخزنی در برابر تخلخل نرمال شده واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی.



شکل ۷. نمودار میزان و نحوه پراکندگی واحدهای هیدرولیکی تعیین شده در هر یک از واحدهای مخزنی توالی‌های دالان بالایی و کنگان.



شکل ۸. نمودار ظرفیت جریانی تجمعی (KH) در مقابل ظرفیت ذخیره تجمعی (ΦH).

زون مخزنی: توالی‌های دارای بیشترین مقادیر ظرفیت جریان و ظرفیت ذخیره. در مطالعه حاضر، این زون‌های مخزنی خود بر اساس نسبت ظرفیت ذخیره و ظرفیت جریانشان به سه دسته خوب، متوسط و ضعیف تقسیم شده‌اند (جدول ۴).

زون تله‌ای: توالی‌های دارای ظرفیت ذخیره بالا و ظرفیت جریان پایین.

زون سرعت: توالی‌های دارای ظرفیت ذخیره پایین و ظرفیت جریان بالا.

زون سدی: توالی‌های دارای ظرفیت ذخیره و ظرفیت جریان پایین.

با استفاده از روش لورنز، سازند کنندگان در توالی‌های مورد مطالعه به ۵ زون تقسیم می‌شود (۱ زون تله‌ای و ۱ زون مخزنی در واحد K1 و ۲ زون مخزنی و ۱ زون جریانی در واحد K2). همچنین تعداد ۱۰ زون نیز در سازند دالان بالایی (۱ زون تله‌ای، ۱ زون مخزنی، ۱ زون جریانی و ۱ زون سدی در واحد K3 و ۳ زون مخزنی، ۲ زون تله‌ای و ۱ زون سدی در واحد K4) شناسایی و تفکیک شده است. حد تفکیک این زون‌ها بر اساس نسبت پارامترهای ظرفیت ذخیره و ظرفیت جریان در مقابل یکدیگر می‌باشد و بر همین اساس رفتار یک واحد تعیین می‌گردد. شرح دقیق مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان این زون‌ها در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴. ویژگی‌ها و پارامترهای آماری زون‌های تعریف شده در سازندهای دالان بالایی و کنندگان.

زون مخزنی	سازند	واحد مخزنی	مقادیر میانگین		مقادیر کل ظرفیت‌ها		نوع زون
			تخلخل	تراوایی	ذخیره	جریان	
زون ۱	کنگان	K1	۶/۹	۱/۵	۶/۷	۰/۹۱	تله‌ای
زون ۲	کنگان	K1	۳/۲	۴/۴	۷	۶/۵	مخزن خوب
زون ۳	کنگان	K2	۹/۷	۳۰	۵/۲	۱۱	مخزن خوب
زون ۴	کنگان	K2	۱۷/۶	۱۵۳	۴/۵	۲۳	سرعت
زون ۵	کنگان	K2	۸/۴	۱۷/۹	۱۲/۹	۱۸/۶	مخزن خوب
زون ۶	دالان بالایی	K3	۵/۴	۱۶/۲	۲/۶	۷/۹	سرعت
زون ۷	دالان بالایی	K3	۲/۹	۲/۸	۳/۲	۱	تله‌ای
زون ۸	دالان بالایی	K3	۰/۹	۰/۵۴	۱/۷	۰/۶	سدی
زون ۹	دالان بالایی	K3	۳/۷	۶/۴	۹	۹/۹	مخزن خوب
زون ۱۰	دالان بالایی	K4	۱۷/۳	۵/۳	۲۲	۴/۶	مخزن ضعیف
زون ۱۱	دالان بالایی	K4	۱۸	۱۳/۹	۳/۶	۱/۸	تله‌ای
زون ۱۲	دالان بالایی	K4	۱۹/۶	۶/۹	۶/۶	۲/۸	تله‌ای
زون ۱۳	دالان بالایی	K4	۹/۷	۹/۸	۲/۹	۳	مخزن ضعیف
زون ۱۴	دالان بالایی	K4	۱۳/۲	۱۴/۵	۳	۳/۵	مخزن متوسط
زون ۱۵	دالان بالایی	K4	۱/۷	۱/۵	۴/۲	۷/۷	مخزن خوب

۵- تفسیر نتایج

۵-۱- ناهمگنی‌های کوچک مقیاس

منظور از ناهمگنی‌های مخزنی کوچک مقیاس، تغییر در خصوصیات مخزنی در مقیاس میلی‌متر تا سانتی‌متر است (طاووسی ایرج و همکاران، ۲۰۲۱). این ناهمگنی‌ها اغلب بواسطه تغییر در خصوصیات رخساره‌ای (نظیر اندازه ذرات، جورشدگی، بافت رسوبی) و شدت فرآیندهای دیاژنزی بوجود می‌آیند (توکلی، ۲۰۲۰). شناسایی و تفکیک این ناهمگنی‌ها دارای اهمیت اساسی در مطالعات کیفیت مخزنی مخازن کربناته می‌باشد (آر، ۲۰۰۸). به منظور پی

بردن به این ناهمگنی‌ها می‌بایست از روش‌هایی استفاده کرد که بتوان این تغییرات کوچک مقیاس را به درستی شناسایی کرد. تعیین واحدهای جریانی هیدرولیکی یکی از موثرترین روش‌ها در تعیین ناهمگنی‌های مخزنی کوچک مقیاس به شمار می‌رود (مهرابی و همکاران، ۲۰۱۹). با استفاده از روش شاخص زون جریانی، تعداد ۸ واحد جریانی شناسایی گردید. واحدهای جریانی ۳ و ۴ (به دلیل تخلخل و تراوایی بالا) دارای بهترین کیفیت مخزنی و واحدهای جریانی ۱ (به دلیل تراوایی پایین)، ۶، ۷ و ۸ (به دلیل تخلخل پایین)، دارای کیفیت مخزنی پایین می‌باشند.

در ادامه شرح مختصری از این واحدهای جریان‌ی بیان گردیده است.

HFU-1: این واحد جریان‌ی به طور میانگین با تخلخل $20/64$ درصد و تراوایی $0/87$ میلی‌داری، دارای کیفیت مخزنی متوسط در توالی‌های مورد مطالعه می‌باشد. مقادیر پایین تراوایی در این واحد، نشان‌دهنده وجود تخلخل‌های جدا از هم و قالبی است، با بررسی ریزرخساره‌ها مشخص گردید که ریزرخساره‌های گرینستونی اویدی متعلق به پشته‌های سدی با تخلخل‌های قالبی جدا از هم، متعلق به این واحد جریان‌ی هستند.

HFU-2: مقادیر تخلخل و تراوایی این واحد جریان‌ی به ترتیب 13 درصد و 2 میلی‌داری می‌باشد. با توجه به میزان تخلخل بالا و تراوایی متوسط، این واحد جریان‌ی از کیفیت مخزنی خوبی برخوردار است. ریزرخساره‌های تشکیل‌دهنده این واحد جریان‌ی اغلب شامل ریزرخساره‌های وکستون و پکستون محیط لاگون و قسمتی از شول می‌باشد.

HFU-3: این واحد جریان‌ی حاوی $9/5$ درصد تخلخل و 12 میلی‌داری تراوایی است. این واحد به دلیل وجود ریزرخساره‌های گرینستونی، بهترین واحد جریان‌ی را تشکیل داده است. انحلال، باعث افزایش کیفیت مخزنی در این واحد شده است. در واقع انحلال مهم‌ترین فرآیند دیاژنزی تأثیرگذار بر کیفیت مخزنی توالی‌های پرمین-تریاس می‌باشد (علی‌اکبردوست و رحیم‌پوربناب، ۱۳۹۲).

HFU-4: مقادیر تخلخل و تراوایی در این واحد جریان‌ی به ترتیب $4/7$ درصد و 22 میلی‌داری می‌باشد. رخساره‌های مربوط به این واحد جریان‌ی شامل وکستون و پکستون‌های گل‌غالب مربوط به محیط لاگون است. علت افزایش کیفیت مخزنی در این رخساره‌های گل‌غالب، تأثیر فرآیندهای دیاژنزی مانند دولومیتی‌شدن، انحلال و همچنین شکستگی می‌باشد.

HFU-5: با توجه به میانگین تخلخل و تراوایی (تخلخل $1/54$ درصد و تراوایی $6/4$ میلی‌داری)، این واحد جریان‌ی دارای کیفیت مخزنی خوبی است که شامل رخساره‌های گل‌غالب مادستونی و وکستونی مربوط به پهنه‌های جزرومدی و لاگون و همچنین رخساره‌های دانه غالب پکستونی مربوط به محیط شول می‌باشد. فرآیندهای دیاژنزی غالب در این واحد جریان‌ی شامل دولومیتی‌شدن، انحلال و شکستگی در ریزرخساره‌های گل‌غالب بوده که

موجب افزایش تراوایی شده است. همچنین فرآیند سیمانی‌شدن باعث کاهش تخلخل و تراوایی در رخساره‌های دانه غالب این واحد جریان‌ی شده است.

HFU-6: ریزرخساره‌های مربوط به این واحد جریان‌ی همانند واحد جریان‌ی ۵، تنها شامل ریزرخساره‌های مادستون و وکستون محیط‌های لاگون و پهنه‌های جزرومدی است. مقادیر تخلخل و تراوایی در این واحد جریان‌ی به ترتیب $0/62$ درصد و $4/8$ میلی‌داری می‌باشد. فرآیندهای شکستگی و انحلال باعث افزایش تراوایی و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی در این واحد جریان‌ی شده است. بطور کلی، این واحد جریان‌ی از کیفیت مخزنی پایینی برخوردار است.

HFU-7: مقادیر تخلخل و تراوایی در این واحد جریان‌ی به ترتیب شامل $0/24$ درصد و $4/6$ میلی‌داری است. ریزرخساره‌های غالب در این واحد جریان‌ی شامل ریزرخساره‌های مادستون مربوط به محیط لاگون بوده که بر اثر فرآیند شکستگی، تراوایی آن افزایش یافته است. بطور کلی، این واحد جریان‌ی از کیفیت مخزنی پایینی برخوردار است.

HFU-8: این واحد جریان‌ی با کمترین میزان تخلخل ($0/06$ درصد) شامل رخساره‌های مادستونی با سیمان انیدریت مربوط به پهنه جزرومدی می‌باشد. همچنین میزان تراوایی این واحد جریان‌ی $4/6$ میلی‌داری است که در ارتباط با فرآیندهای شکستگی است. بطور کلی، این واحد جریان‌ی از کیفیت مخزنی پایینی برخوردار است.

۵-۲- چینه‌نگاری سکاسی

در این مطالعه، سعی شده است بر اساس اطلاعات بدست آمده از مشاهده مغزه‌ها، مطالعه پتروگرافی ریزرخساره‌ها، لاگ‌های پتروفیزیکی و نمودارهای چاه‌پیمایی، سطوح چینه‌ای و سیستم تراکت‌های عضو مخزنی دالان بالایی و سازند کنگان شناسایی و سکانس‌های رسوبی رده سوم و چهارم مشخص شود. با مطالعات صورت گرفته در توالی‌های مخزنی عضو دالان بالایی و سازند کنگان، چهار سکانس رده سوم (3^{rd} order) و نه سکانس رده چهارم (4^{th} order) به همراه یک سیستم تراکت RST مشترک با بخش پایینی دالان بالایی تا عضو تبخیری نارشناسایی شد که سطوح چینه‌ای اصلی سکانس رده سوم شامل پنج مرز سکاسی (SB) و چهار سطح حداکثر غرقابی (mfs) و

به ترتیب ۷ و ۶/۵ است (جدول ۴). بنابراین، این زون می‌تواند به عنوان یک واحد مخزنی با کیفیت خوب تا متوسط در نظر گرفته شود. منطبق با اواخر سیستم تراکت RST سکانس KS2 و اوایل سیستم تراکت TST سکانس KS1 سازند کنگان (واحد مخزنی K1) می‌باشد. رخساره‌های پراثرژی شول از رخساره‌های غالب در این قسمت هستند. سیمان انیدریتی، دولومیتی‌شدن و انحلال از آثار مهم دیاژنزی در این زون می‌باشند.

Zone-3: زون مخزنی^۳: ضخامت این زون ۱۲ متر بوده و در قسمت میانی سازند کنگان، در واحد مخزنی K2 تعیین می‌شود. این قسمت حاوی ۹/۷ درصد تخلخل و ۳۰ میلی داری تراوایی است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان به ترتیب ۵/۲ و ۱۱ (جدول ۴) است. با توجه به فضای ذخیره‌سازی متوسط و ظرفیت جریان بالا، این زون می‌تواند به عنوان یک زون مخزنی با کیفیت خوب در نظر گرفته شود. با سطح حداکثر غرقابی^۴ سکانس KS2 سازند کنگان (واحد مخزنی K2) مطابقت دارد. رخساره‌های پراثرژی مجموعه شول رخساره‌های غالب در این منطقه هستند. مقداری جابجایی رخساره‌های پهنه جذرومدی و پشت شول نیز وجود دارد که باعث ایجاد خصوصیات مخزنی ضعیف در فواصلی نازک در این واحد می‌شود. سیمان دریایی ایزوپکوس، دولومیتی‌شدن و انحلال از آثار مهم فرآیندهای دیاژنزی در این توالی هستند.

Zone-4: زون سرعت^۵: این زون به ضخامت ۵ متر در قسمت‌های میانی واحد مخزنی K2 سازند کنگان تعیین می‌شود. این قسمت به طور میانگین حاوی ۱۷ درصد تخلخل و ۱۵۳ میلی‌داری تراوایی است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان به ترتیب ۴/۵ و ۲۳ (جدول ۴) است. با توجه به فضای ذخیره‌سازی و ظرفیت جریان بالا، این زون می‌تواند به عنوان یک زون سرعت با کیفیت مخزنی خوب در نظر گرفته شود. با قسمت میانی سیستم تراکت TST سکانس KS2 سازند کنگان مطابقت دارد. رخساره‌های پراثرژی شول و پشت شول همراه با رخساره‌های پهنه جذرومدی کنار هم قرار گرفته‌اند. دولومیتی‌شدن، سیمانی‌شدن، تراکم، انحلال و شکستگی فرآیندهای عمده دیاژنزی در این زون هستند.

سطوح چین‌های سکانس رده چهارم مشتمل بر ده مرز سکاسی و ده سطح حداکثر غرقابی می‌باشد (شکل ۹). این سکانس‌های شناسایی شده قسمتی از یک سکانس پیش‌رونده - پسروده رده دوم هستند (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱).

۵-۳- ناهمگنی‌های بزرگ مقیاس

منظور از ناهمگنی‌های بزرگ مقیاس، تغییرات کیفیت مخزنی در مقیاس متر و بزرگ‌تر از آن می‌باشد (طاووسی ایرج و همکاران، ۲۰۲۱). این ناهمگنی‌ها اغلب در جهت‌های مختلف افقی و عمودی و در فواصل بین چاهی به دلایل مختلف زمین‌شناختی ایجاد می‌شوند و موجب تغییر در جهت جریان سیال و نرخ تولید از چاه در افق‌های مختلف می‌گردند (تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴). این ناهمگنی‌ها عموماً در چهارچوب سکانس‌های رسوبی قابل ردیابی و پیش‌بینی می‌باشند (گانتز و همکاران، ۱۹۹۷). نمودار چین‌های تغییر یافته لورنز (SMLP) بهترین روش برای شناسایی ناهمگنی‌های مخزنی بزرگ مقیاس و تعیین جایگاه چین‌شناسی آن‌ها است (اسکالینسکی و کنتر، ۲۰۱۴). از همین روش برای توصیف ناهمگنی‌های بزرگ مقیاس در مخازن پرمین-تریاس استفاده شده است.

Zone-1: واحد تله‌ای^۱: این واحد با ضخامت ۲۵ متر در قسمت بالای سازند کنگان، در واحد مخزنی K1 تعیین می‌شود. این قسمت به طور میانگین دارای ۷ درصد تخلخل و ۱/۶ میلی‌داری تراوایی می‌باشد. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان این زون به ترتیب ۶/۷ و ۰/۹۱ است (جدول ۴). بنابراین، این زون می‌تواند به عنوان تله برای واحد K1 با کیفیت پایین مخزنی در نظر گرفته شود. مطابق با سیستم تراکت RST از سکانس KS1 می‌باشد که در آن رخساره‌های پهنه جذرومدی، لاگون و شول‌های رو به ساحل غالب هستند. تراکم، دولومیتی‌شدن و سیمان انیدریتی مهم‌ترین آثار فرآیندهای دیاژنزی در این قسمت می‌باشند.

Zone-2: واحد مخزنی^۲: این زون در قسمت بالای سازند کنگان، در واحد مخزنی K1 قرار دارد که دارای ۴۳ متر ضخامت می‌باشد. حاوی مقادیر نسبتاً خوبی از هر دو تخلخل (میانگین ۱۲ درصد) و تراوایی (میانگین ۴/۴ میلی داری) است. ظرفیت ذخیره و ظرفیت جریان در این زون

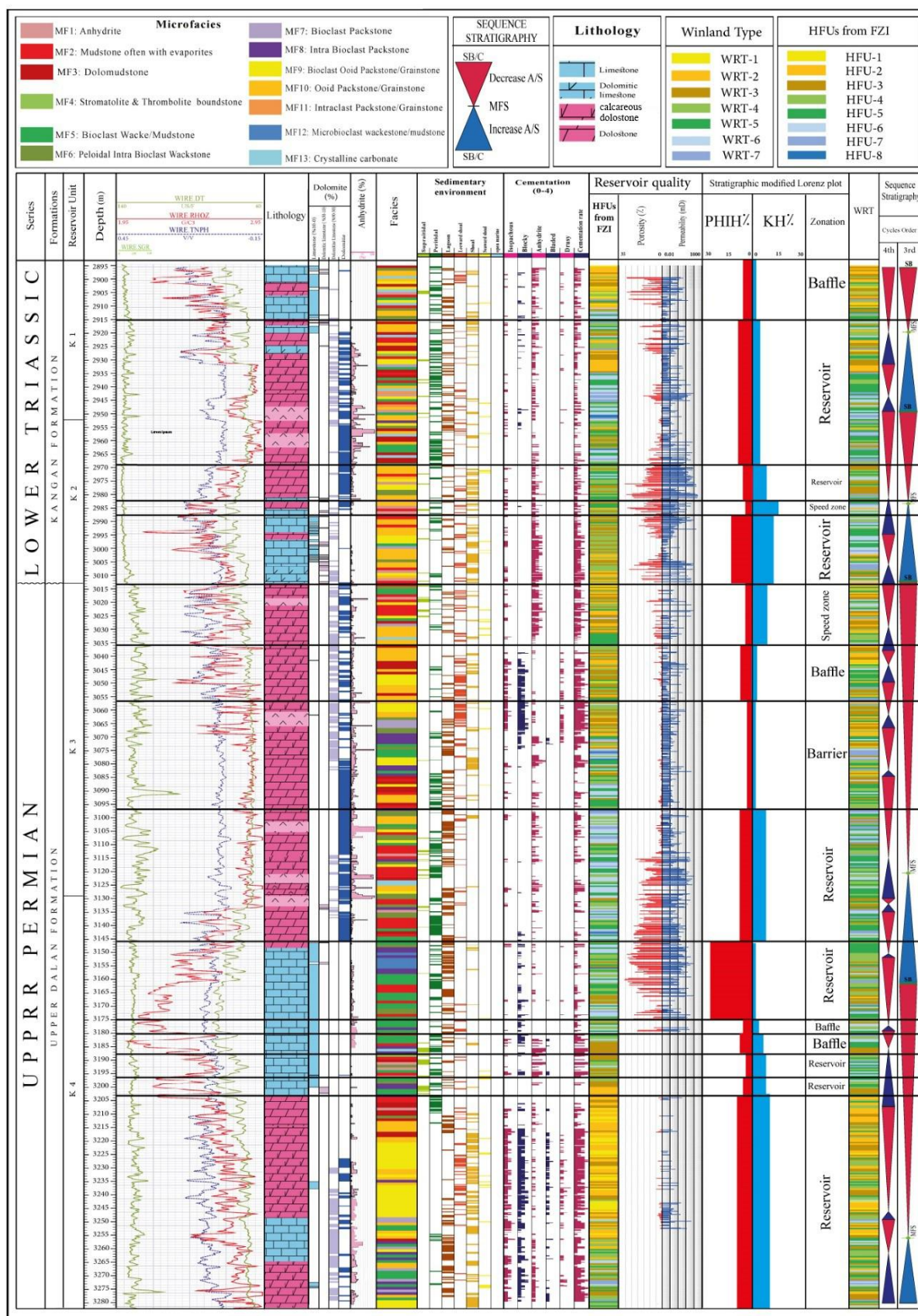
⁴ Maximum flooring surface

⁵ Speed zone

¹ Baffle unit

² Reservoir unit

³ Reservoir unit



شکل ۹. گونه‌های سنگی به همراه زون‌بندی مخزنی به روش لورنز و انطباق آن‌ها با سکانس‌های سازندهای دالان بالایی و کنگان.

با کیفیت مخزنی متوسط تا پایین در نظر گرفته شود. این بخش با اواسط سیستم تراکت RST از سکانس رده سوم UDS3 سازند دالان بالایی مطابقت دارد. این منطقه به طور قابل ملاحظه‌ای از رخساره‌های کم انرژی دولومیتی‌شده پهنه‌های جذرومدی، لاگون و شول‌های رو به ساحل تشکیل شده که دارای پتانسیل مخزنی نسبتاً کم هستند. علاوه بر این، کیفیت مخزنی این رخساره‌ها در طول دیاژنز از طریق سیمان‌شدگی پایین‌تر آمده است. دولومیتی‌شدن و تراکم از دیگر تغییرات دیاژنزی در این قسمت هستند.

Zone-8: واحد سدی^۴: ضخامت این واحد ۴۰ متر می‌باشد و در قسمت میانی واحد مخزنی K3، در بالای سازند دالان تعیین می‌شود. این زون دارای کمترین مقادیر تخلخل (میانگین ۰/۹۳ درصد) و تراوایی (میانگین ۰/۵۴ میلی داری) در بین دیگر واحدها است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان به ترتیب ۱/۷ و ۰/۶۲ (جدول ۴) است. با توجه به مقادیر کم ظرفیت‌های ذخیره و جریان، این منطقه می‌تواند به عنوان یک واحد سدی با کیفیت مخزنی پایین در نظر گرفته شود. این بخش با ابتدای سیستم تراکت RST از سکانس رده سوم UDS3 سازند دالان بالایی مطابقت دارد. در این زون، به طور طبیعی رخساره‌های پهنه‌های جذرومدی (رخساره مادستونی) کیفیت مخزنی ضعیفی را فراهم می‌کنند. سیمانی شدن، تراکم و دولومیتی‌شدن بیش از حد، از آثار مهم دیاژنزی در این توالی هستند. این زون کمترین مقادیر ظرفیت ذخیره‌سازی و جریان را در بین کل واحدهای تعریف شده دارد، بنابراین می‌توان آن را به عنوان مؤثرترین مانع و سد در کل توالی‌های مورد بررسی در نظر گرفت.

Zone-9: واحد مخزنی^۵: این زون به ضخامت ۴۸ متر در پایین‌ترین بخش واحد مخزنی K3 قرار دارد. این قسمت حاوی مقادیر متوسط از تخلخل (متوسط ۳/۷ درصد) و تراوایی (متوسط ۶/۴ میلی‌داری) است. ظرفیت‌های ذخیره و جریان این زون به ترتیب ۱۰ و ۹ می‌باشد (جدول ۴). با توجه به مقادیر بالا ظرفیت ذخیره‌سازی و جریان، این قسمت می‌تواند به عنوان یک واحد مخزنی با کیفیت خوب در نظر گرفته شود. این زون با سیستم تراکت TST و حداکثر سطح غرقابی از سکانس رده سه UDS3 سازند دالان بالایی مطابقت دارد. این قسمت به طور قابل

Zone-5: واحد مخزنی^۱: این زون به ضخامت ۳۴ متر در پایین‌ترین قسمت سازند کنگان تعیین می‌شود. این قسمت حاوی ۸/۴ درصد تخلخل و ۱۷/۹ میلی‌داری تراوایی است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان به ترتیب ۱۲/۹ و ۱۸/۶ است (جدول ۴). این قسمت با ابتدای سیستم تراکت TST مربوط به سکانس KS2 سازند کنگان مطابقت دارد. محدوده زیرین این زون در مرز پرمین-تریاس قرار دارد. در این قسمت، رخساره‌های پهنه جزرومدی (رخساره‌های ترومبولیتی)، شول و پشت شول نهشته شده‌اند. انحلال، دولومیتی‌شدن تراکم و سیمانی شدن از اثرات مهم دیاژنزی در این توالی است. با توجه به فضای ذخیره‌سازی و ظرفیت جریان بالا، این زون نیز به عنوان یک واحد مخزنی با کیفیت خوب در نظر گرفته می‌شود.

Zone-6: زون سرعت^۲: این قسمت به ضخامت ۹/۶۷ متر در بالاترین قسمت سازند دالان، در واحد مخزنی K3 تعیین می‌شود. این قسمت دارای ۵/۴ درصد تخلخل و ۱۶/۲ میلی داری تراوایی است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان در این زون به ترتیب ۲/۶ و ۷/۹ (جدول ۴) می‌باشد. بنابراین، این زون می‌تواند به عنوان زون سرعت در نظر گرفته شود. با اواخر سیستم تراکت RST در سکانس UDS3 سازند دالان بالایی مطابقت دارد. رخساره‌های پراثرژی مجموعه‌های شول، رخساره‌های غالب در این زون هستند. با این حال، رخساره‌های گل غالب پهنه جذرومدی و پشت شول (لاگون) نیز وجود دارد. این رخساره‌ها همچنین در برخی از فواصل کیفیت مخزنی خوبی در این زون ارائه می‌دهند. دولومیتی شدن، سیمانی شدن و انحلال اثرات دیاژنزی قابل توجه در این قسمت هستند.

Zone-7: واحد تله‌ای^۳: این زون به ضخامت ۲۱ متر در قسمت بالایی سازند دالان و در واحد مخزنی K3 تعیین می‌شود. این قسمت حاوی مقادیر متوسط تا کم از تخلخل (میانگین ۲/۹ درصد) و تراوایی (میانگین ۲/۹ میلی داری) است. همچنین مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان این قسمت به ترتیب ۳/۲ و ۱ است (جدول ۴). با توجه به مقادیر متوسط ظرفیت ذخیره‌سازی و مقادیر کم ظرفیت جریان، این زون می‌تواند به عنوان یک واحد تله‌ای

^۴ Barrier unit

^۵ Reservoir unit

^۱ Reservoir unit

^۲ Speed zone

^۳ Baffle unit

ملاحظه‌ای از رخساره‌های بالای پهنه جذرومدی تشکیل شده است. رخساره‌های کم انرژی مربوط به محیط‌های لاگون و پهنه جذرومدی نیز در این واحد قابل مشاهده است که دولومیتی شده‌اند. در قسمت‌های بالایی دارای سنگ‌شناسی آهک دولومیتی با کیفیت مخزنی نسبتاً بالا است. لایه‌های انیدریت به ضخامت ۲ متر در قسمت‌های میانی این منطقه وجود دارد که می‌تواند به عنوان یک مانع در مقیاس کوچک‌تر موثر در نظر گرفته شود. در نتیجه، این قسمت می‌تواند به ۲ زیر واحد تقسیم شود. کیفیت اولیه مخزنی این رخساره‌ها در طول دیاژنزی از طریق دولومیتی شدن، سیمانی شدن و تراکم تغییر می‌یابد.

Zone-10: واحد مخزنی^۶: این زون به ضخامت ۲۷/۸ متر در بالاترین قسمت واحد مخزنی K4 قرار دارد. این قسمت حاوی مقادیر متوسط از تخلخل (بیش از ۱۷/۳ درصد) و تراوایی (۵/۳ میلی‌داری) است. مقدار کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان به ترتیب ۲۲/۲ و ۴/۶۵ می‌باشد. بنابراین، این قسمت می‌تواند به عنوان یک واحد مخزنی با کیفیت مخزن متوسط در نظر گرفته شود. مطابق با انتهای سیستم تراکت RST و مرز سکانش از سکانش UDS4 سازند دالان بالایی است. رخساره‌های گل غالب پهنه‌های جذرومدی و لاگون از رخساره‌های غالب در این قسمت هستند. با این حال، رخساره‌های پراثری مجموعه شول نیز مشاهده می‌شوند. دولومیتی شدن، تراکم، سیمانی شدن و انحلال از اثرات دیاژنزی قابل توجه در این توالی هستند.

Zone-11: واحد تله‌ای^۷: این زون به ضخامت ۴ متر در میانه واحد مخزنی K4 در بالای سازند دالان تعیین می‌شود. حاوی ۱۸/۱ درصد تخلخل و ۱۴ میلی‌داری تراوایی است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان در این منطقه به ترتیب ۳/۶ و ۱/۸ است (جدول ۴). با توجه به مقادیر کم ظرفیت‌های ذخیره و جریان، این قسمت می‌تواند به عنوان یک تله با کیفیت مخزنی متوسط در نظر گرفته شود. با میانه سیستم تراکت RST سکانش UDS4 سازند دالان بالایی مطابقت دارد. سنگ‌شناسی غالب این واحد آهک است اما در قسمت‌هایی از این توالی، میان لایه‌های انیدریتی وجود دارد. سیمان کلسیتی و انیدریتی، تراکم و دولومیتی شدن فرآیندهای اصلی دیاژنزی در این توالی هستند.

Zone-12: واحد تله‌ای^۸: ضخامت این زون ۶/۸ متر بوده و در میانه واحد مخزنی K4 تعیین می‌شود. این قسمت حاوی ۱۹/۶ درصد تخلخل و ۶/۹ میلی‌داری تراوایی است. حداکثر مقدار تخلخل در این زون مشاهده شده است. مقدار کل ظرفیت‌های ذخیره‌سازی و جریان این منطقه به ترتیب ۶/۶ و ۲/۸ (جدول ۴) است. بنابراین، این زون می‌تواند به عنوان واحد تله‌ای با کیفیت مخزنی متوسط در نظر گرفته شود. مطابق با سیستم تراکت RST از سکانش رده سوم UDS4 سازند دالان بالایی می‌باشد. رخساره‌های دانه غالب گرینستونی مربوط به محیط پراثری شول از رخساره‌های غالب در این قسمت بوده که دارای تخلخل‌های جدا از هم و قالبی می‌باشند. دولومیتی شدن، تراکم، سیمانی شدن و انحلال از آثار دیاژنزی قابل توجه در این توالی هستند.

Zone-13: واحد مخزنی^۹: این زون به ضخامت ۶/۸ متر در قسمت‌های پایینی واحد مخزنی K4 تعیین می‌شود. این قسمت حاوی ۹/۷ درصد تخلخل و ۹/۸ میلی‌داری تراوایی است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره‌سازی و جریان در این منطقه به ترتیب ۲/۹ و ۳ است (جدول ۴). این منطقه می‌تواند به عنوان یک واحد مخزنی با کیفیت مخزنی متوسط در نظر گرفته شود. با اوایل سیستم تراکت RST از سکانش UDS4 سازند دالان بالایی مطابقت دارد. رخساره‌های وکستون و پکستون‌های گل غالب در محیط لاگون، رخساره غالب این زون هستند. این زون دارای سنگ‌شناسی آهکی با لایه‌های نازک دولومیت و دولومیت آهکی در قسمت‌های قاعده و راس آن است. سیمانی شدن و انحلال، اثرات دیاژنزی قابل توجه در این توالی هستند.

Zone-14: واحد مخزنی^{۱۰}: ضخامت این زون ۶/۶ متر می‌باشد و در قسمت پایینی واحد مخزنی K4 تعیین می‌شود. این قسمت حاوی مقادیر نسبتاً بالایی از تخلخل (میانگین ۱۳/۲ درصد) و تراوایی (میانگین ۱۴/۵ میلی‌داری) است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره‌سازی و جریان این قسمت به ترتیب ۳ و ۳/۵ است. بنابراین، این زون می‌تواند به عنوان مخزن با کیفیت مخزنی متوسط در نظر گرفته شود. این قسمت با ابتدای سیستم تراکت RST از سکانش UDS4 سازند دالان بالایی انطباق دارد. رخساره‌های دانه غالب مجموعه شول رخساره غالب این

⁹ Reservoir unit

¹⁰ Reservoir unit

⁶ Reservoir unit

⁷ Baffle unit

⁸ Baffle unit

مخزن بالایی در واحد K4 است. مقادیر خوبی از ظرفیت ذخیره‌سازی و جریان در این سیستم تراکت مشاهده می‌شود (جدول ۴). واحدهای جریان HFU-4 و HFU-5، واحدهای غالب این سیستم تراکت هستند، همچنین مقادیر کمی از HFU-6 نیز در این سیستم تراکت قابل مشاهده است (شکل ۹).

سیستم تراکت RST سکانس UDS4: در ابتدا شامل رسوبات دانه غالب گریستونی و پکستونی رخساره‌های شول بوده که دارای کیفیت مخزنی خوبی هستند، اما در برخی قسمت‌ها به علت سیمانی شدن، کیفیت مخزنی اولیه خود را از دست داده‌اند (جدول ۲؛ PRT7 و PRT6). این رخساره‌ها به سمت اواخر سکانس توسط رخساره‌های مادستونی، دولومادستونی و انیدریتی جایگزین می‌شوند که پتانسیل مخزنی ضعیفی دارند (جدول ۲؛ PRT1 و PRT4). تنوع بالای واحدهای جریانی در این سیستم تراکت نشان از تنوع رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی دارد. واحدهای جریانی با کیفیت متوسط (HFU-1) در اوایل سیستم تراکت، به علت وجود رخساره‌های گریستونی محیط شول با تخلخل‌های قالبی می‌باشد. به سمت اواخر سیستم تراکت، به علت خروج از آب رسوبات و قرار گرفتن در محیط دیاژنزی جوی، رسوبات انحلال یافته و کیفیت مخزنی خوبی پیدا می‌کنند که منطبق با واحدهای جریانی با کیفیت خوب (HFU-3، HFU-4 و HFU-5) هستند. بر اساس روش لورنز این قسمت با زون‌های شماره ۱۰ تا اواسط زون ۱۵ انطباق دارد (شکل ۹).

سیستم تراکت TST سکانس UDS3: سیستم تراکت TST در ابتدا از رخساره‌های گل غالب کمرند پهنه جذرومدی تشکیل شده است که به سمت بالا به رخساره‌های دانه غالب محیط‌های شول و پشت شول تبدیل می‌شود. مطابق با زون شماره ۹ لورنز با میانگین ۳/۷ درصد تخلخل و ۶/۴۱ میلی‌داری تراوایی می‌باشد. (جدول ۳). با توجه به مقادیر ظرفیت ذخیره‌سازی و جریان متوسط تا بالا، به عنوان مخزن تفسیر می‌شود. واحدهای جریانی HFU-5، HFU-6 و HFU-7 واحدهای جریانی غالب در این سیستم تراکت می‌باشند (شکل ۹).

سیستم تراکت RST سکانس UDS3: شامل تناوبی از رخساره‌های گل غالب و دانه‌غالب (PRT5 و PRT6) محیط‌های لاگون و شول می‌باشد. این قسمت در زیر

منطقه هستند. با این حال، برخی از رخساره‌های کم انرژی از محیط‌های پهنه جذرومدی و لاگون نیز وجود دارد. سیمانی شدن، میکرایتی شدن، تراکم و انحلال از آثار مهم دیاژنزی در این قسمت هستند. عموماً دارای سنگ‌شناسی آهکی با برخی از فواصل دولومیت تا دولومیت آهکی است. **Zone-15: واحد مخزنی^{۱۱}**: این زون با ضخامت ۵۲ متر در پایین‌ترین قسمت واحد مخزنی K4 تعیین می‌شود. این قسمت حاوی ۱/۸ درصد تخلخل و ۱/۶ میلی‌داری تراوایی است. مقادیر کل ظرفیت‌های ذخیره و جریان به ترتیب ۴/۲ و ۷/۷ می‌باشد. با توجه به مقادیر متوسط ظرفیت‌های ذخیره و جریان، این منطقه می‌تواند به عنوان یک واحد مخزنی با کیفیت متوسط در نظر گرفته شود. این قسمت با ابتدای سیستم تراکت TST از سکانس رده سه UDS4 سازند دالان بالایی مطابقت دارد. این زون به طور قابل‌ملاحظه‌ای از رخساره‌های دولومیتی شده محیط‌های پهنه جذرومدی، پشت شول و شول تشکیل شده است. کیفیت مخزنی اولیه این رخساره‌ها در طی دیاژنزی از طریق دولومیتی شدن، سیمانی شدن و تراکم تغییر یافته است.

۵-۴- توزیع ناهمگنی‌ها در چارچوب سکانس‌های

رسوبی

با بررسی و تلفیق انواع روش‌های تعیین گونه سنگی در این مطالعه و همچنین بررسی ارتباط آن‌ها با یکدیگر در چارچوب چینه‌نگاری سکانشی و ردیابی این ارتباطات در دیگر چاه‌ها، می‌توان با دقت بالایی در چاه‌های فاقد مغزه به بررسی ناهمگنی‌ها، فشار موئینه و شعاع گلوگاه‌ها پرداخت. در ادامه ویژگی‌های مخزنی هریک از سیستم تراکت‌های شناسایی شده بر اساس گونه‌های سنگی و ناهمگنی‌های مخزنی با تلفیق گونه‌های سنگی در توالی‌های دالان بالایی و کنگان به اختصار بیان می‌شود.

سیستم تراکت TST سکانس UDS4: این قسمت اغلب از وکستون و پکستون‌های گل‌غالب حاوی خرده‌های اسکلتی و پلوییدی مربوط به محیط لاگون، تشکیل شده است که نشان‌دهنده یک توالی کربناته با تخلخل‌های بین دانه‌ای، حفره‌ای و قالبی است (جدول ۲؛ PRT5). دولومیتی شدن و انحلال از آثار مهم دیاژنزی در این قسمت هستند که باعث افزایش کیفیت مخزنی شده است. منطبق با زون شماره ۱۵ لورنز می‌باشد که دارای کیفیت

¹¹ Reservoir unit

اساس روش لورنز این قسمت با زون شماره ۲ انطباق دارد (شکل ۹).

سیستم تراکت RST سکانس KS1: رخساره‌های غالب این سیستم تراکت، رخساره‌های مادستونی و دولومادستونی محیط پهنه جذرومدی بوده که نشان‌دهنده یک توالی کربناته با تخلخل‌های بین‌بلورین و فنسترال است. در برخی موارد، انحلال سبب ایجاد تخلخل‌های محدود حفره‌ای در این رخساره‌ها شده است (جدول ۲؛ PRT2 و PRT4). دولومیتی شدن و انحلال از آثار مهم دیاژنزی در این قسمت هستند که باعث افزایش تخلخل شده است. منطبق با زون شماره ۱ لورنز می‌باشد که دارای تخلخل بالا اما تراوایی متوسط تا پایین می‌باشد که باعث ایجاد یک زون تله‌ای در واحد K1 شده است. مقادیر متوسط تا خوبی از ظرفیت ذخیره‌سازی و جریان در این سیستم تراکت مشاهده می‌شود (جدول ۴). واحدهای جریان HFU-2 و HFU-3، واحدهای غالب این سیستم تراکت هستند، همچنین مقادیر کمی از HFU-6 نیز در قاعده این سیستم تراکت قابل مشاهده است (شکل ۹).

۶- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، با تلفیق نتایج بدست آمده از تعیین گونه‌های سنگی پتروگرافی، واحدهای جریان هیدرولیکی و زون‌بندی مخزنی به روش SMLP در چارچوب چینه‌نگاری سکانشی و سیستم تراکت‌های رسوبی، به بررسی ارتباطات میان آن‌ها و جایگاه‌های سکانشی پرداخته شد. مهمترین نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

بررسی ارتباط رخساره‌های میکروسکوپی تعیین شده در مطالعات پتروگرافی با مطالعات پتروفیزیکی نشان می‌دهد که واحدهای جریان با کیفیت مخزنی خوب (HFU-2 تا HFU-5) اغلب با رخساره‌های دانه‌غالب مربوط به کمربند رخساره‌ای شول که بر اثر دیاژنز، انحلال و یا دولومیتی شده‌اند، مطابقت دارند و افق‌های مخزنی خوبی در سکانشی‌های رسوبی UDS4، بخش میانی و بالایی سکانس KS2 و ابتدای سکانس KS1 بوجود آورده‌اند. در برخی قسمت‌ها، حفرات موجود در این رخساره‌ها بر اثر تراکم و سیمانی‌شدن از بین رفته‌اند و کیفیت مخزنی متوسط تا ضعیفی را فراهم آورده‌اند (HFU-1، HFU-6، HFU-7 و HFU-8).

ناپیوستگی پرمین-تریاس قرار دارد که به عنوان مرز سکانس UDS3 تعیین شده است (شکل ۹). انحلال بالای دیاژنز جوی منجر به تخلخل‌های قالبی شده است. این ناحیه اغلب دارای واحدهای جریان HFU-2 و HFU-3 با کیفیت مخزنی خوب است. همچنین در قسمت‌های پایین‌تر، سیمان دریایی باعث ایجاد یک سد ناتراوا در برابر جریان گردیده است (جدول ۲؛ زون شماره ۸).

سیستم تراکت TST سکانس KS2: این سیستم تراکت با رخساره‌های ترومبولیتی در ابتدای سازند کنگان شروع می‌شود. ترومبولیت‌ها یک رخساره کلیدی برای شناسایی گذر رسوبات پرمین بالایی به تریاس پایینی هستند. به سمت بالا رخساره‌ها تغییر کرده که ویژگی‌های آن‌ها نشان از بالا آمدن سطح آب دریا می‌باشد. منطبق با زون شماره ۵ لورنز بوده و دارای ظرفیت ذخیره و جریان بالا است (جدول ۳). گونه‌های سنگی PRT3 و PRT7، گونه‌های سنگی غالب در این سکانس هستند. ویژگی‌های ذکر شده به همراه واحدهای جریان HFU-2 و HFU-3 نشان‌دهنده یک توالی با کیفیت مخزنی خوب می‌باشد.

سیستم تراکت RST سکانس KS2: در ابتدا شامل رخساره‌های پرانرژی کمربند رخساره‌ای شول می‌باشد (جدول ۲؛ PRT7). که در ادامه به سمت بالا به رخساره‌های کم انرژی لاگون و سپس مادستون‌های پهنه جذرومدی تبدیل می‌شود، به دلیل فرآیند دولومیتی شدن و وجود واحدهای جریان HFU-5 و HFU-6 در این ناحیه، کیفیت مخزنی خوبی قابل مشاهده است. این قسمت با زون شماره ۲ و ۳ لورنز انطباق دارد. مقادیر ظرفیت ذخیره و جریان این زون‌ها نیز گواه بر کیفیت مخزنی خوب در این سیستم تراکت می‌باشد (جدول ۳).

سیستم تراکت TST سکانس KS1: شامل تناوبی از رخساره‌های دانه غالب گرینستونی و پکستونی و گل غالب وکستونی بوده که دارای کیفیت مخزنی خوبی می‌باشند (جدول ۲؛ PRT7 و PRT5). کیفیت مخزنی خوب این رخساره‌ها به دلیل فرآیند غالب دولومیتی‌شدن در این سیستم تراکت می‌باشد. تنوع بالای واحدهای جریان در این سیستم تراکت نشان از تنوع رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی دارد. واحدهای جریان HFU-7 و HFU-6، واحدهای جریان غالب در این سیستم تراکت هستند. اما در بعضی از قسمت‌ها کیفیت مخزنی کاهش پیدا می‌کند که باعث ایجاد چند زیر واحد در این قسمت شده است. بر

کیفیت مخزنی برخوردار می‌باشند. البته تغییرات رخساره‌ها و نیز تغییر در نوع و شدت فرآیندهای دیاژنزی (بخصوص انحلال، دولومیتی شدن و سیمانی شدن) سبب ایجاد ناهمگنی‌های کوچک مقیاس در درون زون‌های مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان شده‌اند. این ناهمگنی‌های کوچک مقیاس نیز در چارچوب سکانس‌های رسوبی رده پایین‌تر (رده چهارم) یا سیکل‌های رسوبی قابلیت ردیابی و مدل‌سازی دارند.

منابع

رحیم‌پوربناب، ح.، علی‌اکبردوست، ا. (۱۳۹۲) تعیین رخساره‌های مخزنی در سنگ‌های کربناته بر اساس مغزه‌های تزریق جیوه و انواع تخلخل در سازندهای دالان و کنگان، میدان گازی پارس جنوبی، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱، شماره ۲، ص ۱-۱۵.

- Aali, J., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M. R (2006) Geochemistry and origin of the worlds largest gas field from Persian gulf, Iran. J. Petrol. Sci. Eng. 50: 161-175.
- Abbaszadeh, M., Fujii, H., Fujimoto, F., others (1996) Permeability prediction by hydraulic flow units-theory and applications, SPE, 11: 263-271.
- Ahr, W. M (2008) Geology of carbonate reservoirs John Wiley & Sons, Inc., Publication, 296 p.
- Al-Ajmi, F. A., and Stephen, A. H (2000) Permeability Estimation Using Hydraulic Flow Units in a Central Arabia Reservoir, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas.
- Al-Husseini, M (2007) Iran's crude oil reserves and production. GeoArabia, 12 (2): 69-94.
- Alsharhan, A. S (2006) Sedimentological character and hydrocarbon parameters of the Middle permian to Early Triassic Khuff formation United Arab Emirates. GeoArabia, 11: 121-158.
- Amaefule, J. O., Altnubay, M., Tiab, D., Kersey, D. G., Keeland, D. K (1993) Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in un-cored intervals/wells. Society of Petroleum Engineers, SPE, 26436: 1-16.
- Carmen, P. C (1937) Fluid Flow through Granular Beds. Trans. AIChE, 15: 150-166.
- Chopra, A. K., Stein, M. H., & Ader, J. C (1989) Development of reservoir descriptions to aid in design of EOR projects. SPE reservoir engineering, 4(02): 143-150.
- Dunham, R. J (1962) Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures.
- Edgell, H. S (1996) Salt tectonism in the Persian Gulf basin. Geol. Soc. London, Spec. Publ, 100: 129-151.

رخساره‌های انیدریتی، دولومیت انیدریتی و ریزدانه که معمولاً منطبق با قاعده سیستم تراکت TST و قسمت بالای سیستم تراکت RST هستند باعث کاهش تخلخل در توالی‌های مورد مطالعه شده‌اند و جداکننده واحدهای جریان‌ی مخزن هستند. این رخساره‌ها با واحدهای جریان‌ی HFU-7 و HFU-8 منطبق هستند و در گونه‌های سنگی PRT1 تا PRT4 جای می‌گیرند.

پیشروی رخساره‌های جذرومدی و لاگون همراه با دیاژنز هایپرزالین باعث ایجاد توالی‌های غیرمخزنی و همچنین پیشروی رخساره‌های شول به همراه دیاژنز جوی باعث تشکیل توالی‌های مخزنی می‌شود. توالی‌های میان این دو مورد به صورت پیوسته بوده و رخساره‌های لاگون و دریای باز، همچنین در برخی مواقع رخساره‌های شول و لاگون محدود شده تحت تاثیر دیاژنز هایپرزالین و سپس دیاژنز جوی قرار گرفته و تبلور مجدد دولومیت‌های آن‌ها باعث تشکیل زون‌های دولومیتی با بهترین کیفیت مخزنی مانند بخش میانی واحد K4 شده است.

رخساره‌های مربوط به پهنه‌های جزرومدی، لاگون و دریای باز که عمدتاً گل‌غالب هستند، به همراه رخساره‌های متراکم‌شده و سیمانی‌شده دانه غالب، باعث ایجاد افق‌های ضعیف مخزنی در بخش‌های مختلف این سازندها شده‌اند. بخش‌های غیرمخزنی مخازن دالان بالایی و کنگان در سیستم تراکت RST سکانس UDS3 و بخش بالایی سیستم تراکت RST سکانس KS1 متمرکز شده‌اند.

بر اساس شواهد موجود، علاوه بر محیط رسوبی، دیاژنز نیز پارامتر اساسی در ایجاد ناهمگنی‌های مخزنی بوده است، در واقع در سازندهای دالان بالایی و کنگان، دیاژنز نقش پررنگ‌تری در ایجاد ناهمگنی‌ها دارد. با توجه به تغییرات مشاهده شده، می‌توان ارتباط خوبی در مفاهیم گونه‌های سنگی رسوبی، واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی و زون‌بندی مخزنی به روش SMLP مشاهده کرد. همچنین، این ناهمگنی‌ها را می‌توان در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی پیش‌بینی و ردیابی کرد.

به طور کلی می‌توان چنین بیان کرد که توزیع کیفیت مخزنی در توالی‌های رسوبی پرمین-تریاس در میدان مورد مطالعه بطور مستقیم وابسته به گسترش رخساره‌های شول و نیز دولومیتی شدن در این توالی هاست. از این منظر، هر دو سیستم تراکت پیش‌رونده و پس‌رونده در سکانس KS4 به همراه سیستم تراکت پس‌رونده سکانس KS2 از بالاترین

- offshore Fars: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *GeoArabia*, 11 (2): 75-176.
- Kadkhodaie, A., Amini, A (2009) A fuzzy logic approach to estimating hydraulic flow units from well log data: A case study from the Ahwaz oilfield, South Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 32(1): 1-12.
- Koehrer, B., Aigner, T., Forke, H., Pöppelreiter, M (2012) Middle to upper Khuff (sequences KS1 to UDS4) outcrop-equivalents in the Oman mountains: grainstone architecture on a subregional scale. *GeoArabia*, 17: 59-104.
- Koehrer, B. S., Heymann, C., Prousa, F., Aigner, T (2010) Multiple-scale facies and reservoir quality variations within a dolomite body-outcrop analog study from the Middle Triassic, SW German Basin. *Mar. Petrol. Geol.*, 27: 386-411.
- Kozeny, J (1927) *Über Kapillare Leitung des Wassers im Boden, Stizurgsberichte*, Royal Academy of Science, Vienna, Proc. Class, 1 (136): 271-306.
- Lorenz, M. O (1905) Methods of measuring the concentration of wealth. *Publ. Am. Stat. Assoc.* 9: 209-219.
- Lucia, F. J (2007) *Carbonate Reservoir Characterization: an Integrated Approach*. Springer Science & Business Media.
- Maglio-Johnson, T (2000) *Petrophysical Definition of Flow Units in a Deep-Water Sandstone*, Lewis Shale, Wyoming. AAPG Search and Discovery, Article #90909.
- Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A. H., and Esrafil-Dizaji, B (2015a) Impact of contrasting paleoclimate on carbonate reservoir architecture: Cases from arid Permo-Triassic and humid Cretaceous platforms in the south and southwestern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 126: 262-283.
- Mehrabi, H., Mansouri, M., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Hassanzadeh, M (2016) Chemical compaction features as potential barriers in the Permian-Triassic reservoirs of Southern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 145: 95-113.
- Mehrabi, H., Ranjbar-Karami, R., and Roshani-Nejad, M (2019) Reservoir rock typing and zonation in sequence stratigraphic framework of the cretaceous dariyan formation, Persian Gulf. *Carbonates and Evaporites*, 34(4): 1833-1853.
- Nazemi, M., Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H., Hosseini, M., Sharifi-Yazdi, M (2018) The effect of carbonate reservoir heterogeneity on Archie's exponents (a and m), an example from Kangan and Dalan gas formations in the central Persian Gulf. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 59: 297-308.
- Nurmi, R., Charara, M., Waterhouse, M., Park, R (1990) Heterogeneities in carbonate Edgell, H. S (1977) The Permian system as an oil and gas reservoir in Iran, Iraq and Arabia. *Proc. Second Iranian Geological Symposium*, Tehran, pp. 161-201.
- Ehrenberg, S.N., 2006. Porosity destruction in carbonate platforms. *J. Petrol. Geol.*, 29: 41-52.
- Ehrenberg, S. N., Nadeau, P. H., Agrawi, A. A. M (2007) A comparison of Khuff and Arab reservoir potential throughout the Middle East. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 91: 275-286.
- Embry, A. F (2002) Transgressive-regressive (TR) sequence stratigraphy. In: *Gulf Coast SEPM Conference Proceedings*, 151-172. Houston.
- Embry, A. F., Klován, J. E (1971) A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island. *NWT. Bull. Can. Pet. Geol.*, 19: 730-781.
- Enayati-Bidgoli, A., Navidtalab, A (2020) Effects of progressive dolomitization on reservoir evolution: a case from the Permian-Triassic gas reservoirs of the Persian Gulf, offshore Iran. *Mar. Petrol. Geol.*, 104480.
- Enayati-Bidgoli, A. H., Rahimpour-Bonab, H (2016) A geological based reservoir zonation scheme in a sequence stratigraphic framework: a case study from the Permo-Triassic gas reservoirs, Offshore Iran. *Mar. Petrol. Geol.* 73: 36-58.
- Enayati-Bidgoli, A. H., Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H (2014) Flow unit characterisation in the permian-triassic carbonate reservoir succession at South Pars gasfield, offshore Iran. *J. Petrol. Geol.*, 37 :205-230.
- Esrafil-Dizaji, B., Rahimpour-Bonab, H (2009) Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf. *Petrol. Geosci.*, 15: 325-344.
- Esrafil-Dizaji, B., Kiani Harchegani, F., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M. R (2013) Controls on reservoir quality in the early triassic Kangan formation, Iran. In: Pöppelreiter, M. (Ed.), *Permo-Triassic Sequence of the Arabian*. EAGE.
- Esrafil-Dizaji, B., Rahimpour-Bonab, H (2014) Generation and evolution of oolitic shoal reservoirs in the Permo-Triassic carbonates, the South Pars Field, Iran. *Facies*, 60: 921-940.
- Flügel, E (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*.
- Gomes, J. S., Ribeiro, M. T., Strohmenger, C. J., Naghban, S., Kalam, M. Z (2008) Carbonate reservoir rock typing-the link between geology and SCAL. *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*.
- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M., and Monibi, S (2006) Upper Dalan/Kangan Formation between the Zagros Mountains and

- behaviour. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 406: 229–259.
- Soto, B. R., Garcia J. C., Torres F., and Perez G. S. (2001) Permeability Prediction Using Hydraulic Flow Units And Hybrid Soft Computing Systems, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana.
- Szabo, F., Kheradpir, A (1978) Permian and triassic stratigraphy, zagros basin, south-west Iran. J. Petrol. Geol, 1: 57–82.
- Tavakoli, V., Jamalain, M (2018) Microporosity evolution in Iranian reservoirs, Dalan and Dariyan Formations, the central Persian Gulf. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 52: 155–165.
- Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B (2011) Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach. Comptes Rendus Geoscience, 343: 55–71.
- Tavakoli, V (2020) Microscopic heterogeneity. Carbonate Reservoir Heterogeneity. Springer, 17–51.
- Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B (2011) Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach. Compt. Rendus Geosci, 343: 55–71.
- Tavani, S., Parente, M., Vitale, S., Iannace, A., Corradetti, A., Bottini, C., Morsalnejad, D., Mazzoli, S (2018) Early Jurassic rifting of the Arabian passive continental margin of the Neo-Tethys. Field evidence from the Lurestan region of the Zagros fold-and- thrust belt, Iran. Tectonics, 37: 2586–2607.
- Tavoosi-Iraj, P., Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Ranjbar-Karami, R (2021) Quantitative analysis of geological attributes for reservoir heterogeneity assessment in carbonate sequences; a case from Permian-Triassic reservoirs of the Persian Gulf. J Petrol Sci Eng, 200: 108356.
- Tiab, D., Donaldson, E. C (2015) Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. Gulf professional publishing.
- Zeller, M., Koehrer, B., Adams, E. W., Pöppelreiter, M., Aigner, T (2011) Near well-scale heterogeneities in A Khuff outcrop equivalent (saiq plateau, Al jabal Al akhdar, sultanate of Oman). J. Petrol. Geol, 34: 241–260.
- Ziegler, M. A (2001) Late permian to holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. GeoArabia, 6: 445–504.
- reservoirs: detection and analysis using borehole electrical imagery. Geol. Soc. London, Spec. Publ, 48: 95–111.
- Perotti, C. R., Bertozzi, G., Feltre, L., Rahimi, M., et al (2011) The Qatar-south fars arch development (arabian platform, Persian gulf): insights from seismic interpretation and analogue modelling. New Frontiers in Tectonic Research - at the Midst of Plate Convergence.
- Pillevuit, A (1993) Les blocs exotiques du Sultanat d'Oman: evolution paléogéographique d'une marge passive flexurale. Posamentire, H. W., Vail, P. R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition ii—sequence and systems tract models. Sea-Level Changes. SEPM (Society for Sedimentary Geology), 125–154.
- Porras, J. C., Barbato, R., Khazen, L (1999) Reservoir flow units: a comparison between three different models in the Santa Barbara and Pirital fields, North Monagas area, Eastern Venezuela basin. SPE 53671, Presented at Latin America Caribbean Pet. Eng. Conf., Caracas, Venezuela.
- Rahimpour-Bonab, H (2007) A procedure for appraisal of a hydrocarbon reservoir continuity and quantification of its heterogeneity. J. Petrol. Sci. Eng, 58: 1–12.
- Rahimpour-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A. H., Navidtalab, A., Mehrabi, H (2014) Appraisal of intra reservoir barriers in the Permo-Triassic successions of the central Persian gulf, offshore Iran. Geol. Acta, 12: 87–107.
- Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B., and Tavakoli, V (2010) Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gasfield, offshore Iran: Controls on reservoir quality. Journal of Petroleum Geology, 33: 43–66.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Enayati-Bidgoli, A. H., Omidvar, M (2012) Coupled imprints of tropical climate and recurring emersions onreservoir evolution of a mid-Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, SW Iran. Cretac. Res. 37: 15–34.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Izadi-Mazidi, E (2012) Flow unit distribution and reservoir modeling in Cretaceous carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oilfield, Dezful Embayment, SW Iran. Journal of Petroleum Geology, 35:1–24.
- Sharland, P. R., Archer, D. M., Casey, R. B., Davies, S.H., Hall, A.P., Heward, A.D., Horbury, A.D., Simmons, M.D (2001) Arabian Plate Sequence Stratigraphy, vol. 2. GeoArabia Spec. Publ.
- Skalinski, M., Kenter, J. A. M (2015) Carbonate petrophysical rock typing: integrating geological attributes and petrophysical properties while linking with dynamic

Integration of geological and petrophysical studies for evaluation of reservoir heterogeneities in carbonate sequences: case study from Permian–Triassic reservoirs in the Persian Gulf

M. H. Dahaghin¹, H. Mehrabi^{2*}, H. Rahimpour-Bonab³ and B. Beiranvand⁴

1- M. Sc. in sedimentology and Sedimentary Petrology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Assist. Prof., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Prof., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

4- Assist. Prof., Geosciences Division, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

* mehrabi.hamze@ut.ac.ir

Received: 2022/11/22 Accepted: 2023/6/18

Abstract

This study integrates the results of petrographic studies of core samples and thin sections with petrophysical data for the evaluation of heterogeneities in the distribution of reservoir properties in the Upper Dalan and Kangan formations. Reservoir rock types, hydraulic flow units, and reservoir zonation of these formations are determined in a sequence stratigraphic framework. Accordingly, 7 rock types and 8 hydraulic flow units are defined using the petrographic evidence and flow zone indicator values, respectively. Based on the Lorenz approach, 15 reservoir, speed, barrier, and baffle zones have been differentiated. Among the defined rock types, PRT1 (compacted anhydrite) has lowest reservoir quality, and PRT7 (dolomitized packstone and grainstone) has highest reservoir quality. A combination of depositional facies characteristics and diagenetic alterations controlled the reservoir properties in these formations. There are one reservoir and one baffle zone in the K1 unit, two reservoir zones and one speed zone in the K2, one reservoir, baffle, barrier, and speed zone in the K3, and three reservoirs, two baffle, and one barrier zone in the K4 unit. All macroscopic and microscopic heterogeneities are determined in sequence stratigraphic framework. Results showed that non-reservoir units of Permian–Triassic formations are concentrated within the RSTs (regressive systems tracts) of UDS3 and KS1 sequences. On the other hand, reservoir zones correspond to the RST of KS2 and the UDS4 sequences.

Keywords: Hydraulic flow units, Reservoir zonation, Sequence stratigraphy, Dalan and Kangan, Persian Gulf