سامانه روزنه‌ها در ارتباط با ویژگی‌های مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان در میدان لاوان واقع در جنوب خاوری خلیج‌فارس

رحیم کدخدائی ایلخچی[۱] و بیژن نوری[۲]

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران
۲- شرکت نفت فلات قاره ایران، تهران، ایران

نویسنده مسئول: rahimkadkhodaee2005@gmail.com

دریافت: ۹۵/۶/۱۲ پذیرش: ۹۵/۱۱/۳

چکیده

سازندهای کربناته دالان بالایی و کنگان با سن پرمین پسین- تریاس پیشین به عنوان سنگ مخزن اصلی گازی در برخی میدان‌های خلیج‌فارس محسوب می‌شوند. رخساره‌های کربناته در این سازندها که در ارتباط با زیرمحیط‌های پشته سدی، لاگون و پهنه کشندی هستند در یک محیط رمپ کربناته در شرایط آب و هوایی گرم و خشک گسترش پیدا کرده‌اند. سامانه روزنه‌ها در این سازندها زیر تاثیر بافت رسوبی اولیه و دیاژنز، کنترل بسیاری بر ویژگی‌های مخزنی آن‌ها دارد. در این پژوهش با هدف بررسی تاثیر این عوامل بر کیفیت مخزنی سازندهای یادشده در میدان لاوان، واحدهای جریانی هیدرولیکی شناسایی و جدا شدند. با بررسی ارتباط بین واحدهای جریانی تفکیک شده و ویژگی‌های رسوبی و دیاژنزی آن‌ها، سامانه روزنه‌های رخساره‌های مخزن در چهار دسته با مقادیر تخلخل و تراوایی بالا، پایین، حدواسط و تخلخل بالا-تراوایی پایین تقسیم‌بندی شدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که فرآیندهای دیاژنزی مانند انحلال، سیمانی‌شدن، دولومیتی‌شدن و در مواردی شکستگی با توجه با ویژگی‌های بافتی اولیه، تاثیر بسزایی بر پخش سامانه روزنه‌ها درون انواع رخساره‌های مخزن و ویژگی‌های مخزنی آن‌ها دارند. چنانچه فرآیند سیمانی‌شدن گسترده توسط انیدریت و کلسیت بطور عمده در رخساره‌های دانه‌پشتیبان در راستای کاهش شدید کیفیت مخزنی و فرآیند انحلال با ایجاد تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای در جهت تغییر سامانه روزنه‌ها، بهبود و یا افزایش کیفیت مخزنی عمل نموده‌اند. در بخش‌هایی از مخزن فرآیند دولومیتی‌شدن با ایجاد تخلخل‌های میان‌بلوری و فرآیند شکستگی بویژه در رخساره‌های مادستونی کیفیت مخزنی را بهبود بخشیده‌اند.

واژه‌های کلیدی: رخساره‌های کربناته، دیاژنز، سامانه روزنه‌ها، واحدهای جریانی، کیفیت مخزنی

۱- مقدمه

سازندهای کربناته-تبخیری دالان بالایی و کنگان با سن پرمین بالایی-تریاس زیرین از مهم‌ترین مخزن‌های گازی در خلیج‌فارس هستند. از این رو این سازندها و هم‌ارز آن‌ها در کشورهای همسایه با توجه به اهمیت مخزنی که دارند از جنبه‌های متفاوتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند [برای نمونه ۱۳،۸، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۷]. این مطالعه نیز با تاکید بر نقش سامانه روزنه‌ها بر ویژگی‌های مخزنی، به بررسی این سازندها در میدان لاوان واقع در خلیج فارس می‌پردازد (شکل۱). به لحاظ مخزنی، این سازندها به ترتیب به واحدهای مخزنی K1 و K2 در سازند کنگان و K3 و K4 در سازند دالان بالایی جدا می‌شوند (شکل۲) [۱۷]. در مطالعات مخازن، برقراری ارتباط بین ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی نقش بسزایی در تفکیک گونه‌های سنگی، شناسایی زون‌های مخزنی و مدل‌سازی مخزن دارد. سامانه روزنه‌های سنگ‌های مخزن شامل حفرات و گلوگاه‌های حفرات است که زیر تاثیر متقابل بافت رسوبی و دیاژنز قرار دارد و نقش مهمی در جریان و به تله انداختن سیال درون مخزن دارد [۵]. شکل هندسی روزنه‌ها، به عنوان یک پارامتر کنترل‌کننده بیش‌تر ویژگی‌های پتروفیزیکی و ناهمگونی‌های کوچک مقیاس درون مخزن محسوب می‌شود [۱۱]. در واقع سامانه روزنه های سنگ‌های مخزن که کنترل‌کننده ویژگی های مخزنی و رفتار تولید آن‌ها در میدان است زیر کنترل ویژگی های اولیه بافتی (رخساره) و عوارض دیاژنزی مراحل بعدی است. در سازندهای دالان بالایی و کنگان پژوهش‌های متعددی به لحاظ مخزنی و نیز سامانه روزنه-های رخساره‌های مخزن انجام گرفته است [برای نمونه ۴، ۵، ۶، ۱۴، ۱۵، ۲۴، ۲۶]. در بیش‌تر این مطالعات به نقش

ویژگی های رسوبی و دیاژنزی بر ویژگی‌های مخزنی و سامانه روزنه‌های سنگ‌های مخزن تاکید شده است. در این پژوهش نیز کوشش شده است تا با تاکید بر ویژگی‌های پتروفیزیکی انواع سامانه روزنه‌ها در سازندهای یادشده، نقش آن‌ها در کنترل جریال سیال و کیفیت مخزنی بیش‌تر مشخص شود. در این راستا گونه‌های سنگی مخزن بر پایه مفهوم واحدهای جریانی هیدرولیکی، شناسایی و توصیف شدند. با برقراری ارتباط میان نوع سامانه روزنه‌ها و مقادیر کمی تخلخل و تراوایی رخساره‌های مخزن، سامانه روزنه‌ها بر مبنای ویژگی‌های پتروفیزیکی آن‌ها تفکیک شدند. از یافته‌های برگرفته از این پژوهش می‌توان بطور ساده و موثری در تفکیک زون‌های مخزنی و تفسیر کیفیت مخزنی انواع واحدهای مخزنی بر مبنای ویژگی‌های بافتی و دیاژنزی رخساره-های آن‌ها در سازندهای مورد مطالعه استفاده نمود.

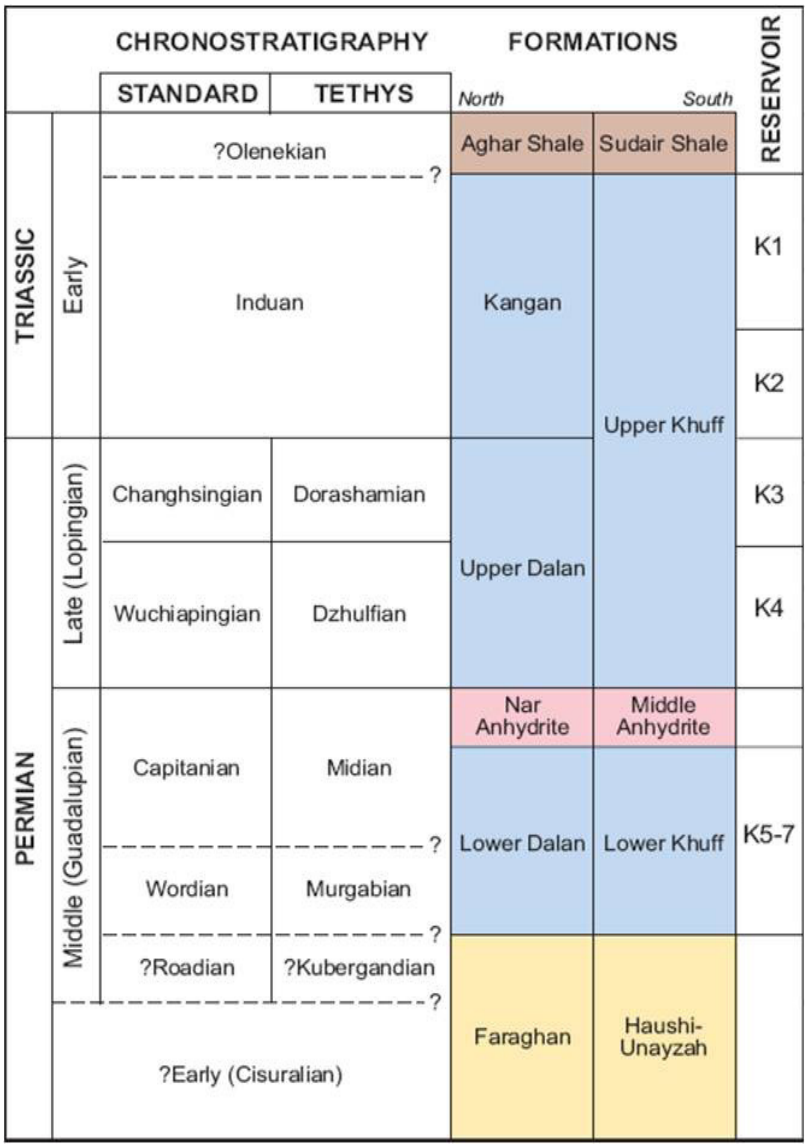
۲- داده‌ها و روش مطالعه

در این پژوهش، شمار ۱۱۰۰ برش نازک میکروسکوپی رنگ‌آمیزی شده با محلول آلیزارین از سازندهای دالان بالایی و کنگان در یک چاه از میدان لاوان بررسی شدند. نام‌گذاری رخساره‌های مخزن بر پایه رده‌بندی دانهام [۱۲] و تفسیر محیط رسوبی آن‌ها با توجه به ویژگی های بافتی، دیرینه‌شناسی و نیز رخساره‌های همراه صورت گرفته است. در راستای اهداف پژوهش، در کنار ویژگی‌های بافتی، عوارض دیاژنزی بویژه سیمانی شدن، دولومیتی‌شدن و انحلال و نیز نوع سامانه روزنه‌های رخساره‌ها در بررسی میکروسکوپی ارزیابی شدند. در بررسی ویژگی‌های مخزنی از داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه استفاده شد. بر این پایه گونه‌های سنگی در قالب مفهوم واحدهای جریانی هیدرولیکی با بهره‌گیری از روش آمافوله و همکاران [۹] شناسایی و جدا شدند. سپس سامانه روزنه‌ها در ارتباط با واحدهای جریانی با توجه به ویژگی های بافتی و دیاژنزی رخساره‌های مخزن مورد بررسی و واکاوی قرار گرفت.

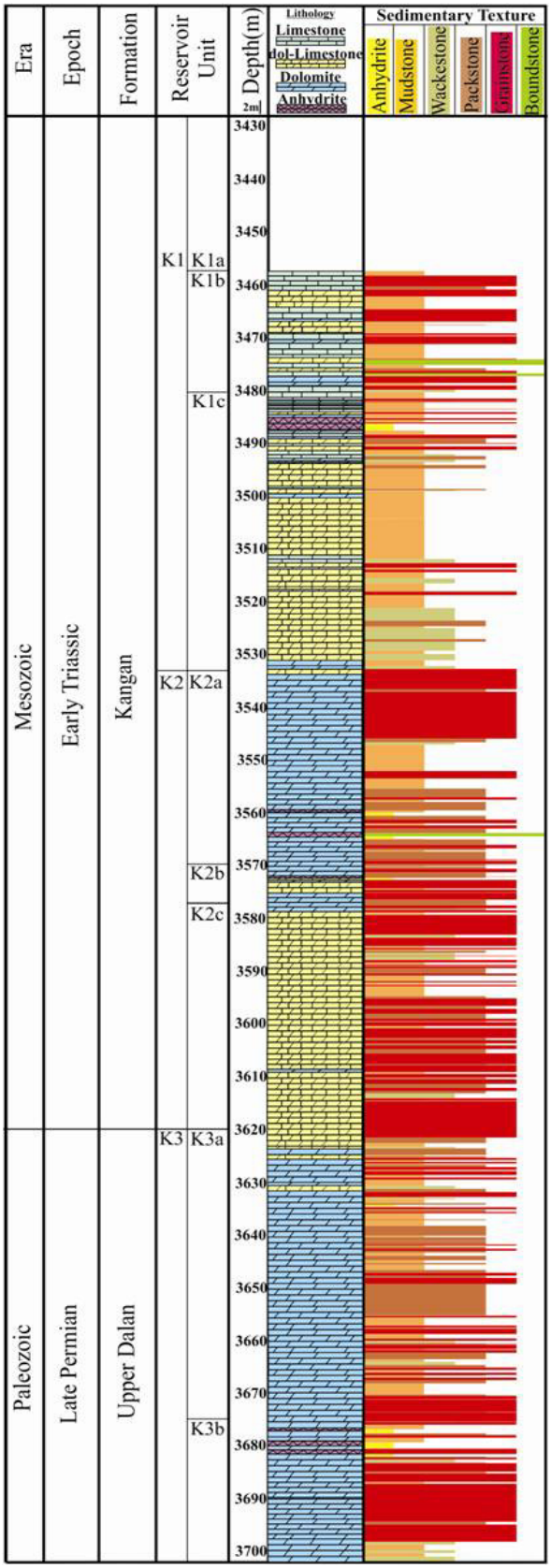
۳- رخساره و محیط رسوبی سازندهای دالان بالایی و کنگان

بر پایه بررسی‌های میکروسکوپی، شمار ۷ رخساره اصلی کربناته در مخازن دالان بالایی و کنگان در میدان مورد مطالعه شناسایی شدند. در جدول ۱، انواع رخساره‌های شناسایی شده درون مخزن به همراه ویژگی های بافتی و دیاژنزی آن‌ها بطور چکیده نشان داده شده است. توصیف کامل این رخساره‌ها و تفسیر محیط رسوبی آن‌ها در پژوهش‌های پیشین توسط کدخدائی و همکاران [۱] نشان داده شد. این رخساره‌ها که در ارتباط با زیرمحیط‌های پشته سدی (رخساره گرینستون تا پکستون اوئیدی-اسکلتی)، لاگون (پکستون تا وکستون پلوئیدی-اسکلتی) و پهنه کشندی (مادستون و میان لایه‌های تبخیری) هستند با توجه به ویژگی های بافتی و رسوبی و رخساره‌های همراه، در بخش‌های کم‌ژرف یک محیط رمپ کربناته (رمپ داخلی) در شرایط آب و هوایی گرم و خشک گسترش یافته‌اند. فرآیندهای مختلف دیاژنزی از زمان تشکیل تا تدفین کم‌ژرف و ژرف، انواع رخساره‌های مخزن را به درجات متفاوتی متاثر ساخته‌اند. این فرآیندها شامل میکرایتی‌شدن، سیمانی‌شدن، فشردگی فیزیکی و شیمیایی، انحلال، دولومیتی‌شدن، گسترش انیدریت و شکستگی هستند [۲]. برخی از این فرآیندها مانند سیمانی‌شدن، دولومیتی‌شدن و انحلال تاثیر بسیاری بر ویژگی‌های سامانه روزنه‌های رخساره‌های مخزن و کیفیت مخزنی آن‌ها داشته‌اند. در شکل ۳، توالی سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی مطالعه شده برای رخساره های مخزن در چاه مورد مطالعه نشان داده شده است. به منظور بررسی تاثیر ویژگی های بافتی و دیاژنزی بر سامانه روزنه‌های رخساره‌های مخزن و ویژگی‌های مخزنی آن‌ها، گونه‌های سنگی مخزن که در بخش زیر به آن می‌پردازیم برپایه مفهوم واحدهای جریانی هیدرولیکی شناسایی و جدا شدند. بررسی و جداسازی گونه‌های سنگی که با توجه به ماهیت داده‌ها با روش‌های مختلفی انجام می‌شود یکی از تکنیک‌های سودمند و موثر در مطالعه ناهمگونی درونی مخزن و شناسایی زون‌های مخزنی است. گونه سنگی بر پایه تعریف آرچی [۱۰] به عنوان واحدهای سنگی توصیف می‌شود که در شرایط همانندی ته‌نشین شده و فرآیندهای دیاژنزی همانندی را گذرانده‌اند که در نتیجه دارای ویژگی‌های منحصر بفردی به لحاظ روابط تخلخل-تراوایی، پروفیل فشار مویینگی و اشباع آب برای یک ارتفاع شناخته‌شده بالای سطح آب آزاد در مخزن هستند.

شکل۱. جایگاه میدان لاوان در ناحیه جنوب شرق خلیج فارس



شکل۲. ستون چینه‌شناسی توالی‌های چینه‌ای پرمین و تریاس در ایران [۴]



شکل ۳. توالی سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی رخساره‌های مخزن در چاه مورد بررسی

جدول۱. ویژگی‌های بافتی، محیط رسوبی، دیاژنزی و سامانه روزنه های رخساره‌های مخزن [۳]

نام رخساره	ویژگی‌های بافتی	اجزاء سازنده	محیط رسوبی	فرآیند دیاژنزی چیره	سامانه روزنه‌ها
گرینستون اوئیدی-اسکلتی	دانه پشتیبان	اوئید، اجزاء اسکلتی (دوکفه‌ای)	محیط پرانرژی (پشته سدی)	سیمانی شدن توسط کلسیت و انیدریت، انحلال، دولومیتی شدن	میان‌دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای
گرینستون-اوئیدی_اینتراکلستی	دانه پشتیبان	اینتراکلست، اوئید، پلوئید	محیط عمدتا پرانرژی	میکرایتی شدن، دولومیتی شدن	میان‌دانه‌ای ، حفره‌ای
گرینستون تا پکستون اوئیدی-پلوئیدی-اسکلتی	دانه پشتیبان به همراه گل کربناته	اوئید، پلوئید، گریپستون، دوکفه‌ای، میلیولید، جلبک و گاستروپود	محیط کم انرژی (لاگون تا پشت سد)	میکرایتی شدن، سیمانی شدن توسط انیدریت، دولومیتی شدن، انحلال	حفره‌ای
باندستون (استروماتولیت)	لامیناسیون نواری، حفرات فنسترال	جلبک‌های سیانوباکتریا	پهنه میان‌کشندی	سیمانی شدن حفرات فنسترال توسط انیدریت، دولومیتی شدن، انحلال	حفره‌ای
ترومبولیت	بافت لخته‌ای و درهم	جلبک	پهنه میان‌کشندی تا لاگون	سیمانی‌شدن حفرات توسط انیدریت، دولومیتی شدن، انحلال	حفره‌ای
مادستون/وکستون	گل پشتیبان	میلیولید، استراکود	پهنه میان‌کشندی	بلورها و ندول‌های پراکنده تبخیری، دولومیتی شدن، انحلال، شکستگی	حفره‌ای، شکستگی
انیدریت	بافت فشرده و لایه‌ای	_	بالای پهنه میان-کشندی (سبخا)	انحلال	_
دولوستون	بافت بلورین	_	دیاژنز تدفینی	دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن توسط انیدریت	میان‌بلوری، حفره‌ای

۴- جداسازی واحدهای جریانی هیدرولیکی

یک روش متداول در جداسازی واحدهای جریانی، روش آمافوله و همکاران [۹] یا روش FZI است که توسط بسیاری از پژوهشگران نیز بهره‌برداری شده است. در این پژوهش نیز ما از این روش بهره می‌گیریم. برای این منظور از داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه استفاده می‌شود. مراحل کار بصورت زیر توصیف می‌شوند.

الف) ابتدا شاخص کیفیت مخزنی (Reservoir Quality Index) بر پایه مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه و طبق معادله ۱ بدست می‌آید.

$$RQI = 0.0314\sqrt{\frac{k}{\varphi}} \qquad \text{(معادله ۱)}$$

در این معادله RQI شاخص کیفیت مخزنی (µm)، k تراوایی (mD) و φ تخلخل بصورت کسری از یک است.

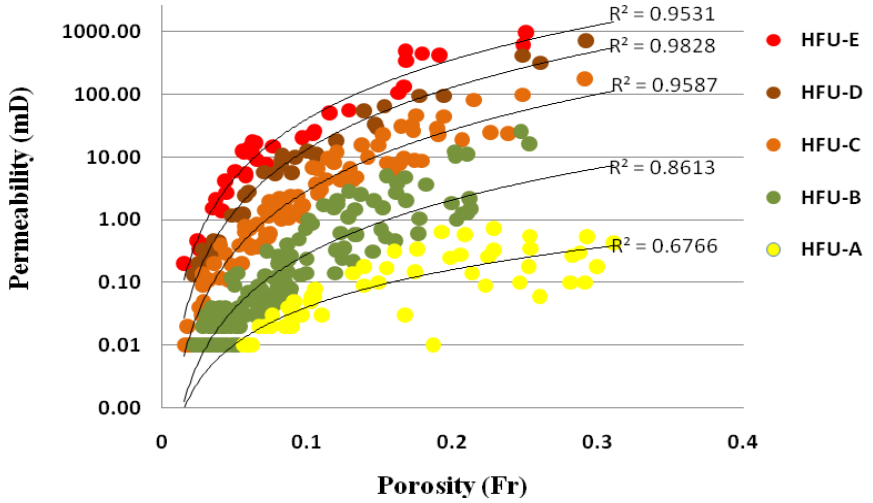
ب) نسبت حجم روزنه های سنگ به حجم بخش جامد آن (Pore to Matrix Ratio) برپایه تخلخل مغزه و طبق معادله ۲ محاسبه می‌گردد.

$$PMR = \frac{\varphi}{1-\varphi} \qquad \text{(معادله۲)}$$

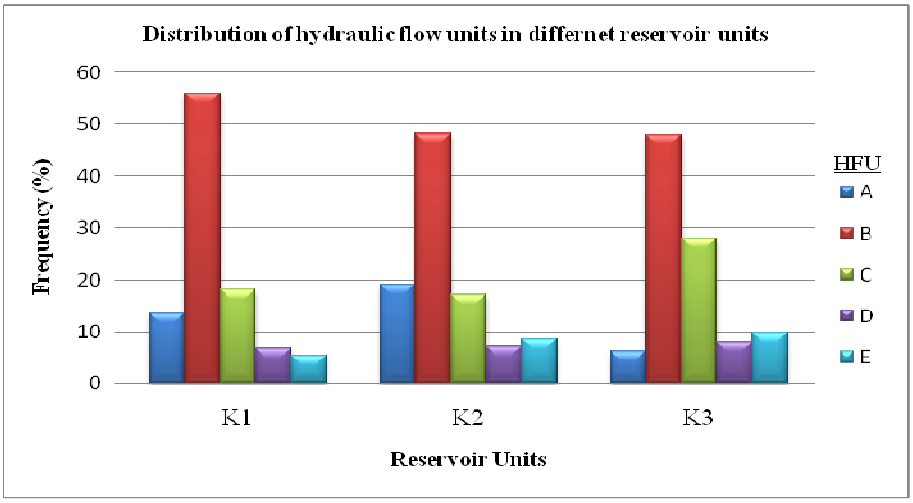
ج) شاخص زون جریانی (Flow Zone Indicator) بر پایه دو معادله قبلی و طبق فرمول ۳ بدست می‌آید.

$$FZI = \frac{RQI}{PMR} \qquad \text{(معادله۳)}$$

سرانجام از مقادیر FZI برای جداسازی واحدهای جریانی بهره‌گیری می‌شود. بر این پایه شمار ۵ واحد جریانی (A تا E) جداشدند. محدوده‌های مقادیر FZI در جداسازی واحدهای جریانی به همراه متوسط مقادیر تخلخل، تراوایی و شاخص کیفیت مخزنی برای هر واحد جریانی هیدرولیکی در جدول ۲ مشخص شده است. نمودار توزیع تخلخل و تراوایی برای واحدهای جریانی جداشده در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که این نمودارها نشان می‌دهند هر واحد جریانی دارای محدوده مشخصی به لحاظ مقادیر تخلخل و تراوایی بر روی نمودار است که در واقع در ارتباط با ویژگی‌های سامانه روزنه‌های آن می‌باشد که خود زیر کنترل ویژگی‌های بافتی و دیاژنزی حاکم بر رخساره‌های مرتبط با آن واحد جریانی است. برای درک بهتری از عوامل کنترل‌کننده ویژگی‌های مخزنی در هر یک از واحدهای جریانی باید ویژگی‌های بافتی و دیاژنزی رخساره‌های مرتبط با آن‌ها را بررسی نمود. در نمودار هیستوگرام شکل ۵، توزیع فراوانی انواع واحدهای جریانی هیدرولیکی درون واحدهای مخزنی سازندهای دالان بالایی (K3) و کنگان (K1 و K2) نشان داده شده است. در بخش زیر به توصیف هر یک از واحدهای جریانی تفکیک‌شده درون مخزن می‌پردازیم.



شکل۴. پخش واحدهای جریانی جداشده در مخزن بر روی نمودار تخلخل و تراوایی در میدان مورد بررسی



شکل۵. نمودار بافت‌نگار پخش فراوانی انواع واحدهای جریانی درون واحدهای گوناگون مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان

جدول۲. دامنه مقادیر **FZI** به همراه میانگین تخلخل و تراوایی برای هر واحد جریانی جداشده درون مخزن در میدان مورد بررسی

HFU	Porosity(Fr)	Permeability (mD)	RQI	Log FZI
A	0.159	0.158	0.026	Log FZI < -0.6
B	0.067	0.636	0.041	-0.6 < Log FZI <0
C	0.097	9.387	0.173	0.0 < Log FZI < 0.4
D	0.103	59.499	0.385	0.4 < Log FZI < 0.8
E	0.09	107.18	0.60	Log FZI > 0.8

۴-۱ واحدهای جریانی هیدرولیکی در میدان مورد بررسی

واحد جریانی A (HFU-A): این واحد جریانی بطور عمده به رخساره‌های گرینستون و پکستون اسکلتی، اوئیدی و پلوئیدی پشته‌های سدی تا لاگون که بطور بخشی دولومیتی شده‌اند وابسته است. بخش اصلی تخلخل در این رخساره‌ها در نتیجه فرآیند انحلال بصورت قالبی مجزا در آمده است و این رخساره‌ها علی‌رغم تخلخل بالا

دارای ارتباط سامانه روزنه‌ای کمی هستند. همانند این وضعیت در سازند خوف (Khuff) توسط الجلال [۷] گزارش شده است که در آن بیش‌تر رخساره‌های گرینستونی که دولومیتی نشده‌اند در اثر انحلال، دارای تخلخل‌های قالبی فراوانی هستند. از این رو این واحد جریانی تخلخل بالا (متوسط ۱۵درصد) و تراوایی پایین (متوسط ۰/۱۵ میلی‌دارسی) دارند. رخساره‌های وابسته به این واحد جریانی در انرژی بالا تا متوسط ساخته شده‌اند (جدول۲). این واحد جریانی از فراوانی بسیاری درون سازند کنگان بویژه واحد مخزنی K2 برخوردار است (شکل۵).

واحد جریانی B (HFU-B): رخساره‌های مرتبط با این واحد جریانی شامل رخساره‌های دانه‌پشتیبان گرینستون و پکستون دولومیتی‌شده اوئیدی، پلوئیدی و اسکلتی مرتبط با لاگون و بخش رو به لاگون پشته‌های سدی و نیز رخساره‌های گل‌پشتیبان مادستون دولومیتی‌شده و مادستون‌های بطور بخشی دولومیتی‌شده پهنه کشندی هستند. در بخش عمده رخساره‌های دانه پشتیبان، سیمان انیدریت بویژه از نوع فراگیر و در بخش ناچیزی از آن‌ها نیز سیمان کلسیت درشت بلور روزنه های سنگ را متاثر ساخته و کیفیت مخزنی آن‌ها را به شدت کاهش داده‌اند. از این رو این رخساره‌ها دارای تخلخل و تراوایی پایینی هستند. در رخساره‌های گل پشتیبان نیز با توجه به بافت اولیه سنگ و نیز دولومیتی‌شدن ریزبلور، کیفیت مخزنی پایین است. بخشی از رخساره‌های مرتبط با این واحد جریانی دارای تخلخل از نوع انحلالی مجزا است. این واحد جریانی با مقدار تخلخل پایین تا متوسط و تراوایی پایین شناخته می‌شود (جدول۲) و از فراوانی بیش‌تری نسبت به سایر واحدهای جریانی درون واحدهای مختلف مخزنی برخوردار است (شکل۵).

واحد جریانی C (HFU-C): در این واحد جریانی، رخساره‌های دانه پشتیبان گرینستون و پکستون دولومیتی شده اُائیدی، پلوئیدی و اسکلتی محیط لاگون تا پشته‌های سدی، سهم بسیاری را به خود اختصاص می‌دهند. سیمان انیدریت اگرچه در برخی از این رخساره‌ها سامانه روزنه های را به شدت متاثر ساخته است اما انحلال در آن‌ها با ایجاد تخلخل‌های انحلالی جداگانه و در مواردی قالبی جداگانه همراه بوده است. این واحد جریانی دارای تخلخل متوسط و تراوایی پایین تا متوسطی است (جدول۲) و بیش‌ترین فراوانی را در واحد مخزنی K3 دارد (شکل ۵).

واحد جریانی D (HFU-D): در این واحد جریانی، رخساره‌های گرینستون و پکستون تا وکستون دولومیتی شده اوئیدی، پلوئیدی و اسکلتی همراه با برخی رخساره‌های دولوستونی گسترش دارند. کیفیت مخزنی این رخساره‌ها اگر چه در اثر برخی فرآیندهای دیاژنزی مانند سیمان انیدریت قرار گرفته است اما تاثیر فرآیندهایی مانند انحلال در این رخساره همراه با ایجاد انواع تخلخل‌های انحلالی و قالبی جداگانه و نیز انحلالی بهم مرتبط و شکستگی بوده است که در بهبود کیفیت مخزنی آن‌ها موثر بوده است. هم‌چنین تخلخل میان‌بلوری در برخی رخساره‌های مادستون دولومیتی شده و دولوستونی که دارای بلورهای در اندازه متوسط تا درشت هستند گسترش بسیاری دارد. این واحد جریانی با مقادیر تخلخل و تراوایی بالا شناخته می‌شود و فراوانی کمتری درون مخزن نشان می‌دهد (شکل ۵).

واحد جریانی E (HFU-E): این واحد جریانی با رخساره‌های دانه‌پشتیبان پکستون/گرینستون دولومیتی شده پشته سدی تا لاگون و نیز بخشی از رخساره‌های مادستون دولومیتی‌شده پهنه کشندی مرتبط است. این رخساره‌ها در نتیجه فرآیند انحلال، شکستگی و نیز دولومیتی‌شدن دارای سامانه روزنه های با ارتباط موثری هستند. این واحد جریانی دارای تخلخل متوسط (۹ درصد) و تراوایی بالایی (بیش از ۱۰۰ میلی‌دارسی) است و مانند واحد جریانی D از فراوانی کمتری درون مخزن برخوردار است (شکل۵).

۵- ارتباط سامانه روزنه‌های رخساره‌های مخزن با واحدهای جریانی

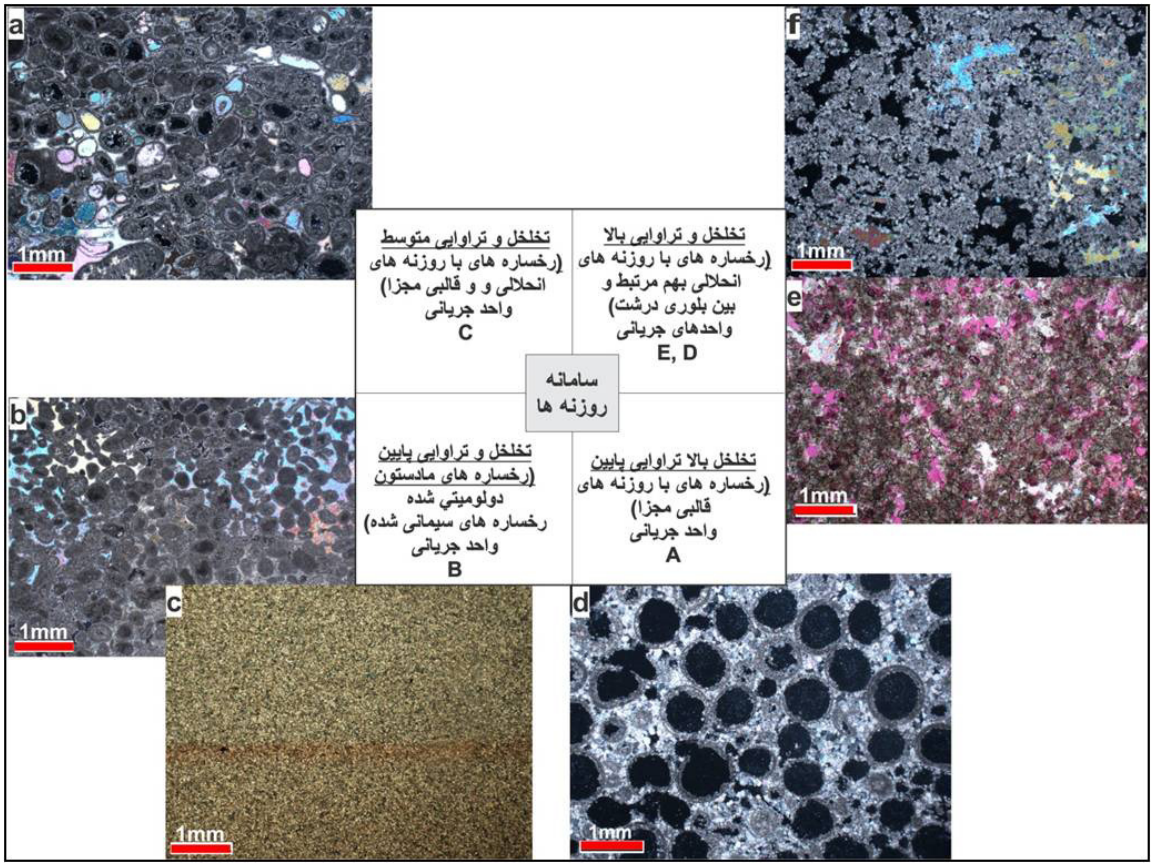
بررسی واحدهای جریانی جداشده در ارتباط با سامانه روزنه‌های رخساره‌های مخزن در میدان مورد بررسی نشان می‌دهد که فرآیندهای دیاژنزی مانند انحلال و سیمانی‌شدن، تاثیر بسیاری بر سامانه روزنه‌های رخساره‌های مخزن و کیفیت مخزنی آن‌ها ایفا می‌نمایند. بر این پایه سامانه روزنه‌های مخزن چنانچه در شکل ۶ نشان داده شده است به چهار دسته کلی به شرح زیر می‌توان جدا نمود:

الف) سامانه روزنه‌ها با مقادیر تخلخل بالا و تراوایی پایین که عمدتا در رخساره‌های دانه پشتیبان گرینستون و پکستون پشته‌های سدی با تخلخل‌های قالبی مجزا گسترش دارند. این روزنه‌ها در رخساره‌های مرتبط با واحد جریانی A بویژه درون واحد مخزنی K2 گسترش دارند.

ب) سامانه روزنه‌ها با مقادیر تخلخل و تراوایی پایین که با توجه به نوع بافت سنگ، زیر کنترل هر دو عامل رخساره و دیاژنز قرار دارند. در رخساره‌های دانه پشتیبان، فرآیند سیمانی‌شدن توسط انیدریت و کلسیت کیفیت مخزنی آن‌ها را به شدت کاهش داده است. در صورتی که در رخساره‌های گل‌پشتیبان پهنه کشندی که عمدتا بصورت مادستون دولومیتی‌شده یا مادستون‌های بطور بخشی دولومیتی‌شده هستند کیفیت مخزنی به خاطر ماهیت رخساره و نیز ریزبلور بودن پایین است. رخساره‌های وابسته با واحد جریانی B دارای این نوع روزنه‌ها هستند.

ج) سامانه روزنه‌ها با مقادیر تخلخل و تراوایی متوسط که در رخساره‌های دانه پشتیبان مرتبط با واحد جریانی C گسترش دارند. در این رخساره‌ها فرآیند انحلال با گسترش روزنه‌های انحلالی و نیز قالبی مجزا همراه بوده است.

د) سامانه روزنه‌ها با مقادیر تخلخل و تراوایی بالا (روزنه‌های انحلالی بهم مرتبط و میان‌بلوری درشت و در مواردی شکستگی) که در رخساره‌های مرتبط با واحدهای جریانی D و E گسترش دارند. این روزنه‌ها بطور عمده متاثر از فرآیندهای دیاژنزی مانند انحلال و دولومیتی شدن هستند.



شکل۶. جداسازی سامانه روزنه‌های رخساره‌های مخزن به چهار دسته اصلی بر پایه مقادیر تخلخل و تراوایی. سامانه روزنه‌ها با مقادیر تخلخل و تراوایی متوسط (a)، سامانه روزنه‌ها با مقادیر تخلخل و تراوایی پایین به‌دلیل سیمانی‌شدن توسط سیمان انیدریت فراگیر (b) و بافت ریزبلور رخساره (c)، سامانه روزنه‌ها با مقادیر تخلخل بالا و تراوایی پایین (d)، سامانه روزنه‌ها با مقادیر تخلخل و تراوایی بالا بدلیل گسترش تخلخل میان‌بلوری خوب (e) و حفرات انحلالی بزرگ و بهم مرتبط (f)

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش که با هدف بررسی تاثیر سامانه روزنه‌ها بر ویژگی‌های مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان در یکی از میدان‌های خلیج‌فارس انجام شد واحدهای جریانی هیدرولیکی مخزن شناسایی و جدا شدند. یافته‌های برگرفته از بررسی واحدهای جریانی جداشده در مخزن نشان می‌دهد که هر دو عامل بافت رسوبی اولیه و دیاژنز کنترل بسیاری بر ویژگی‌های مخزنی این سازندها دارند. فرآیندهای دیاژنزی مانند سیمانی‌شدن، انحلال، دولومیتی‌شدن و شکستگی با توجه به ویژگی‌های بافتی اولیه، تاثیر متفاوتی بر پخش و گسترش سامانه روزنه‌ها درون رخساره‌های مخزن و ویژگی‌های مخزنی آن‌ها داشته‌اند. بر این پایه، چهار دسته سامانه روزنه‌ها شامل روزنه‌های با مقادیر تخلخل و تراوایی بالا، پایین، متوسط و تخلخل بالا و تراوایی پایین درون مخزن جداشدند. در رخساره‌های عمدتا دانه پشتیبان، سیمانی‌شدن توسط انیدریت و کلسیت با کاهش شدید کیفیت مخزنی آن‌ها همراه بوده است. در مقایسه، فرآیند انحلال با ایجاد تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای در راستای تغییر، بهبود و یا افزایش کیفیت مخزنی رخساره‌های مخزن عمل نموده است. فرآیند دولومیتی‌شدن در بخش‌هایی از مخزن که با ایجاد تخلخل میان‌بلوری همراه بوده است و نیز در مواردی فرآیند شکستگی بویژه در رخساره‌های مادستونی تاثیر بسیاری بر بهبود کیفیت مخزنی داشته‌اند.

۷- سپاسگزاری

از واحد پژوهش و فناوری و اداره زمین‌شناسی شرکت نفت فلات قاره ایران، برای همکاری و کمک لازم در فراهم نمودن داده‌های مغزه، لاگ‌های چاه‌پیمایی و بُرش‌های نازک میکروسکوپی برای چاپ این مقاله و نیز پشتیبانی آن‌ها در انجام این پژوهش، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

[۱] کدخدائی ایلخچی، ر.، رحیم‌پور بناب، ح.، کدخدائی ایلخچی، ع (۱۳۹۰) فاکتورهای کنترل‌کننده بافت‌های مختلف سیمان انیدریت و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان، نشریه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان، سال بیست و هفتم، شماره پیاپی ۴۲، شماره اول، صفحات ۲۶-۱.

[۲] کدخدائی ایلخچی، ر (۱۳۸۶) بررسی اثرات دیاژنزی بر روی ویژگی‌های مخزنی بخش فوقانی سازند دالان و سازند کنگان با نگرشی ویژه بر اثر انیدریت بر کیفیت مخزنی در میدان پارس جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۷ص.

[۳] کدخدائی ایلخچی، ر (۱۳۹۵) مطالعه یکپارچه سنگ‌شناسی، محیط رسوبی و کیفیت مخزنی (با تاکید بر تفکیک گونه‌های سنگی) مخازن کربناته کنگان و دالان در میدان های ناحیه جنوب شرق خلیج‌فارس، طرح پژوهشی حمایت شده توسط شرکت نفت فلات قاره ایران- پژوهش و فناوری، ۸۴ص.

[4] Abdolmaleki, J., Tavakoli, V., Asadi-Eskandar, A (2016) Sedimentological and diagenetic controls on reservoir properties in the Permian–Triassic successions of Western Persian Gulf, Southern Iran: Journal of Petroleum Science and Engineering, **v.** 141, p. 90-113

[5] Aliakbardoust, E., Rahimpour-Bonab, H (2013) Effects of pore geometry and rock properties on water saturation of a carbonate reservoir: Journal of Petroleum Science and Engineering, **v.** 112, p. 296-309.

[6] Aliakbardoust, E., Rahimpour-Bonab, H (2013) Integration of rock typing methods for carbonate reservoir characterization: Journal of Geophysics and Engineering, **v**.10, 055004 (11pp).

[7] Al-Jallal, I.A (1987) Diagenetic Effects on Reservoir Properties of the Permian Khuff Formation in Eastern Saudi Arabia: SPE 15745, p. 465-475.

[8] Alsharhan, A.S., Nairn, A.E.M (1994) The Late Permian carbonates (Khuff Formation) in the western Arabian Gulf: its hydrocarbon parameters and palaeogeographical aspects: Carbonates and Evaporites, **v.** 9, p.132-142.

[9] 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 uncored intervals/wells: Society of Petroleum Engineers, SPE 26436, 1-16.

[10] Archie, G.E (1950) Introduction to petrophysics of reservoir rocks: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, **v.** 34, p. 943-961.

[11] Chehrazi, A., Rezaee, R., Rahimpour-Bonab, H (2011) Pore-facies as a tool for incorporation of small-scale dynamic information in integrated reservoir studies: Journal of Geophysics and Engineering, **v.** 8, p. 202-224.

[12] Dunham, R.J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture: American Association of Petroleum Geologists Memoir1, p. 108-121.
[13] Ehrenberg, S.N (2006) Porosity destruction in carbonate platforms: Journal of Petroleum Geology, **v.** 29, p. 41-52.
[14] Enayati-Bidgoli, A.H., Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H (2014) Flow unit characterization in the Permian-Triassic carbonate reservoir succession at South Pars gasfield, offshore Iran: Journal of Petroleum Geology, **v.** 37(3), p. 205-230.
[15] Esrafili-Dizaji B., Rahimpour-Bonab, H (2009) Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars Gasfield in the Persian Gulf: Petroleum Geoscience, **v.** 15, p. 325-344.
[16] Esrafili-Dizaji, B., Rahimpour-Bonab, H (2013) A review of Permo-Triassic reservoir rocks in the Zagros area, SW Iran: influence of the Qatar-Fars Arch: Journal of Petroleum Geology, Vol. 36(3), p. 257-279.
[17] Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M., Monibi, S (2006) Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: Depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture: GeoArabia, **v.** 11, p. 75-176.
[18] Khalifa, M.A (2005) Lithofacies, diagenesis and cyclicity of the 'Lower Member' of the Khuff Formation (Late Permian), Al Qasim Province, Saudi Arabia: Journal of Asian Earth Sciences, **v.** 25, p. 719-734.
[19] Knaust, D (2009) Ichnology as a tool in carbonate reservoir characterization: A case study from the Permian-Triassic Khuff Formation in the Middle East: GeoArabia, Gulf PetroLink, Bahrain. **v.**14 (3), p. 17-38.
[20] Koehrer, B.M., Zeller, T., Aigner, M., Poeppelreiter, M., Milroy, P., Forke, H., Al-Kindi, S (2010) Facies and stratigraphic framework of a Khuff outcrop equivalent: Saiq and Mahil formations, Al Jabal al-Akhdar, Sultanate of Oman: GeoArabia, **v.**15, p.91-156.
[21] Mehrabi, H., Mansouri, M., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Hassanzadeh, M., Eshraghi, H., Naderi, M (2016) Chemical compaction features as potential barriers i n the Permian-Triassic reservoirs of South Pars Field, Southern Iran: Journal of Petroleum Science and Engineering, **v.** 145, p. 95-113.
[22] Moradpour, M., Zamani, Z. Moallemi, S.A (2008) Controls on reservoir quality in the Lower Triassic Kangan Formation, Southern Persian Gulf: Journal of Petroleum Geology, **v.** 31, p. 367-386.
[23] Peyravi, M., Kamali, M.R., Kalani, M (2010) Depositional environments and sequence stratigraphy of the Early Triassic Kangan Formation in the northern part of the Persian Gulf: Implications for reservoir characteristics: Journal of Petroleum Geology, **v.**33, p.371-386.
[24] Rahimpour-Bonab, H, Aliakbardoust, E - (2014) Pore facies analysis: incorporation of rock properties into pore geometry based classes in a Permo-Triassic carbonate reservoir in the Persian Gulf: Journal of Geophysics and Engineering, **v**.11, 035008 (20pp).
[25] Sfidari, E., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rahimpour-Bbonab, H., Soltani, B (2014) A Hybrid approach for litho-facies characterization in the framework of sequence stratigraphy: A case study from the South Pars gas field, the Persian Gulf Basin: Journal of Petroleum Science and Engineering, **v.** 121, p. 87-102.
[26] Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H., Esrafili-Dizaji, B (2011) Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gasfield, an integrated approach: Comptes Rendus Geoscience, **v.** 343, p.55-71.
[27] Ziegler, M (2001) Late Permian to Holocene Palaeofacies Evolution of the Arabian Plate and its Hydrocarbon Occurrences: GeoArabia, **v.** 6(3), p. 445-504.