بررسی واحدهای جریانی و رخساره‌های الکتریکی در سازند میشریف (بخش بالایی سازند سروک) و برآورد ستبرای زون مخزنی در میدان‌های نفتی سیری (خلیج فارس)

رعنا جدیری آقایی[1*]، حسین رحیم‌پور بناب[2]، وحید توکلی[3]، رحیم کدخدائی ایلخچی[4] و محمدرضا یوسف‌پور[5]

۱، ۲ و ۳- دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران

۴- پژوهشگاه صنعت نفت تهران، تهران

۵- شرکت نفت فلات قاره، تهران

نویسنده مسئول: jodeyri_rana@yahoo.com

دریافت: ۹۵/۹/۷ پذیرش: ۹۶/۳/۳۰

چکیده

بخش بالایی سازند سروک یکی از مخازن مهم هیدروکربن در خاورمیانه و خلیج‌فارس است. این بخش هم‌ارز سازند میشریف (با سن سنومانین میانی) در خلیج‌فارس و کشورهای همسایه می‌باشد. در این پژوهش با آزمودن مجموعه‌ای از داده‌های لاگ چاه‌پیمایی و خوشه‌بندی آن‌ها بر پایه اصول آماری و ریاضی، رخساره‌های الکتریکی مخزن (EF.1, EF.2, EF.3, EF.4) برای سازند میشریف در سه چاه از میدان‌های سیری خلیج فارس شناسایی شدند. سپس با بهره‌گیری از داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه و روش شاخص زون جریانی (FZI)، واحدهای جریانی (A,B,C,D) مشخص شدند. با تلفیق نتایج این دو روش، ستبرای زون مخزنی برای میدان های سیری اسفند، سیری دنا و سیری سیوند به ترتیب ۰/۵±۶۲ متر، ۰/۵±۹۱ متر و ۰/۵±۳۹ متر شناسایی گردید. در پایان با بهره‌گیری از فاکتور آب اشباع‌شدگی، ستبرای ستون هیدروکربنی در میدان سیری اسفند ۳۴/۵ متر، میدان سیری دنا ۸/۵ متر و برای میدان سیری سیوند ۳۹/۵ متر محاسبه شد. بر این پایه، در فاصله میان میدان سیری اسفند تا دنا، ستبرای ستون هیدروکربن کاهش یافته و در فاصله میان میدان سیری دنا و سیوند ستبرای ستون هیدروکربن افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سازند میشریف، شاخص زون جریانی، رخساره الکتریکی، کیفیت مخزنی، آب اشباع‌شدگی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین چالش‌های دانش زمین‌شناسی و مهندسی، بهبود روش‌های توصیف مخزنی است. به گونه‌ای که ارائه‌ی روش‌های کارآمد در توصیف مخازن و بکارگیری یافته‌های آن، در کاهش میزان هدررفت هیدروکربن در چاه‌های تولیدی نقش مهمی دارد. مخازن کربناته برخلاف مخازن آواری از ناهمگنی بیش‌تری برخوردارند. بنابراین توزیع تخلخل و تراوایی در این مخازن همانند مخازن آواری رابطه مشخصی ندارد. زیرا در این مخازن افزون بر این که ویژگی‌های مخزنی به ویژگی‌های رسوبی اولیه بستگی دارد، اغلب توسط فرآیندهای دیاژنزی، ویژگی‌های مخزنی آن‌ها تغییر می‌کند. به همین دلیل پتانسیل مخزنی یک واحد مخزنی کربناته از لحاظ رخساره و محیط رسوبی، می‌تواند در مراحل دیاژنزی به واحد غیرمخزنی تغییر کند. بنابراین ویژگی‌های مخزنی و شناخت فاکتورهای اصلی کنترل کننده‌ی کیفیت مخزنی، در ارائه تصویر واقعی از ویژگی‌های مخزنی موثر است. از این رو درک درست مخازن هیدروکربنی نیازمند مطالعه ویژگی‌های رسوبی و دیاژنزی سنگ مخزنی است (کدخدائی ایلخچی و همکاران، ۲۰۱۳). تلفیق یافته‌های این بررسی‌ها با داده‌های پتروفیزیکی نقش مهمی در شناسایی زون‌های تولیدی و فاکتورهای اصلی کنترل‌کننده کیفیت مخزنی خواهد داشت. بدین ترتیب جداسازی مخزن به واحدهایی مانند لایه‌ها و افق‌هایی با ویژگی‌های فیزیکی مختص آن‌ها، درک چگونگی ناهمگنی مخزن را تسهیل خواهد نمود. یک واحد جریانی هیدرولیکی[1] (HUF) به عنوان بخشی از حجم سنگ مخزن تعریف می‌شود که در آن ویژگی‌های گلوگاه حفرات محیط متخلخل، دربرگیرنده مشخصات هیدرولیکی سنگ است که بطور مشخص متفاوت از دیگر واحدها بوده و هم قابل پیش‌بینی است

[1] Hydraulic Flow Unit

(آمافوله و همکاران، ۱۹۹۳؛ پوراس و کمپوس، ۲۰۰۱؛ گومز و همکاران، ۲۰۰۸). واحدهای هیدرولیکی مرتبط با توزیع رخساره‌های زمین‌شناسی هستند، ولی ضرورتا از مرزهای رخساره‌ای پیروی نمی‌کنند (عباس‌زاده و همکاران، ۱۹۹۶). بنابراین واحد هیدرولیکی ممکن است بصورت قائم پیوسته نباشد.

در مخازن کربناته، تفکیک رخساره‌ی الکتریکی[۲] نوعی تعیین گونه‌ی سنگی جدید، بر پایه بازخورد لاگ‌های چاه پیمایی است (الفاریسی و همکاران، ۲۰۰۴؛ لی و همکاران، ۲۰۰۲؛ متیسن و همکاران، ۲۰۰۱؛ پرز و همکاران ۲۰۰۳)، که با ترکیب داده‌های برگرفته از انواع لاگ‌های مختلف می‌توان واحدهای رسوبی را با ویژگی‌های لاگ‌ها متمایز کرد. واحدهای رسوبی که بر این پایه تعریف می‌شوند به عنوان رخساره‌ی الکتریکی و یا رخساره‌ی لاگ[۳] شناخته می‌شوند (سیرل و همکاران، ۲۰۰۴؛ سرا، ۱۹۸۶؛ سرا و آبوت، ۱۹۸۰). رخساره الکتریکی معمولا می‌تواند یک یا چند لیتوفاسیس را شامل شود. زیرا لاگ، حاصل اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها است (کومر و کیشور، ۲۰۰۶). رخساره‌های الکتریکی قابل مقایسه با داده مغزه و رخنمون هستند (یئی و رابیلر، ۲۰۰۵). در این پژوهش توصیف کیفیت مخزنی سازند میشریف (بخش بالایی سازند سروک)، با داده‌های سه چاه از میدان‌های سیری اسفند (SIE)، سیری دنا (SID) و سیری سیوند (SIC) در خلیج‌فارس و با بهره‌گیری از روش شاخص زون جریانی و رخساره‌های الکتریکی در این چاه‌ها، انجام شده است.

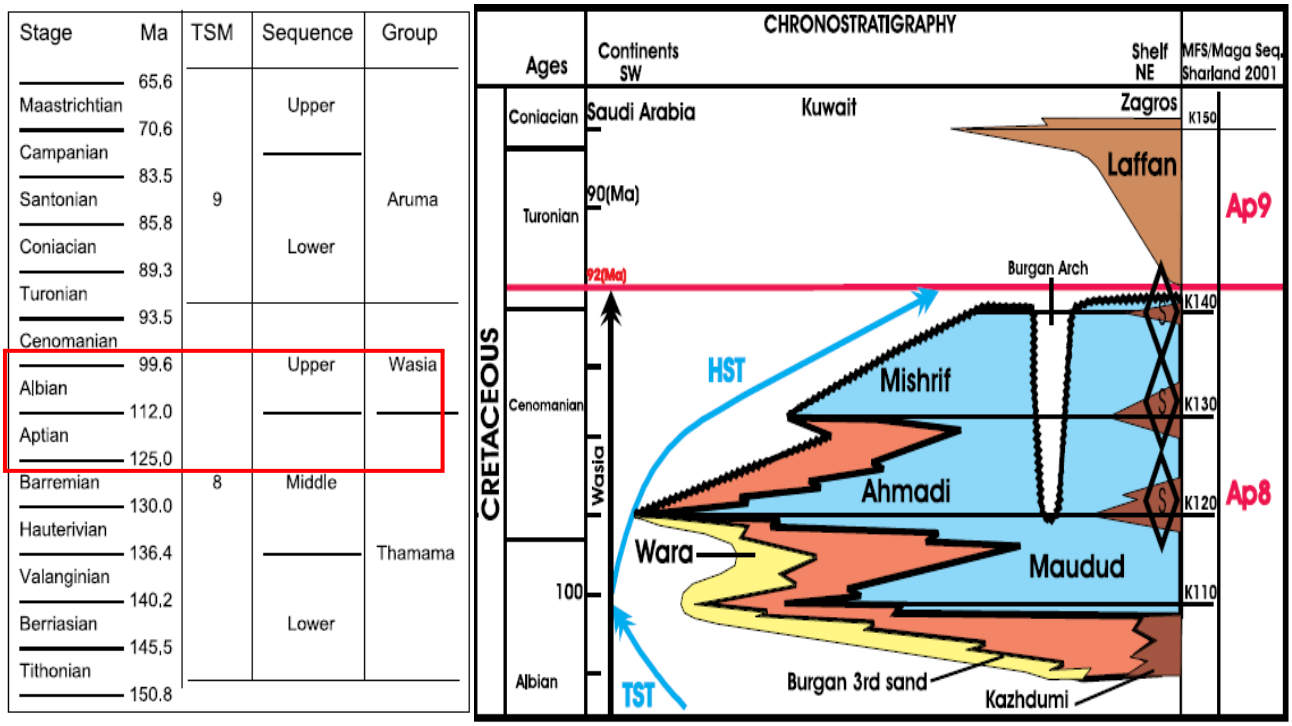
زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

منطقه‌ی سیری، بخشی از یک منطقه وسیع رسوبی را تشکیل می‌دهد که در میان بالاآمدگی قطر در باختر و زاگرس در شمال و عمان در جنوب خاور واقع شده است که به سمت جنوب، این رسوبات تا بیابان رب‌الخالی[۴] گسترش یافته‌اند (بشری و مینایی، ۲۰۰۳). از میدان‌های نفتی سیری، سه میدان سیری اسفند (E)، سیری دنا (D) و سیری سیوند (C) در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند که جایگاه آن‌ها در خلیج‌فارس در شکل ۱ نشان داده شده است.

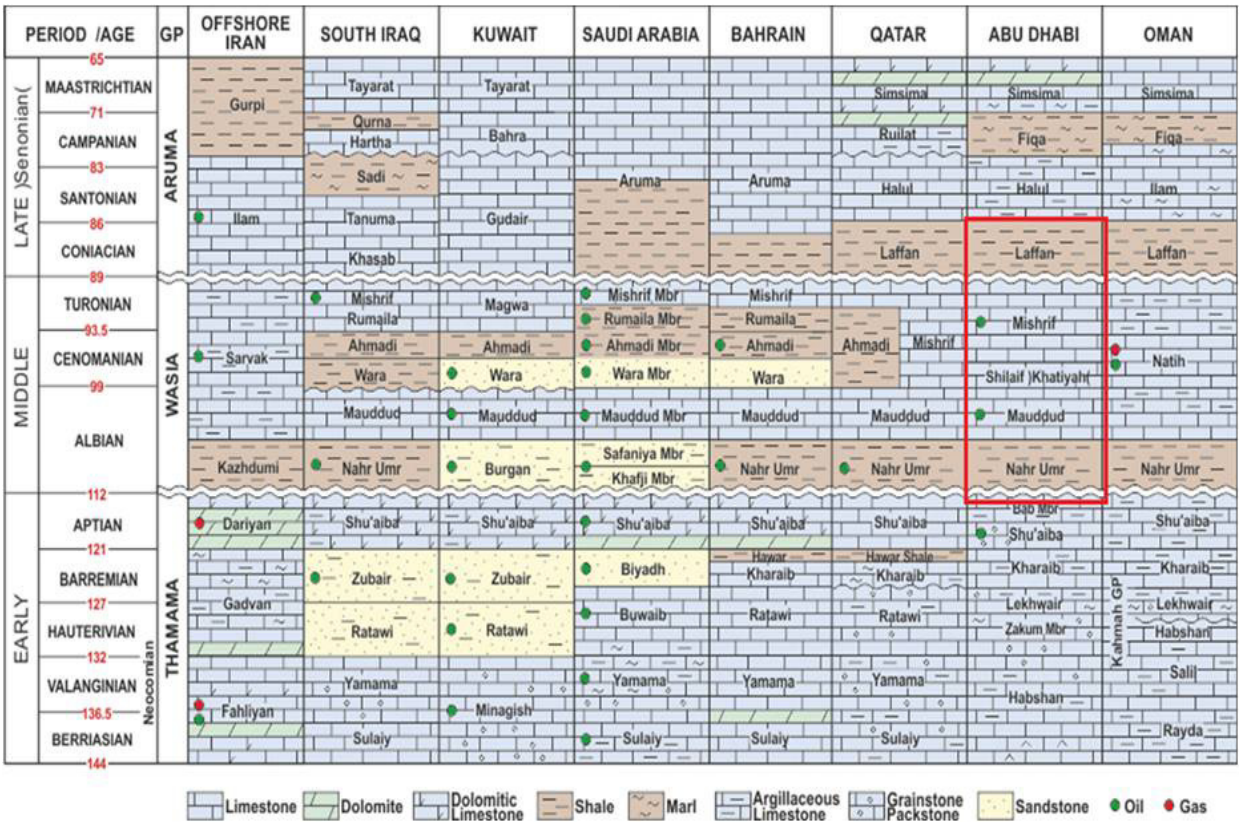
توالی چینه‌لاگی کرتاسه در منطقه خلیج‌فارس بر پایه سه ناپیوستگی ناحیه‌ای مهم به سه چرخه‌ی رسوبی بزرگ مقیاس شامل کرتاسه زیرین، کرتاسه میانی و کرتاسه بالایی تقسیم می‌شود. سازند میشریف در خلیج فارس در محدوده زمانی کرتاسه میانی (زمان آپسین-اواخر سنومانین یا اوایل تورونین) واقع شده که در جنوب خلیج فارس با گروه واسیا[۵] شناسایی می‌شود. این گروه به ترتیب از پایین به بالا شامل سازند نهرعمر[۶]، خاتیا[۷] و میشریف[۸] می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۳). مرز بالایی این گروه به ناپیوستگی تورونین ختم می‌شود. در شمار زیادی از میدان‌های نفتی بزرگ خلیج فارس مانند سیری اسفند و فاتح، سازند میشریف به عنوان یک مخزن هیدروکربنی می‌باشد. سازند میشریف با مرز تدریجی بر روی سازند خاتیا (معادل بخش احمدی سازند سروک در زاگرس) به سن سنومانین زیرین قرار می‌گیرد و خود با یک مرز ناپیوسته فرسایشی (سنومانین- تورونین) توسط سازند شیلی لافان پوشیده می‌شود. این بخش هم‌ارز سازند میشریف (سنومانین میانی) از گروه واسیا (معادل سروک بالایی در زاگرس) است. وجود اقلیم گرم و مرطوب کرتاسه میانی همراه با تکتونیک پویای منطقه در این زمان و نوسانات تراز آب دریا، سازند میشریف را دست کم در یک مرحله، زیر تاثیر رخنمون و فرسایش قرار داده است (بشری و مینائی، ۲۰۰۳). شواهد این فعالیت‌ها با تشکیل افق خاک دوباره رسوب کرده، میکروگنگلومرا و آثار انحلال و آبشویی رخساره‌های رسوبی در میدان دنا و میدان اسفند و میدان سیوند در مرز سنومانین_تورونین مشخص می‌شود (بورچت و بریتون، ۱۹۸۵؛ پاتیسون و تاکین، ۱۹۷۱). شواهد این مرز ناپیوستگی مهم در پژوهش‌های انجام گرفته بر روی سازند سروک در زاگرس با شواهدی مانند انحلال و کارستی شدن مشخص شده است (اسعدی و همکاران، ۲۰۱۶؛ رحیم‌پور و همکاران، ۲۰۱۲؛ رزین و همکاران، ۲۰۱۰).

[2] Electrofacies
[3] Logfacies
[4] Rub-Alkhalil
[5] Wasia
[6] Nahr- Umr
[7] Khatiyah
[8] Mishrif

شکل ۱. نقشه جایگاه میدان‌های سیری اسفند (SIE:SIRRI E)، سیری دنا (SID: SIRRI D) و سیری سیوند (SIC:SIRRI C) در خلیج فارس



شکل ۲. الف) توالی کرونواستراتیگرافی کرتاسه میانی و بالایی در صفحه عربی (پوراس و کمپوس، ۲۰۰۱). ب) اشکوب‌های کرتاسه و سن مرز میان آن‌ها (بورچت و بریتون، ۱۹۸۵)



شکل ۳. توالی لیتواستراتیگرافی کرتاسه خلیج فارس (به نقل از الشرحان و نایرن، ۱۹۸۸)

داده‌ها و روش پژوهش

در این پژوهش در مجموع از ۸۰۰ داده‌ی تخلخل و تراوایی حاصل از واکاوی معمولی مغزه (CCAL)، در سه چاه مورد بررسی (از هر میدان یک چاه) در میدان‌های سیری استفاده شد. این واکاوی‌ها بر روی پلاگ‌های تهیه شده در فواصل ۲۵ سانتی‌متری از ۷۰ متر مغزه‌های حفاری میدان سیری اسفند (SIE)، ۹۲ متر از مغزه‌های حفاری میدان سیری دنا (SID) و ۴۰ متر از مغزه‌های حفاری میدان سیری سیوند (SIC) انجام شد. برای شناسایی ویژگی‌های رسوبی و دیاژنزی تاثیرگذار بر رخساره‌های مخزن، از ۲۴۶ بُرش نازک میکروسکوپی تهیه شده از مغزه‌های حفاری و رنگ‌آمیزی شده با آلیزارین قرمز، در چاه‌های میدان‌های مورد بررسی بهره‌گیری شد. از آنجا که هدف از شناسایی واحدهای جریانی هیدرولیکی، شناسایی واحدهای مخزنی از واحد غیرمخزنی به منظور زون‌بندی مخزن و سپس مقایسه توزیع آن‌ها در میدان‌های مورد بررسی است، با بهره‌گیری از داده‌های تخلخل و تراوایی میدان‌های سیری اسفند، دنا و سیوند و روش شاخص زون جریانی[1] (FZI) به شناسایی واحدهای جریانی هیدرولیکی در آن‌ها اقدام شد (آمافوله و همکاران، ۱۹۹۳). سپس برای شناسایی رخساره‌های الکتریکی در میدان‌های مورد بررسی و شناسایی زون‌های مخزنی، داده‌های لاگ‌های چاه‌پیمایی صوتی (DT)، چگالی (RHOB) و نوترون (NPHI) به عنوان داده‌های ورودی به نرم‌افزار ژئولاگ (Geolog) انتخاب شدند. زیرا لاگ صوتی تخلخل مفید را اندازه‌گیری می‌کند و لاگ چگالی افزون بر شناسایی لیتولوژی می‌تواند وجود زون‌های کم‌چگال و متخلخل را نشان دهد. لاگ نوترون تخلخل کل سنگ را ثبت می‌کند. برای شناخت انواع رخساره‌های الکتریکی از روش خوشه‌بندی چند تفکیکی گرافیکی[2] (MRGC) استفاده گردید. سپس در راستای تعیین زون‌های مخزنی سازند میشریف (بخش بالایی سازند سروک) در میدان‌های مورد مطالعه، انواع واحدهای جریانی هر میدان، در چارچوب رخساره‌های الکتریکی تفسیر و ارزیابی شدند. در پایان برای شناسایی مقادیر آب اشباع‌شدگی برای شناسایی ستبرای ستون هیدروکربنی در هر یک از میدان‌ها از معادله‌ی آرچی (آرچی، ۱۹۴۲) و لاگ مقاومت الکتریکی LLD بهره‌گیری شد.

[1] Flow Zone Indicator

[2] Multi Resolution Graph-based Clustering

رخساره‌ها و محیط‌رسوبی

بر پایه بررسی‌های میکروسکوپی هشت میکروفاسیس و هفت کمربند رخساره‌ای برای سازند میشریف در سه میدان سیری اسفند، سیری دنا و سیری سیوند شناسایی شدند (جدیری آقایی، ۱۳۹۳). بر این پایه، رخساره‌ی گرینستون و فلوتستون/ وکستون دارای فرام کفزی در کمربند رمپ داخلی به زیرمحیط‌های رسوبی شول و لاگون دریای باز نسبت داده شد. هم‌چنین رخساره‌های رودستون و پکستون برای کمربند رمپ میانی، رخساره‌ی مادستون تا وکستون برای کمربند رمپ بیرونی و وکستون تا مادستون‌های دارای فرام پلانکتونیک برای کمربند رخساره‌ای حوضه دریای باز در نظر گرفته شد. از میکروفاسیس‌های شناسایی شده برای سازند میشریف، در میدان سیری اسفند تمامی رخساره‌ها به غیر از RMF6 و در میدان سیری دنا RMF6, RMF5, RMF3, RMF1 و در میدان سیوند RMF6 و RMF5 شناسایی شدند. جزئیات میکروفاسیس‌های شناسایی شده برای هرکدام از میدان‌ها در جدول ۱ آورده شده است. نبود تغییرات رخساره‌ای مهم و وجود یک روند تدریجی در تغییرات رخساره‌ای، نشان از نهشت کربناته‌های سازند میشریف (بخش بالایی سازند سروک) در پلاتفرم کربناته‌ی کم‌ژرفا از نوع رمپ هموکلینال[3] است (جدیری آقایی، ۱۳۹۳).

شناسایی واحدهای جریانی با روش شاخص زون جریانی

بدلیل تغییرات بسیار تراوایی در گونه‌های سنگی، آمافوله و همکارانش در سال ۱۹۹۳، روش نوینی برای بهره‌گیری از واحدهای جریانی هیدرولیکی برای رده‌بندی رخساره‌های سنگ ارائه دادند. در این روش، شاخص زون جریانی (FZI) به عنوان یکی از پارامترهایی است که از ویژگی‌های زمین‌شناسی مانند بافت در تمایز رخساره‌هایی با شکل حفرات مشخص کمک می‌گیرد.

واحدهای جریانی با بهره‌گیری از توابع شاخص کیفیت مخزنی[4] (RQI) طبق رابطه ۱ و شاخص زون جریانی (FZI) طبق رابطه ۲ بدست می‌آیند.

رابطه (۱):

$$RQI = 0.0314\sqrt{\frac{k}{\phi_e}}$$

رابطه (۲):

$$RQI = \phi_Z \, . FZI$$

که در این رابطه، تخلخل نرمالیزه شده (Φ_z) از رابطه ۳ بدست می‌آید:

رابطه (۳):

$$\phi_Z = \left(\frac{\phi_e}{(1-\phi_e)}\right)$$

در این معادلات، K تراوایی (mD)، Φ_e تخلخل موثر (کسری)، Φ_z تخلخل نرمالیزه شده (کسری) و ثابت ۰/۰۳۱۴ فاکتور تبدیل تراوایی از میکرومتر مربع (μm^2) به میلی‌دارسی است.

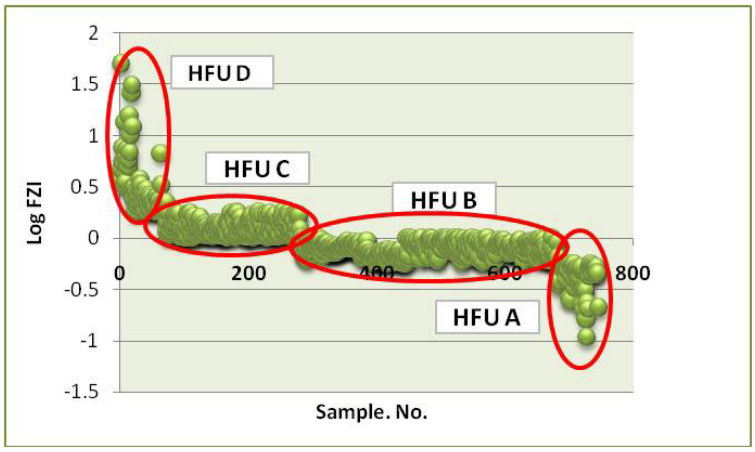
پس از شناسایی شاخص زون جریانی با بهره‌گیری از رابطه ۱، از نتایج حاصل لگاریتم گرفته شد. سپس با نرم‌افزار اکسل (Excel) لگاریتم شاخص زون جریانی (FZI) در مقابل شمار نمونه‌های واکاوی شده، رسم شد (شکل۴). در این پژوهش جداسازی واحدهای جریانی هیدرولیکی (HFU) با استفاده از روش آزمون و خطا و بر پایه نحوه‌ی توزیع داده‌های FZI انجام گرفت. در پایان نمونه‌هایی با میزان شاخص زون جریانی (FZI) مشابه، به عنوان یک واحد جریانی هیدرولیکی در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب چهار واحد جریانی هیدرولیکی (A، B، C و D) شناسایی شدند که کیفیت مخزنی آن‌ها از HFU A به سمت HFU D با افزایش شاخص کیفیت مخزنی (RQI) افزایش می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵). برای هر کدام از واحدهای جریانی، بازه‌های شاخص زون جریانی شناسایی شد و به لحاظ کیفیت مخزنی، هر واحد جریانی به یکی از چهار رده خیلی بالا[5]، بالا[6]، متوسط[7] و پایین[8] دسته‌بندی گردید (جدول۲). مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین تخلخل و تراوایی هر یک از واحدهای جریانی هیدرولیکی جداشده درون مخزن در جدول ۳ ارائه شده است.

نمودار توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی هر یک از واحدهای جریانی هیدرولیکی در برابر شاخص کیفیت مخزنی (RQI)، رابطه‌ی تخلخل و تراوایی هر یک از

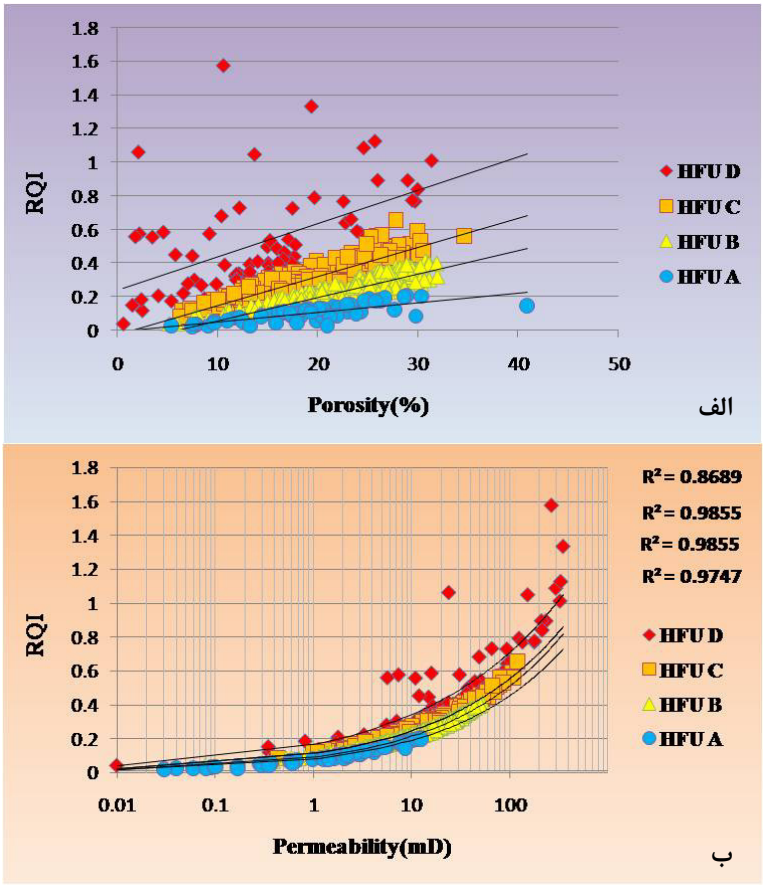
[3] Hemoclinal
[4] Reservoir Quality Index

[5] Very high quality
[6] High quality
[7] Medium quality
[8] Low quality

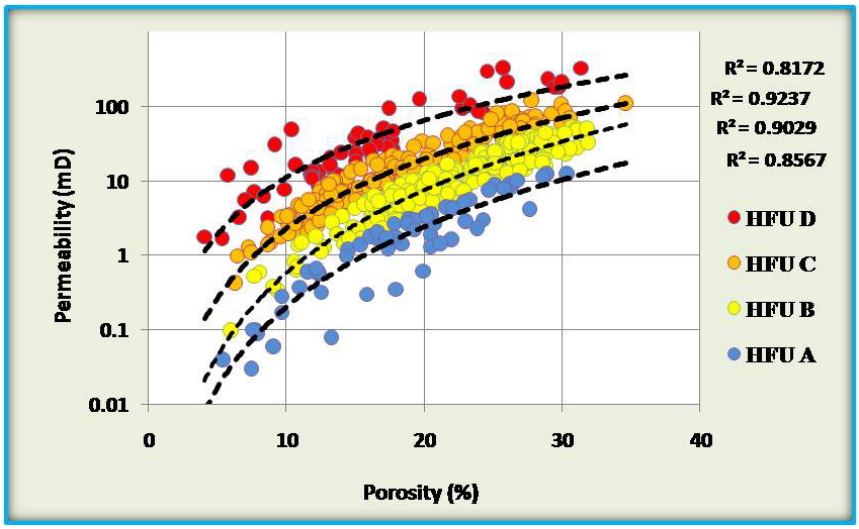
واحدهای جریانی شناسایی شده را در ارتباط با شاخص کیفیت مخزنی نشان می‌دهد. به طوریکه در هر واحد جریانی، ارتباط شاخص کیفیت مخزنی با پارامتر تراوایی مستقیم می‌باشد در حالی که این شاخص با پارامتر تخلخل رابطه‌ی معکوس نشان می‌دهد (شکل ۵). داده‌های تخلخل و تراوایی هر کدام از واحدهای جریانی هیدرولیکی نشان می‌دهد که ویژگی‌های سامانه منافذ در هر واحد جریانی هیدرولیکی مشابه بوده و از یک روند مشخص پیروی می‌کند که با روند واحدهای جریانی هیدرولیکی دیگر بر روی نمودار تخلخل و تراوایی متفاوت است (شکل ۶).



شکل۴. تعیین واحدهای جریانی هیدرولیکی با استفاده از نمودار لگاریتم FZI در برابر شمار نمونه‌ها



شکل ۵. رابطه تخلخل(الف) و تراوایی(ب) با شاخص کیفیت مخزنی در سازند میشریف



شکل ۶. توزیع واحدهای جریانی تفکیک شده درون مخزن بر روی نمودار تخلخل و تراوایی

جدول ۱. انواع میکروفاسیس‌های رسوبی و محیط‌رسوبی سازند میشریف در میدان‌های مورد بررسی و جزئیات آن‌ها (جدیری آقایی، ۱۳۹۳)

میدان نفتی	RMF (Flugel)	کمربند رخساره‌ای	ویژگی های دانه‌های رسوبی			اجزای تشکیل دهنده		میکروفاسیس	کد رخساره‌ای
			جورشدگی	گردشدگی	اندازه (mm)	غیراسکلتی	اسکلتی		
E	۲۶	رمپ درونی - شول	متوسط- خوب	خوب - متوسط	۰/۳-۰/۱	پلوئیدکورتوئید	بایو کلست، خرده رودیستی	پکستون / گرینستون پلوئیددار بایوکلستی	RMF 1
E	۱۳	رمپ درونی - لاگون دریای باز	ضعیف	ضعیف- متوسط	۱ -۰/۲<	پلوئید	بنتیک فرام بزرگ، خرده رودیستی، بایوکلست	وکستون دارای فرام بزرگ بنتیک و خرده رودیستی	RMF 2
E, D	۱۵	رمپ درونی - لاگون دریای باز	ضعیف	ضعیف	۱ -۰/۳>	پلوئید	خرده رودیستی، بنتیک فرام، بایوکلست	فلوتستون دارای خرده زیستی	RMF 3
E	۱۲	رمپ میانی - تالوس ریف کومه‌ای	ضعیف	ضعیف	۲ - >۰/۱	پلوئیدکورتوئید	خرده رودیستی، بایوکلست	رودستون رودیستی	RMF 4
C,D	۴	اواسط تا انتهای رمپ میانی	متوسط - ضعیف	متوسط	۰/۲<	پلوئید	خرده رودیستی، بایوکلست، اکینوئید	پکستون/ وکستون پلوئیددار بایوکلستی	RMF 5
C,D	۲	ابتدا تا اواسط رمپ بیرونی	متوسط - ضعیف	ضعیف	۰/۳<	پلوئید	خرده رودیستی، بایوکلست، اکینوئید	وکستون / مادستون پلوئیددار بایوکلستی	RMF 6
E, C	۲	انتهای رمپ بیرونی	-	-	-	-	اکینوئید	مادستون	RMF 7
E	۵	حوضه	ضعیف	ضعیف	۰/۱<		فرامینیفرپلانکتون، بایوکلست	وکستون / مادستون دارای فرامینیفر پلانکتونیک	RMF 8

جدول ۲. پارامترهای کمی (متوسط تخلخل، تراوایی و شاخص کیفیت مخزنی) و مقادیر حد برش (Cut off) برپایه FZI برای واحدهای جریانی مختلف درون مخزن

HFU	تخلخل(%)	تراوایی(میلی‌دارسی)	حد برش لگاریتمFZI	کیفیت مخزنی
A	۱۸/۷۹	۲/۸۹	< -۰/۲۵	پایین
B	۲۲/۱۹	۱۴/۴	-۰/۲۵<FZI<۰	متوسط
C	۱۸/۹۸	۲۴/۲۱	۰<FZI<۰/۲۵	بالا
D	۱۴/۰۲	۶۱/۱۳	FZI>۰/۲۵	خیلی بالا

جدول ۳. بیشینه، کمینه و میانگین تخلخل و تراوایی در هر یک از واحدهای جریانی هیدرولیکی

HFU A	تخلخل(%)	تراوایی(میلی‌دارسی)	HFU C	تخلخل(%)	تراوایی(میلی‌دارسی)
کمینه	۵/۴	۰/۰۳	کمینه	۶/۳	۰/۴۳
بیشینه	۴۰/۹۵	۱۲/۵	بیشینه	۳۴/۶۷	۱۲۰/۸
میانگین	۱۸/۷۹	۲/۹۸	میانگین	۱۸/۹۸	۲۴/۲۱
HFU B	تخلخل(%)	تراوایی(میلی‌دارسی)	HFU D	تخلخل(%)	تراوایی(میلی‌دارسی)
کمینه	۵/۲	۰/۸۰	کمینه	۰/۶	۰/۰۱
بیشینه	۳۱/۹۳	۵۳	بیشینه	۳۱/۴۱	۳۵۰
میانگین	۲۲/۱۹	۱۴/۴	میانگین	۱۴/۰۲	۶۱/۱۳

رخساره‌های الکتریکی

یکی از روش‌های رایج شناسایی رخساره‌های الکتریکی، به کارگیری روش خوشه‌بندی چند تفکیکی گرافیکی (MRGC) است. یکی از برتری‌هایی که روش MRGC نسبت به روش‌های دیگر دارد پیشنهاد شمار خوشه‌های بهینه در هر مطالعه موردی و کنترل انسانی روی مراحل خوشه‌بندی است. از آنجا که روش یادشده با نرم‌افزار پتروفیزیکی ژئولاگ[1] انجام می‌گیرد، ویژگی‌های نگارهای ورودی در هر مرحله از انجام کار به آسانی در اختیار کاربر است (سرا و آبوت، ۱۹۸۰). بدین‌منظور، نگارهای چاه‌پیمایی نوترون (NPHI)، صوتی (DT) و چگالی (RHOB) سه چاه از سه میدان مورد بررسی، به عنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار ژئولاگ انتخاب شدند. مراحل انجام شناسایی رخساره‌های الکتریکی برای مخزن میشریف بطور چکیده در نمودار شکل ۷ نمایش داده شده است. بدین ترتیب برای میدان‌های مورد بررسی، در مجموع چهار رخساره‌ی الکتریکی EF.1، EF.2، EF.3 و EF.4 شناسایی شدند. برای هر کدام از رخساره‌های الکتریکی، بیشینه، کمینه و میانگین نگارهای به کاررفته در شناسایی رخساره‌های الکتریکی در نرم‌افزار محاسبه و در جدول ۴ نشان داده شده است.

محاسبه آب اشباع‌شدگی (SW)

با توجه به این نکته که هدف از درک ناهمگنی‌های مخزن و استفاده از روش‌های گوناگون برای تسهیل این ناهمگنی‌ها، اکتشافات هیدروکربنی است، شناسایی آن دسته از زون‌های مخزنی مدنظر می‌باشد که افزون بر تخلخل برای ذخیره ماده‌ی هیدروکربنی و ارتباط این حفرات با یکدیگر جهت قابلیت هدایت سیال، دارای آب اشباع‌شدگی پایین و غنی‌شدگی از ماده‌ی هیدروکربن باشند. بنابراین تنها شناسایی زون‌های دارای تخلخل و تراوایی مناسب کافی نیست. بدین منظور برای محاسبه آب اشباع‌شدگی در توالی و نحوه توزیع زون دارای هیدروکربن در توالی مخزنی، از معادله‌ی آرچی (رابطه ۴) و لاگ‌های مقاومت الکتریکی LLD در چاه‌های مطالعاتی استفاده شد.

در این روش، مقاومت واقعی سازند (Rt) معادل نگار مقاومت (LLD) در نظر گرفته شد. هم‌چنین بدلیل کربناته بودن مخزن، مطابق مقادیر استاندارد مخازن کربناته، ضریب پیچاپیچی (a) برابر ۱ و ضریب سیمان شدگی (m) برابر ۲، ضریب اشباع شدگی (n) معادل ۲، مقاومت آب درون سازندی (R_w) طبق گزارش نگارگیری، برابر ۰/۰۲Ωm و تخلخل، برابر تخلخل نگار نوترون در نظر گرفته شده است. زیرا نسبت به ستبرای توالی مورد بررسی، داده‌ی تخلخل مغزه‌ی کمتری در دسترس بود.

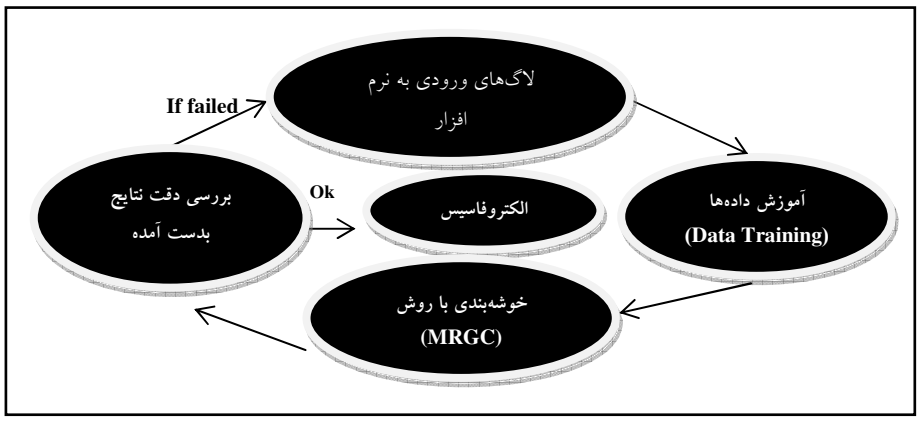
رابطه (۴):

$$SW = \sqrt[n]{\left(\frac{a}{\varphi^m}\right) \times \left(\frac{Rw}{Rt}\right)}$$

$$F = \left(\frac{a}{\varphi^m}\right)$$

در این معادله F فاکتور مقاومت‌سازندی، Sw آب اشباع‌شدگی، n: ضریب اشباع‌شدگی، m: ضریب سیمان شدگی، φ: تخلخل، a: ضریب پیچاپیچی، R_W: مقاومت آب درون‌سازندی و R_t: مقاومت واقعی سازند می‌باشد. بدین ترتیب نگار آب اشباع‌شدگی برای توالی مورد بررسی محاسبه و ترسیم شد (شکل ۱۰).

[1] Geolog



شکل ۷. مراحل تعیین رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش خوشه‌بندی چندتفکیکی گرافیکی (MRGC)

جدول ۴. مشخصات نگارهای چاه‌پیمایی در هر یک از رخساره‌های الکتریکی تفکیک شده درون مخزن

رخساره الکتریکی	لاگ چگالی (RHOB)	لاگ نوترون (NPHI)	لاگ صوتی (DT)	
EF.4	۲/۳	۰/۴۵	۹۳/۰۶	حداکثر
	۲/۱۹	۰/۲۸	۷۵/۴۲	حداقل
	۲/۲۳	۰/۳۳	۸۶/۵۶	میانگین
EF.3	۲/۴۷	۰/۲۸	۸۹/۰۵	حداکثر
	۲/۱۷	۰/۱۲	۵۸/۴۰	حداقل
	۲/۳۵	۰/۲۱	۷۸/۵۴	میانگین
EF.2	۲/۵۵	۰/۵۸	۱۱۱/۸۷	حداکثر
	۲/۵۵	۰/۰۹	۵۲/۸	حداقل
	۲/۴۶	۰/۵۸	۶۸/۲۴	میانگین
EF.1	۲/۷۳	۰/۶۳	۶۵/۹	حداکثر
	۲/۵۱	۰	۴۸/۸	حداقل
	۲/۶۴	۰/۰۶۵	۵۶/۳۲	میانگین

ارتباط واحدهای جریانی با رخساره‌های الکتریکی در توصیف کیفیت مخزنی و برآورد ستبرای ستون هیدروکربنی

در این بخش با استفاده از توزیع فراوانی رخساره‌های الکتریکی در هر واحد جریانی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، کیفیت مخزنی سازند میشریف توصیف می‌گردد در شکل۸، نمودار هیستوگرام فراوانی انواع رخساره‌های الکتریکی در هر واحد جریانی نشان داده شده است.

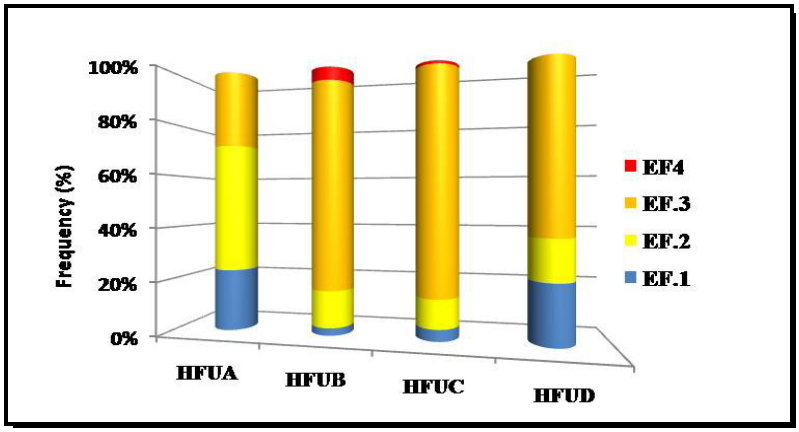
یافته‌های به دست آمده از مقایسه پارامترهای پتروفیزیکی تخلخل و تراوایی نشان می‌دهد که واحد جریانی A (HFU A) به دلیل داشتن تخلخل بالا از نوع تخلخل‌های قالبی و انحلالی مجزا و تراوایی پایین، در پایین‌ترین رده‌ی کیفیت مخزنی نسبت به دیگر واحدهای جریانی قرار می‌گیرد. این واحد جریانی در میدان‌های مورد بررسی با فراوانی کمتری حضور دارد و شامل میکروفاسیس‌های پکستون تا وکستون و وکستون تا مادستون مربوط به اواسط تا انتهای رمپ میانی (M-MID) و ابتدای رمپ بیرونی (E-OU) است. رخساره‌های مرتبط با این واحد جریانی می‌توانند در مخزن به عنوان یک زون بافل[1] عمل کنند. زیرا برخلاف تراوایی کم، قابلیت ذخیره‌سازی هیدروکربنی بالایی دارند. هر چند فرآیندهایی مانند شکستگی می‌تواند سبب افزایش تراوایی و در نتیجه ایجاد زون مخزنی در آن‌ها شود (شکل۹، A). بخش عمده‌ی رخساره‌های الکتریکی EF1 و EF2 با این واحد جریانی مرتبط هستند (شکل۸).

واحدهای جریانی B (HFUB) و C (HFUC) میکروفاسیس‌های زیرمحیط‌های کم‌ژرفا مانند لاگون دریای باز، تالوس ریف کومه‌ای در میدان سیری اسفند، رخساره‌های شول، اواسط تا انتهای رمپ میانی و ابتدای رمپ در میدان‌های مورد بررسی را دربر می‌گیرند (شکل ۹، B و C). غالبا وجود تخلخل‌های انحلالی اعم از حفرات انحلالی مجزا و بهم مرتبط سبب افزایش تخلخل و تراوایی، در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی در

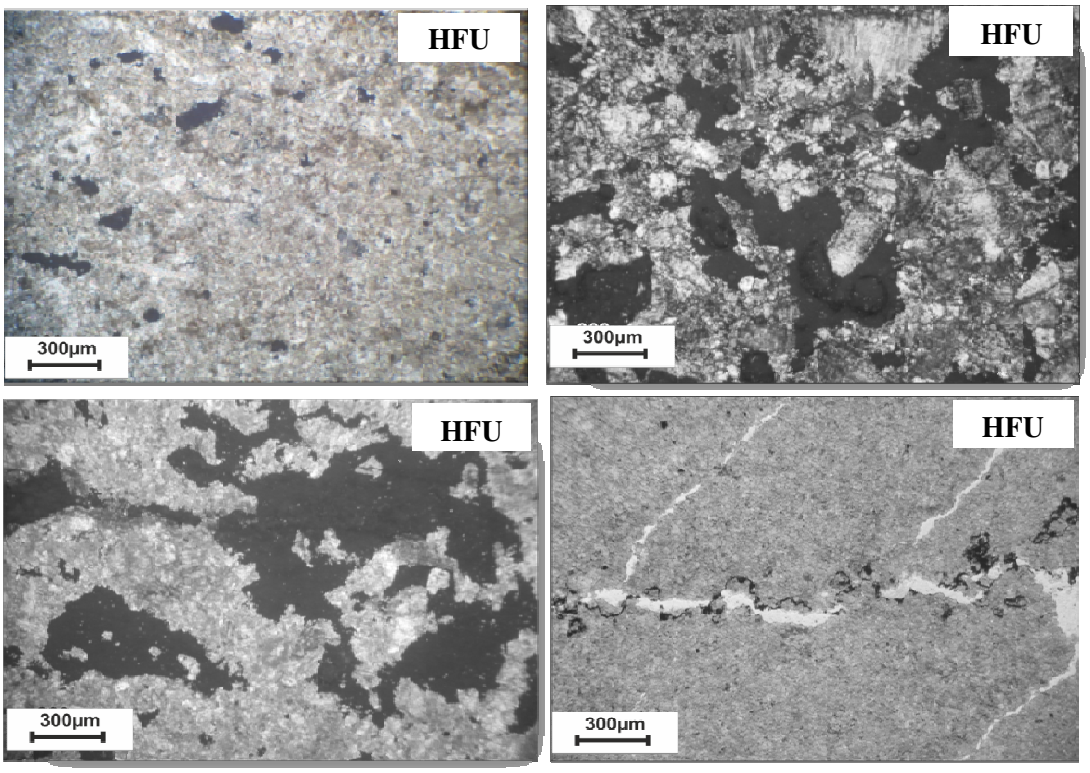
[1] Baffle

میکروفاسیس‌های یاد شده گردیده است. رخساره‌های الکتریکی EF.3 و EF.4 برابر واحد جریانی B (HFU B) می‌باشند. در این واحد جریانی، وجود تخلخل‌های انحلالی بهم مرتبط و تخلخل‌های قالبی بهم مرتبط و فرآیند سیمانی‌شدن ناقص در رخساره‌های دانه‌پشتیبان سبب افزایش تخلخل و تراوایی و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی شده است. رخساره‌ی الکتریکی EF.3 منطبق بر واحد جریانی HFU C می‌باشد. وجود حفرات انحلالی بهم مرتبط گسترده از جمله میکروکارستی شدن مهم‌ترین عامل افزایش تخلخل و تراوایی و کیفیت مخزنی در این واحد بشمار می‌رود. تخلخل‌های مفید در همه‌ی واحدها عمدتا در ارتباط با پایین آمدن سطح آب دریا در مرزهای ناپیوستگی تشکیل شده است (جدیری آقایی، ۱۳۹۳).

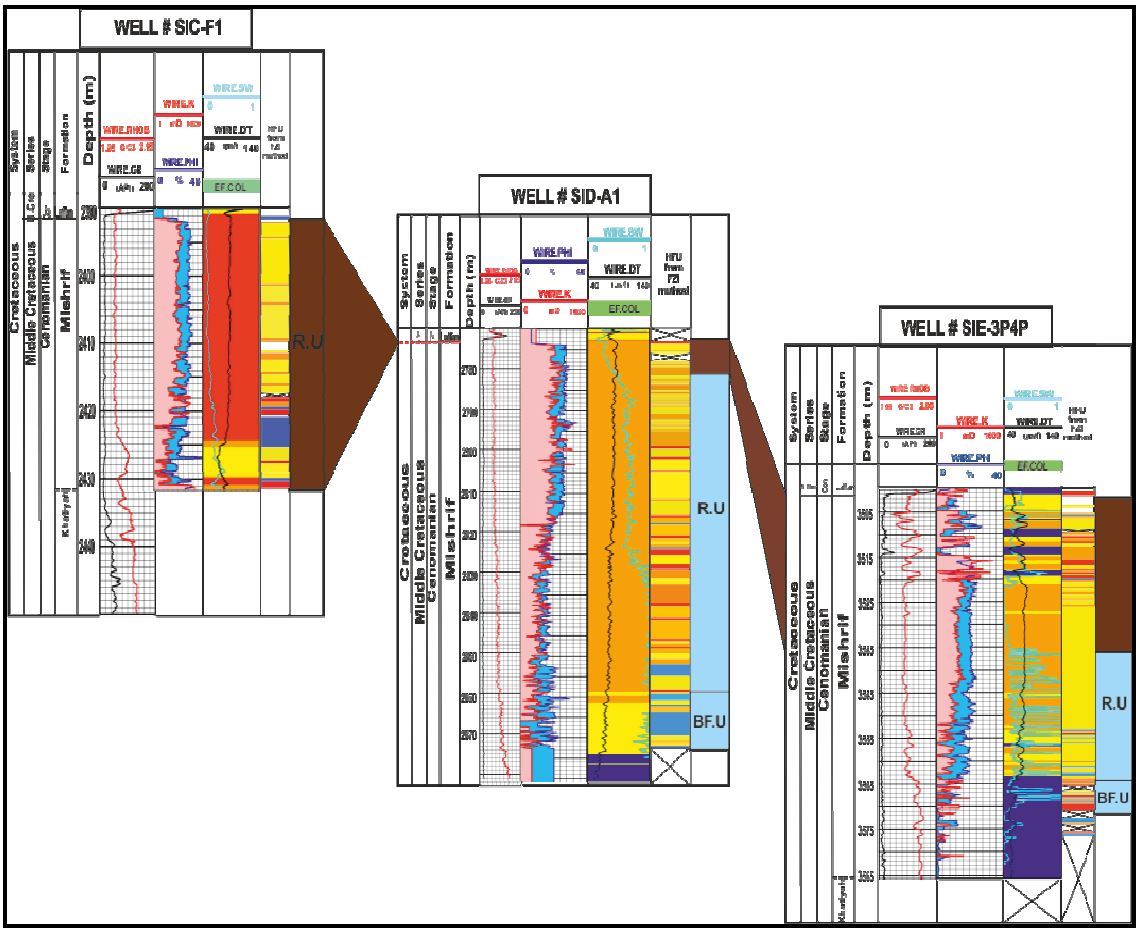
واحد جریانی D (HFU D) عمدتا با میکروفاسیس‌های مربوط به زیر محیط‌های لاگون، دریای باز، اواسط تا انتهای رمپ میانی و ابتدای رمپ بیرونی در میدان‌های مورد بررسی منطبق است (شکل۹، D). با وجود اینکه واحد جریانی D نسبت به دیگر واحدهای جریانی از میانگین تخلخل نسبتا پایینی برخوردار است ولی تراوایی آن بالاست. آنچه در این واحد جریانی مهم بنظر می‌رسد نقش شکستگی‌ها و انحلال تدفینی حاصل از خروج سیالات اسیدی از سازند خاتیا (بویژه در میدان سیری اسفند) در افزایش تراوایی در رخساره‌های کم‌انرژی و گل پشتیبان است (جدیری آقایی، ۱۳۹۳). به گونه‌ای که حتی در برخی زیرمحیط‌ها (عمدتا کم‌ژرفا) این شکستگی‌ها توسط فرآیند انحلال بزرگ شده‌اند. بنابراین میانگین تخلخل و تراوایی بالا در توالی میشریف، قابلیت ایجاد زون مخزنی با قابلیت ذخیره‌سازی و هدایت بالا را خواهند داشت. بطور کلی در چاه‌های مورد بررسی تخلخل بالای ۵٪ و تراوایی بیش از ۱ میلی‌دارسی نشانگر وجود پتانسیل مخزنی در توالی مخزن است. بدین ترتیب فراوانی بالای واحدهای جریانی دارای کیفیت مخزنی مناسب در این چاه‌ها، نشان‌دهنده‌ی توان مخزنی بالای سازند میشریف در این میدان‌ها است (شکل۱۰). در ادامه با مقایسه تغییرات میزان آب اشباع‌شدگی در توالی مورد مطالعه بویژه در زون‌های مخزنی، ستبرای زون مخزنی دارای هیدروکربن در توالی هر سه میدان شناسایی شد (جدول۵). یافته‌ها نشان داد در میدان سیری اسفند علی‌رغم اینکه بخش عمده‌ای از توالی، زون مخزنی محسوب می‌شد با اعمال نتایج آب اشباع‌شدگی حدود نیمی از ستبرای این توالی به عنوان زون دارای هیدروکربن شناسایی شد. هم‌چنین در میدان سیری دنا از ۹۱ متر زون مخزنی، ۸/۵ متر به عنوان زون مخزنی دارای هیدروکربن شناسایی شد و دیگر بخش‌های آن به دلیل آب اشباع‌شدگی بالا، زون مخزنی آبزده می‌باشد. برخلاف این میدان‌ها، در میدان سیری سیوند تقریبا کل توالی مخزنی با زون دارای هیدروکربن منطبق می‌باشد. در انتها به منظور ارائه دید کلی نسبت به روند تغییر ستبرای زون دارای هیدروکربن در میدان‌های مورد بررسی، زون‌های دارای هیدروکربن بین میدان‌ها انطباق داده شدند. نتایج نشان می‌دهد که از میدان سیری اسفند به سیری دنا ستبرای زون هیدروکربنی کاهش می‌یابد ولی در فواصل بین میدان سیری دنا و سیوند این ستبرا افزایش می‌یابد بطوری‌که کل توالی میشریف در میدان سیری سیوند به زون هیدروکربنی تبدیل می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۸. درصد فراوانی توزیع رخساره‌های الکتریکی درهر واحد جریانی



شکل ۹. تصویرهای میکروسکوپی از شواهد رخساره‌ای و دیاژنزی و نوع تخلخل‌ها در انواع واحدهای جریانی تعیین شده در سازند میشریف (الف، ب، ج، XPL و (د) PPL)



شکل۱۰. توزیع واحدهای جریانی و رخساره‌های الکتریکی در توالی میشریف میدان های مورد بررسی، با بهره‌گیری از محاسبه آب اشباع‌شدگی، ستبرای زون هیدروکربنی در توالی مخزنی تعیین و تغییر ستبرای آن بین چاه‌های مطالعاتی بررسی شده است.

جدول ۵. تعیین ضخامت زون مخزنی بر پایه روش واحد جریانی و رخساره‌های الکتریکی در سازند میشریف در هر میدان

نام چاه	HEU+EF	HFU+EF+SW
SIE-3P4P	۶۲±۰/۵	۳۴±۰/۵
SID-A1	۹۱±۰/۵	۸/۵±۰/۵
SIC-F1	۳۹/۵±۰/۵	۳۹/۵±۰/۵

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روش شاخص زون جریانی به عنوان یک روش توانا در شناخت توزیع زون‌های مخزنی از واحدهای غیرمخزنی مورد بهره‌برداری قرار گرفت. بطوریکه با بهره‌گیری از این روش و مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه، سازند میشریف به چهار زون مخزنی تقسیم گردید که هر زون با داشتن نسبت تراوایی و تخلخل معین نسبت به دیگر زون‌های مخزنی دارای کیفیت مخزنی متفاوتی است. شناسایی رخساره‌های الکتریکی سازند میشریف در این میدان‌ها با بهره‌گیری از نگارهای چاه‌پیمایی، چهار زون مخزنی را در این سازند نشان می‌دهد که از لحاظ ویژگی‌های پتروفیزیکی با زون‌های مخزنی در روش شاخص زون جریانی بخوبی قابل انطباق هستند و نشان‌دهنده‌ی وجود زون‌های مخزنی با کیفیت مخزنی مناسب در توالی میشریف در میدان‌های نفتی سیری است. بطوریکه زون مخزنی با ویژگی‌های پتروفیزیکی مناسب در میدان‌های سیری اسفند، دنا و سیوند به ترتیب با ستبرای ۰/۵±۶۲ متر، ۰/۵±۹۱ متر و ۰/۵±۳۹ متر تشکیل شده است. ولی با توجه با میزان آب اشباع‌شدگی، ستبرای ستون هیدروکربنی در میدان سیری اسفند ۳۴/۵ متر، در میدان سیری دنا ۸/۵ متر و در میدان سیری سیوند ۳۹/۵ متر برآورد شد.

منابع

جدیری‌آقایی، ر (۱۳۹۳) مطالعه رخساره‌های رسوبی و تعیین واحدهای جریانی در بخش بالایی سازند سروک (بخش میشریف) در میدان‌های نفتی سیری C، D و E در خلیج فارس، پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران.

Abbaszadeh, M., Fujii, H., Fujimoto, F (1996) Permeability prediction by hydraulic flow unit's theory and applications, SPE Formation Evaluation, v. 11, p. 263-271.

Al-Farisi, O., et al (2004) Electrical resistivity and gamma ray logs: two physics for two permeability estimation approaches in Abu Dhabi Carbonates, SPE 88687 Presented at the 11th SPE Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Abu Dhabi, U.A.E.

Alsharhan, A. S., Nairn, A. E. M (1988) Review of the Cretaceous Formations in the Arabian Peninsula and Persian Gulf, Part II, Mid-Cretaceous (Waisa Group) Stratigraphy and Paleogeography, Journal of Petroleum Geology, v.11(1), p. 89-112.

Amaefule, J. O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D. G., Keelan, 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 Annual Conference (SPE 26436-MS), p. 205-220.

Archie, G.E (1942) The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Transactions AIME, v. 146, p. 54-62.

Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S. A., Abdollahie-Fard, I (2016) Depositional environments and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in an oil field in the Abadan Plain SW Iran,Facies, v.62(4), 26.6.

Bashari, A., Minaei, M (2003) Regional study of Sarvak and Ilam formations in the Sirri district of the Persian Gulf, AAPG International Conference and Exhibition Technical Program.Barcelona, Spain.

Gomes, J.S., Ribeiro, M.T., Strohemenger, C.J., Negahban, S., Kalam, M.Z (2008) Carbonate reservoir rock typing, the link between geology and SCAL, Proceedings of the Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Abu Dhabi, UAE.

Burchette, T.P., Briton, S.R (1985) Carbonate facies analysis in exploration for hydrocarbon: A case-study from the Cretaceous of Middle East, In P.J. Barnchley and Grélaud, Carine, et al Development of incisions on a periodically emergent carbonate platform (Natih Formation, Late Cretaceous, Oman), Journal of Sedimentary Research, v.76(4), p. 647-669.

Filbrandt, J.B., Al-Dhahab, S., Al-Habsy, A., Harris, K., Keating, J., Al-Mahruqi, S., Ozkaya, S.I., Richard, P.D., Robertson, T (2006) Kinematic interpretation and structural evolution of North Oman, Block 6, since the Late Cretaceous and implications for timing of hydrocarbon migration into Cretaceous reservoirs,GeoArabia, v.11(1), p. 97-140.

Flugel, E (2004, 2010) Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application, 2nd edn, Springer, Berlin, p 984.

Gradstein, F.M., et al (2004) A new geological time scale, with special reference to Precambrian and Neogene, Episodes, v.27(2), p. 83-100.

Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., Coniglio, M (2010) Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran, Geological Society, London, Special Publications, v. 330(1), p. 253-272.

Kadkhodaie-Ilkhchi, R., Rezaee, R., Mousavi-Harami, R., Kadkhodaie-Ilkhchi, A (2013) Analysis of reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia, Journal of Petroleum Science and Engineering, v.111, p. 106-120.

Kumar, B., Kishore, M (2006) Electrofacies Classification: A Critical Approach, 6th International Conference and Exposition on Petroleum Geophysics, Kolkata, p. 822-825.

Lee, S.H., Kharghoria, A., Datta-Gupta, A (2002) Electrofacies characterization and permeability predictions in complex reservoirs, SPE.Reserve. Eval. Eng, v.5, p. 237–248.

Loosveld, R.J.H., Bell, A., Terken, J.J.M (1996) The tectonic evolution of interior Oman,GeoArabia, v.1, p. 28-50.

Mathisen, T., Lee, S.H.,Datta-Gupta, A (2001) Improved permeability estimates in carbonate reservoirs using electrofacies characterization: a case study of the North Robertson Unit, West Texas, SPE 70034 Presented at the 2001 SPE Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, Midland, TX.

Pattison, R., Takin, M (1971) Geological significance of the Dezful embayment boundaries, National Iranian Oil Company, Report 1166 (unpublished).

Perez, H.H., Datta-Gupta, A., Mishra, S (2003) The role of electrofacies, lithofacies, and hydraulic flow units in permeability predictions from Well Logs: a comparative analysis using classification trees, SPE84301 Presented at the SPE Annual Conference and Exhibition. SPE Reservoir Evaluation and Engineering, Denver, CO, p.143-155.

Porras, J.C., Campos, O (2001) Rock typing: A key approach for petrophysical characterization and definition of flow units, Santa Barbara field, eastern Venezuela Basin, SPE, 69458-MS.

Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Izadi-Mazidi, E (2012) Flow unit distribution and reservoir modelling in cretaceous carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oilfield, Dezful Embayment, SW Iran, Journal of Petroleum Geology, v. 35(3), p. 213-236.

Razin, P., Taati, F., Van Buchem, F.S.P (2010) Sequence stratigraphy of Cenomanian-Turonian carbonate platform margins (Sarvak Formation) in the high Zagros, SW Iranian outcrop reference model for the Arabian plate, American Association of Petroleum Geologists, Bulletin,v.69, p.1-21.

Searle, M.P., Warren, C.J., Waters, D.J., Parrish, R.R (2004) Structural evolution, metamorphism and restoration of the Arabian continental margin, SaihHatat region, Oman Mountains, Journal of Structural Geology, v.26(3), p. 451-473.

Serra, O (1986) Fundamentals of Well-Log Interpretation. The Interpretation of Logging Data, Developments in Petroleum Science, 15 B, 684 pp., Elsevier (Amsterdam).

Serra, O., Abbot, H.T (1980) The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy, 55th Annual Fall Meeting of AIME (SPE 9270), Dallas, Texas.

Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M. et al (2001) Arabian plate sequence stratigraphy,GeoArabia Special Publication, 2, Gulf PetroLink, Bahrain, p. 261-278.

Ye, S.J., Rabiller, P (2005) Automated Electrofacies Ordering Society of Petrophysicist and well Log Analysts,v. 46 (6), p. 409-423.