

تحلیلی بر رخساره‌های الکتریکی، واحدهای جریان و بررسی توان مخزنی سازند میشریف (سنومانین - تورونین) در میدان نفتی اسفند، خلیج فارس

کیامرث حسینی^۱، پیمان رضائی^{۲*} و سجاد کاظم شیرودی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۳- دکترای زمین‌شناسی، شرکت نفت فلات قاره ایران

نویسنده مسئول: p.rezaee@hormozgan.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۹

دریافت: ۹۸/۸/۱۱

چکیده

سازند میشریف یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی حوضه خلیج فارس است. در این پژوهش از داده‌های تخلخل، تراوایی و لاگ‌های پتروفیزیکی به ترتیب به منظور تعیین واحدهای جریان و رخساره‌های الکتریکی مخزن میشریف در دو چاه میدان نفتی اسفند استفاده گردیده است. با استفاده از تحلیل داده‌های پتروفیزیکی با روش *MRGC*، سه رخساره الکتریکی (*EF*) تشخیص داده شد. رخساره *EF1* بهترین خصوصیات مخزنی را نشان می‌دهد و به طور عمده دارای نهشته‌های پشته کربناته است، در صورتی که رخساره *EF3* با ضعیف‌ترین خصوصیات مخزنی دارای نهشته‌های دریای باز و لاگون است. تحلیل داده‌های تخلخل - تراوایی نیز منجر به شناسایی ۴ واحد هیدرولیکی با استفاده از شاخص *FZI* گردید. واحد *HFU1* با ضعیف‌ترین وضعیت مخزنی به طور عمده با رخساره‌های محیط پشته کربناته، لاگون و پهنه جزرومدی مشخص می‌شود، اما واحد *HFU4* با بهترین وضعیت مخزنی دارای رخساره‌های محیط‌های لاگون، پشته کربناته و دریای باز است. رخساره الکتریکی *EF1* معادل واحد جریانی *HFU2*، *HFU3* و رخساره الکتریکی *EF3* نیز معادل واحد جریانی *HFU1* است. هم‌چنین واحد جریانی *HFU4* معادل رخساره الکتریکی *EF1* و *EF2* می‌باشد. مطالعه توان مخزنی سازند میشریف بر مبنای شاخص *RPI* نیز نشان از وضعیت پیچیده مخزنی آن دارد. بر مبنای این شاخص، مخزن میشریف در دو چاه تحت بررسی به طور میانگین در رده متوسط و ضعیف قرار می‌گیرد. فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی اثرهای پیچیده‌ای بر روی توالی مخزن و پارامترهای مخزنی آن داشته است؛ مطالعه رخساره‌های الکتریکی در کنار واحدهای جریانی توانایی تفکیک افق‌های مخزنی را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: رخساره الکتریکی، واحد جریانی، توان مخزنی، سازند میشریف، میدان نفتی اسفند

۱- پیشگفتار

اینکه بیانگر نوع سنگ‌شناسی مخزن هستند، خصوصیات پتروفیزیکی و مخزنی (تخلخل و تراوایی) را نیز توصیف می‌کنند، به عبارت دیگر تعیین گونه سنگی مخزنی یک فرآیند ارتباط‌دهنده بین زمین‌شناسی و پتروفیزیک است (ربل و همکاران، ۲۰۰۹). از این رو در پژوهش حاضر از بین روش‌های مختلف راک-تایپینگ روی واحدهای جریانی تمرکز شده است. تعیین واحدهای جریانی و رخساره‌های الکتریکی دو روش مهم و رایج در ارزیابی مخازن هیدروکربوری می‌باشند واحد جریانی سیال، ابزار قدرتمندی در تقسیم‌بندی مخزن به واحدهای جریانی بوده که ساختار درونی مخزن را در مقیاسی سازگار با مدل‌سازی شبیه‌سازی مخزن تقریب می‌زند (عباس‌زاده و همکاران، ۱۹۹۶). درک رابطه بین تخلخل و تراوایی برای درک و ارزیابی عملکرد مخزن بسیار ضروری است (بلوچ

یکی از مسائل کلیدی در ارزیابی مخازن هیدروکربوری استفاده از داده‌ها برای پیش‌بینی خواص پتروفیزیکی مانند تخلخل و نفوذپذیری است (باقری و همکاران، ۲۰۱۳؛ باقری و ریاحی، ۲۰۱۵). در واقع از مشخصه‌های مهم در مطالعه مخزن ارائه طرحی مشخص از توزیع خصوصیات مخزنی است. بر همین اساس بهره‌گیری از روش‌های جدید به منظور درک بهتر ناهمگنی‌های مخزنی ضروری است. تعیین گونه‌های سنگی نقش اساسی در سرشت نمایی مخزن دارد. گونه‌های سنگی از جمله خصوصیات مخزن می‌باشند که به منظور تطابق چاه‌ها و قسمت‌های تولیدی مخزن به کار می‌روند و مهم‌ترین قطعه اطلاعاتی، ساخت مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی مخزن هستند. گونه‌های سنگی علاوه بر

و تفسیر واحدهای جریان‌ی در کنار رخساره‌های الکتریکی، طبقه‌بندی کیفی مخزن میشریف برحسب فاکتورهای مختلف مخزنی ارائه گردد. بی‌شک یافته‌های این پژوهش می‌تواند کمک شایانی به مدل‌سازی مخزنی هرچه بهتر مخزن میشریف در میدان مذکور نماید.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

حوضه خلیج‌فارس بیش از نیمی از ذخایر نفت و گاز طبیعی کل جهان را به خود اختصاص داده است (ربانی، ۲۰۰۷). در تمام ناحیه خلیج‌فارس توالی‌های رسوبی کرتاسه از لحاظ نفتی در درجه اول اهمیت قرار دارند (غضبان، ۲۰۰۷). میدان نفتی سیری اسفند در بخش ایرانی خلیج‌فارس، مجاور مرز آبی ایران-دبی و در ۹۰ کیلومتری سواحل ایران واقع شده است. این میدان تقریباً در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب رقی جزیره سیری قرار دارد (شکل ۱). میدان نفتی سیری اسفند یک ساختمان طاق‌دییسی است که تا اندازه‌ای در امتداد یک محور شمال-شمال‌شرقی، جنوب-جنوب‌غربی کشیده شده است (شکل ۱) (گزارش شرکت نفت فلات قاره، ۲۰۰۷؛ ربانی، ۲۰۰۷). سازند سروک کرتاسه میانی (سنومانین-تورونین) مهم‌ترین مخزن کربناته ایران در این میدان است (بیرانوند، ۲۰۰۷). این سازند از نظر چینه‌شناسی در فارس ساحلی و شمال خلیج‌فارس با واحدهای معادل کرتاسه میانی گروه واسیا (مودود، احمدی و میشریف) در جنوب خلیج‌فارس و سازندهای وارا، احمدی و میشریف در عراق و عربستان سعودی معادل است. در کرتاسه میانی سازند سروک از پایین به بالا به سه ممبر مودود، خاتیا و میشریف تقسیم می‌شود (گزارش شرکت نفت فلات قاره، ۲۰۰۷؛ الشرحان و کندال، ۱۹۹۱) (شکل ۲). سن سازند میشریف در خلیج‌فارس سنومانین بالایی-تورونین می‌باشد (فرزادی، ۲۰۰۶a). تنوع رخساره‌ای همراه با ناپیوستگی تورونین کنترل‌کننده اصلی کیفیت مخزنی این سازند در خلیج‌فارس بوده‌اند (فرزادی، ۲۰۰۶a).

۳- روش مطالعه

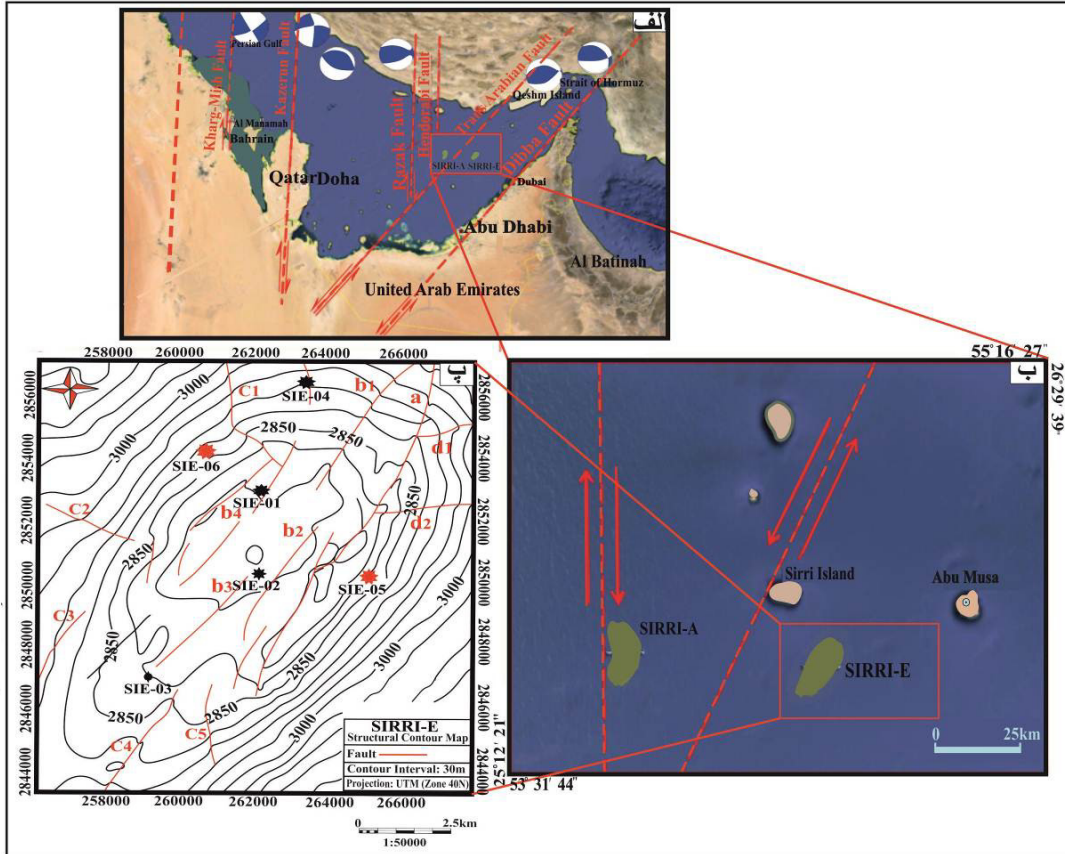
در این پژوهش در مجموع از ۵۸۰ داده تخلخل و تراوایی در دو چاه *SIE-5* و *SIE-6* برای تعیین واحدهای جریان‌ی

و بنزآگوتا، ۲۰۱۹). تعیین گونه‌های سنگی و تعیین واحدهای جریان‌ی باعث می‌شود تا قسمت‌هایی که خواص مخزنی و رفتار هیدرولیکی مشابهی دارند شناسایی شوند (بلوچ و بنزآگوتا، ۲۰۱۹). شناسایی و تعیین واحدهای جریان‌ی در سنگ‌های کربناته به دلیل فرآیندهای دیاژنزی پیچیدگی زیادی دارد (نباوی و کساب، ۲۰۱۴؛ ریاضی، ۲۰۱۸؛ باقری و رضایی، ۲۰۱۹). تعیین واحدهای جریان‌ی با روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است. تعیین این واحدها بر اساس مفهوم *FZI* و *RQI* توسط پژوهشگران بسیاری پیشنهاد و انجام شده است (تیاب و دونالدسون، ۱۹۹۶؛ عباس‌زاده و همکاران، ۱۹۹۶؛ کوربت و پوتر، ۲۰۰۴؛ الذفری و ناصرالدین، ۲۰۰۷؛ گائو و همکاران، ۲۰۰۷؛ ته و همکاران، ۲۰۱۲؛ عابد، ۲۰۱۴؛ الشراوی و نباوی، *a*، ۲۰۱۶؛ نباوی و باراکات، ۲۰۱۷؛ نباوی و همکاران، ۲۰۱۸). از جمله پژوهش‌های فارسی بر روی واحد جریان‌ی نیز می‌توان به پژوهش‌های جدیری‌آقایی و همکاران (۱۳۹۶)، اسعدی و همکاران (۱۳۹۵)، سلیمانی و همکاران (۱۳۹۵) و کدخدائی ایلخچی و همکاران (۱۳۹۳) اشاره کرد. رخساره‌های الکتریکی^۱ عبارت است از مجموعه پاسخ‌های لاگ که مشخص‌کننده یک یا چند لایه یا چینه بوده و باعث تفکیک آن از لایه‌ها یا چینه‌های دیگر می‌گردد (سرا، ۱۹۸۸؛ داویس، ۲۰۱۸). مفهوم رخساره‌های الکتریکی گروه‌بندی داده‌ها با توجه به تشابه‌های پتروفیزیکی است که موجب می‌شود یک مجموعه از داده‌های لاگ‌های پتروفیزیکی به واحدهای رخساره‌های الکتریکی دسته‌بندی شوند و با داده‌های مغزه قابل قیاس هستند (استینکو، ۲۰۰۶؛ داوتون، ۲۰۱۴؛ الشراوی و نباوی، *b*، ۲۰۱۶). تعیین رخساره‌های الکتریکی توسط محققان زیادی مانند محسنی‌پور و همکاران (۱۳۹۵)، جمشیدی و همکاران (۱۳۹۵)، سلیمانی و همکاران، (۱۳۹۵)، (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۸)، اقبال کیانی و همکاران (۱۳۹۵)، جدیری‌آقایی و همکاران (۱۳۹۶) و جویباری و رضائی (۱۳۹۶) مورد پژوهش قرار گرفت. هدف از این پژوهش بررسی رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریان‌ی در مقایسه با رخساره‌های رسوبی سازند کربناته میشریف (سنومانین-تورونین) و بررسی توان مخزنی این سازند در میدان نفتی اسفند می‌باشد. در این پژوهش سعی شده ضمن مقایسه

¹ Electrofacies

زون جریان *FZI* انجام شد. برای تعیین خوشه‌بندی و داده‌های پتروگرافی مقایسه گردید و در پایان رخصاره‌های الکتریکی به دست آمده همراه واحدهای جریانی محاسبه شده در برابر سایر لاگ‌ها و ریزرخصاره‌های سنگی و ستون هیدروکربن به صورت قائم قرار گرفت.

استفاده شد. تعیین واحدهای جریانی با روش شاخص رخصاره‌های الکتریکی به روش *MRGC* از لاگ‌های *GR*، *NPHI*، *RHOB* و *DT* استفاده گردید. این مدل‌سازی توسط نرم‌افزار ژئولاگ انجام شد. داده‌های پتروگرافی این پژوهش نیز برگرفته از پژوهش حسینی (۱۳۹۸) می‌باشد. در ادامه واحدهای جریانی با رخصاره‌های الکتریکی و



شکل ۱. الف و ب: موقعیت جغرافیایی میدان نفتی سیری *E* (اسفند) در خلیج فارس، ب: موقعیت دو چاه مورد مطالعه در میدان نفتی اسفند (با تغییراتی از ربانی، ۲۰۰۷).

Stage	Lithostratigraphy	Chronostratigraphy		Sharland et al.2001			
		West	East	MFS	Age	Mega Seq	
Coniacian	Aruma Group	Saudi Arabia	Kuwait	K150	88 Ma	Ap9	
Turonian		Turonian age unconformity	Zagros				
Cenomanian	Bangestan Group	HST	Mishrif	K140	93 Ma	Ap8	
Albian			Wasia Group	Ahmadi	K130		95 Ma
				Mauddud	K120		98 Ma
		Wara	Burgan 3rd Sand	K110	101 Ma		
		TST	Burgan 4rd Sand	K100	106 Ma		
			Kazhdumi	K90	111 Ma		

Carbonate Mudrock Sandstone Mixed Carbonate -Siliciclastic

شکل ۲. توالی کرتاسه میانی (آلبین - کونیاسین) زاگرس و صفحه عربی برگرفته از (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ هالیس و همکاران، ۲۰۱۰)

۴- بحث

۴-۱- ریزرخساره‌ها و شرایط ته‌نشینی

مطالعات پتروگرافی بر روی برش‌های نازک میکروسکوپی متعلق به چهار چاه مخزن میشریف منجر به تشخیص ۲۲ ریزرخساره گردید (حسینی، ۱۳۹۸) که این ریزرخساره‌ها به همراه توضیحات مربوطه در جدول ۱ و شکل ۳ ارائه شده‌اند. بررسی مجموعه ریزرخساره‌های سازند میشریف در میدان نفتی اسفند و مقایسه آن با کمربندهای ریزرخساره‌های استاندارد، نشان می‌دهد که این سازند تحت شرایط محیط یک رمپ کربناته تک شیب یا هموکلینال نهشته شده است (حسینی، ۱۳۹۸). مشابه این محیط را برای سازند میشریف و نهشته‌های (سنومانین آغازین - تورونین) در خلیج فارس، پژوهشگران دیگری از جمله خانجانی و همکاران (۲۰۱۵) شاهرودی و همکاران (۲۰۱۵، ۲۰۱۶) و در زاگرس نیز امیدوار و همکاران (۲۰۱۴) معرفی کردند. حسینی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی تحت عنوان بررسی ارتباط ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی، دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند میشریف (سنومانین آغازی - تورونین) در میدان نفتی اسفند (سیری E)، شمال خاوری خلیج فارس، اذعان داشتند که مهم‌ترین عوامل دیاژنتیکی در سازند میشریف انحلال، سیمانی شدن، دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن، آشفستگی زیستی، پیریتی شدن، هماتیتی شدن، نوشکلی و شکستگی و پرشدگی می‌باشد. انحلال و دولومیتی شدن و شکستگی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش مقادیر کلی تخلخل بوده و این فرآیندها باعث ایجاد تخلخل‌های بین‌بلورین، حفره‌ای و شکستگی به مقدار زیاد در میدان شده و تأثیر مثبتی بر روند افزایش کیفیت مخزنی داشته است. لازم به ذکر است که داده‌های تخلخل و تراوایی ۱۷ ریزرخساره از جدول ۱ که در چاه‌های SIE-5 و SIE-6 شناسایی شده‌اند در این پژوهش در دسترس بوده و در ادامه بار رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریان‌ی مقایسه می‌شوند.

۴-۲- رخساره‌های الکتریکی

تهیه مدل رخساره‌های الکتریکی از جمله مواردی است که در مطالعه جامع یک مخزن هیدروکربوری الزامی است. در مخازن کربناته، رخساره الکتریکی، مفهومی جدید از گونه سنگی بر اساس پاسخ‌های لاگ می‌باشد

(متیسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ لی و همکاران، ۲۰۰۲؛ ویلمان و همکاران، ۲۰۰۳؛ پرز و همکاران، ۲۰۰۵). روش MRGC یک روش نوین و قدرتمند برای دسته‌بندی داده‌ها است این روش مبتنی بر تشخیص الگوی نقطه‌ای چند بعدی بر مبنای نزدیک‌ترین همسایگی و نمایش گرافیکی داده‌ها می‌باشد. این الگوریتم اطلاعات مفیدی در مورد رخساره‌های زمین‌شناسی از ساختار خود داده‌های ورودی به دست می‌آورد (هولاند، ۲۰۰۶). در روش مورد بحث بعد از مدل توزیع ورودی‌های لاگ (شکل ۴) خوشه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ انجام می‌گیرد و خوشه‌هایی توسط نرم‌افزار پیشنهاد می‌گردد. از بین خوشه‌های پیشنهادی، مدل ۳ رخساره الکتریکی به دلیل شباهت و همخوانی بیش‌تر آن با داده‌های حاصل از مطالعه مغزه و پتروگرافی انتخاب گردید (شکل ۵ و جدول ۲).

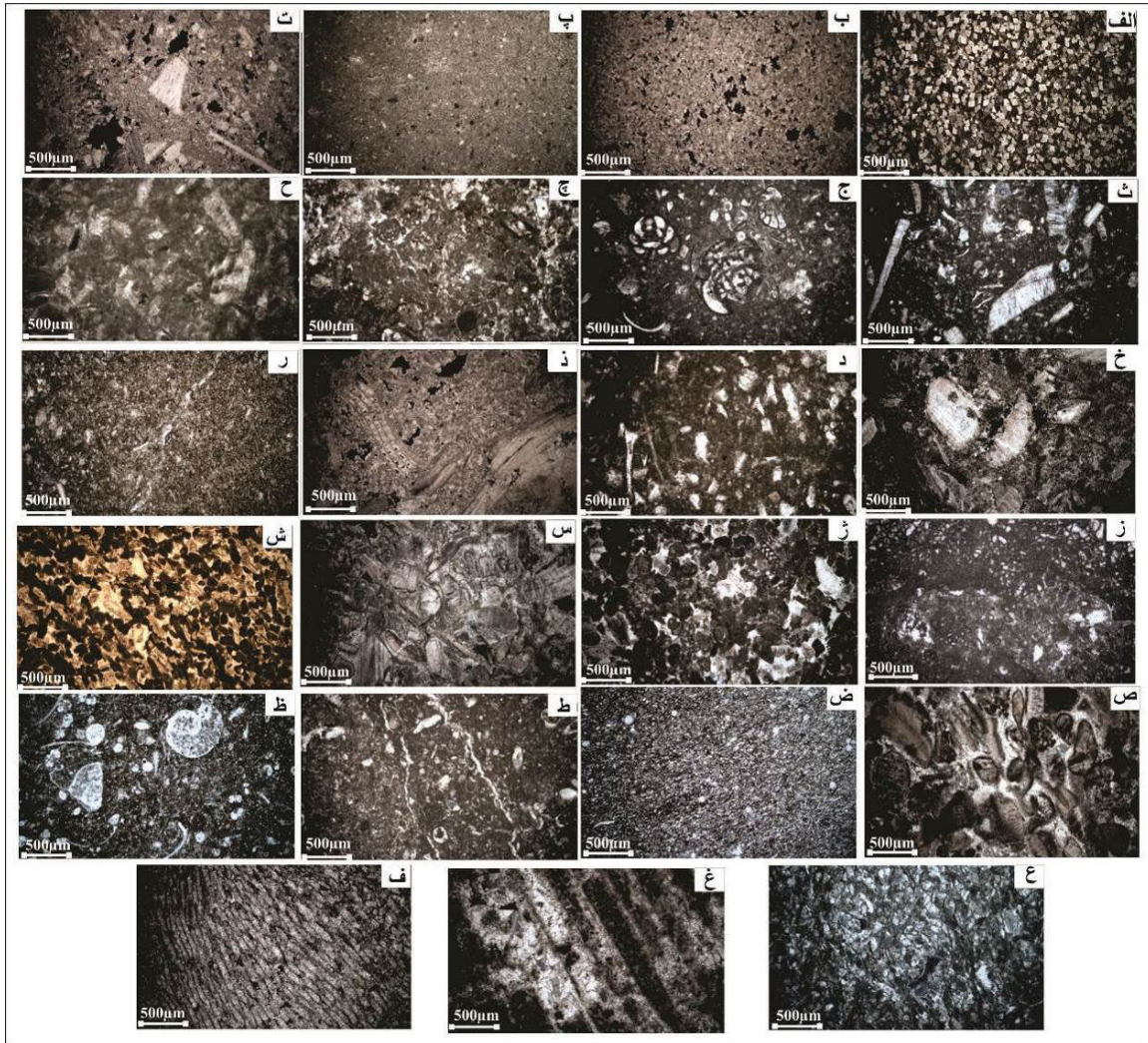
EF1: این رخساره الکتریکی دارای بهترین مشخصه‌های پتروفیزیکی می‌باشد. عمده ریزرخساره‌هایی که در این رخساره الکتریکی نهشته شده‌اند در چاه SIE-5 به ترتیب شامل MF17 و MF15 و در چاه SIE-6 نیز شامل MF16 و MF9 می‌باشد (شکل ۶). نهشته‌های رخساره‌های الکتریکی EF1 در چاه SIE-5 عمدتاً در زیر محیط پشته کربناته و بعد از آن لاگون و در چاه SIE-6 در زیر محیط پشته کربناته و لاگون با نسبت تقریباً مساوی نهشته شده‌اند (شکل ۷). به نظر می‌رسد وجود فرآیندهای انحلال و ایجاد تخلخل‌های بهم پیوسته باعث شده تا این رخساره الکتریکی وضعیت مخزنی خوبی داشته باشد.

EF2: این رخساره الکتریکی به لحاظ مشخصه‌های مخزنی در رده دوم می‌باشد. عمده ریزرخساره‌های آن به ترتیب در چاه SIE-5 در MF3 و MF21 و در چاه SIE-6 نیز شامل MF12 و MF11 می‌باشد (شکل ۶). زیرمحیط‌های این رخساره الکتریکی نیز در چاه SIE-5 عمدتاً پهنه‌کشدی و لاگون و در چاه SIE-6 نیز لاگون می‌باشد (شکل ۷). به نظر می‌رسد بر مبنای زیرمحیط رسوبی رخساره EF2 در هر دو چاه مانند رخساره EF1 همخوانی قابل قبولی دارد.

EF3: رخساره الکتریکی EF3 به لحاظ مخزنی ضعیف‌ترین مشخصه‌های پتروفیزیکی را داراست. ریزرخساره‌های این رخساره الکتریکی به ترتیب فراوانی در چاه SIE-5 شامل MF6، MF15 و MF10 و در چاه

و لاگون نهشته شده است (شکل ۷). به نظر می‌رسد سیمانی شدن در بعضی ریزرخساره‌های پشته کربناته باعث قرارگیری این ریزرخساره‌ها در *EF3* شده است.

SIE-6 نیز شامل *MF17* و *MF21* می‌باشد (شکل ۶). این رخصاره الکتریکی در چاه *SIE-5* عمدتاً در زیر محیط لاگون و پشته کربناته و در چاه *SIE-6* نیز در رمپ میانی

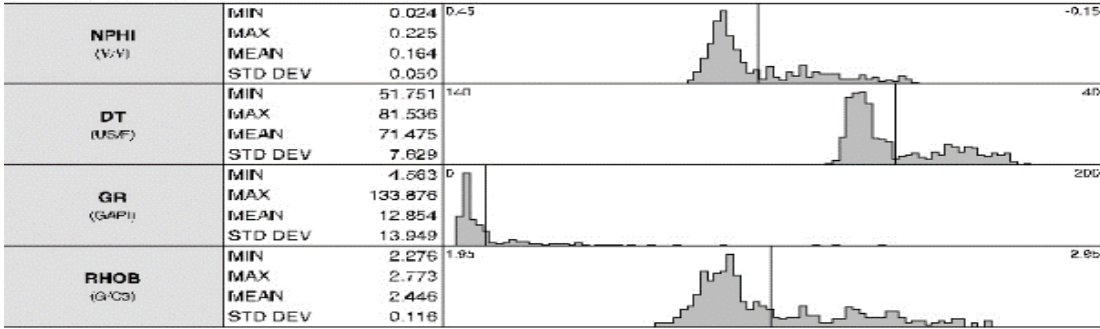


شکل ۳. تصاویر ریزرخساره‌های سازند میشریف برگرفته از حسینی (۱۳۹۸). الف: ریزرخساره دولواستون (چاه *SIE-6* عمق ۲۹۰۵)، ب: فنسترال لایم مادستون (چاه *SIE-3* عمق ۲۸۱۱)، پ: ریزرخساره لایم مادستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۴۸)، ت: فنسترال بایوکلست وکستون/پکستون (چاه *SIE-3* عمق ۲۸۵۴،۵ متری)، ث: ریزرخساره بایوکلست (رودیست- فرامنیفر) وکستون/ پکستون (چاه *SIE-6* عمق ۲۸۷۷)، ج: ریزرخساره بایوکلست (رودیست- فرامنیفر) وکستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۴۵)، چ: ریزرخساره بایوکلست (فرامنیفر- جلبک) اینتراکلت پکستون (چاه *SIE-6* عمق ۲۹۱۹)، ح: ریزرخساره بایوکلست (فرامنیفر) اینتراکلت وکستون (چاه *SIE-6* عمق ۲۸۸۱)، خ: ریزرخساره بایوکلست (فرامنیفر) پکستون (چاه *SIE-2* عمق ۲۷۴۳ متری)، د: ریزرخساره بایوکلست (رودیست- فرامنیفر) پلوئید وکستون با آشفستگی زیستی (چاه *SIE-6* عمق ۲۹۰۶)، ذ: ریزرخساره بایوکلست (رودیست) وکستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۵۵)، ر: ریزرخساره پلوئید بایوکلست (فرامنیفر- جلبک) وکستون/پکستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۹۱)، ز: ریزرخساره بایوکلست (جلبک) وکستون (چاه *SIE-2* عمق ۲۹۷۰ متری)، ژ: ریزرخساره اینتراکلت بایوکلست (فرامنیفر- رودیست) گرینستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۷۶)، س: ریزرخساره بایوکلست (فرامنیفر) گرینستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۶۳)، ش: ریزرخساره پلوئید بایوکلست (فرامنیفر) گرینستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۵۰)، ص: ریزرخساره کتد بایوکلست (رودیست- فرامنیفر) گرینستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۸۶)، ض: ریزرخساره مادستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۹۱۲)، ط: ریزرخساره بایوکلست ریزدانه (رودیست- فرامنیفر) وکستون (چاه *SIE-2* عمق ۲۹۶۹ متری)، ظ: ریزرخساره بایوکلست (فرامنیفر) وکستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۹۱۶)، ع: ریزرخساره بایوکلست (رودیست) پکستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۹۵)، غ: ریزرخساره کورال بانداستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۵۳)، ف: ریزرخساره کورال بانداستون (چاه *SIE-5* عمق ۲۸۶۲).

جدول ۱. مجموعه ریزرخساره‌های سازند میشریف در میدان نفتی اسفند به همراه معرفی کمربند رخصاره‌های آن‌ها (حسینی، ۱۳۹۸)

کد رخصاره	نام رخصاره	توضیحات	کمربند رخصاره‌ای
MF1	دولواستون	بافت آهکی دارد. جایگزین میکرایت شده است و در آن باقیمانده‌های میکرایت و مقداری ناخالصی دیده می‌شود (شکل ۳- الف).	پهنه جزرومدی
MF2	مادستون آهکی فنسترال‌دار	فابریک و اندازه رسوب بسیار ریزاست. این ریزرخساره فاقد فسیل است و دارای تخلخل فنسترال است (شکل ۳- ب).	پهنه جزرومدی
MF3	مادستون آهکی	فابریک و اندازه رسوب بسیار ریز است. این ریزرخساره فاقد فسیل است (شکل ۳- پ).	پهنه جزرومدی
MF4	وکستون/پکستون بایوکستی فنسترال‌دار	این ریزرخساره دارای قطعات رودیست، جلبک، صدف دوکفه ای و گاهی استراکد می‌باشد (شکل ۳- ت).	پهنه جزرومدی
MF5	وکستون/ پکستون بایوکستی	بافت این ریزرخساره وکستون تا پکستون است. وجود فرامنیفرهای بنتیک مانند میلیولیدا و نازتا در زمینه میکرایتی زمینه میکرایتی (شکل ۳- ث).	لاگون
MF6	وکستون بایوکستی	بافت این ریزرخساره گل پشتیبان است. آلوکم‌های این ریزرخساره شامل میلیولیدا، نازتا، اربیتولینا، تکستولاریا و خرده‌های رودیست است (شکل ۳- ج).	لاگون
MF7	پکستون بایوکستی	بافت دانه پشتیبان و آلوکم‌های این رخصاره شامل میلیولیدا، نازتا، اربیتولینا، تکستولاریا و خرده‌های رودیست است (شکل ۳- چ).	لاگون
MF8	پکستون بایوکستی اینتراکست‌دار	زمینه این ریزرخساره را گل تشکیل داده است. فرام‌هایی مانند میلیولیدا و نازتا دارد در آن فرام بزرگ مشاهده نمی‌شود (شکل ۳- ح).	لاگون
MF9	وکستون بایوکستی اینتراکست‌دار	بافت وکستون می‌باشد. آلوکم‌های این ریزرخساره شامل میلیولیدا، اینتراکست و قطعات رودیست می‌باشد (شکل ۳- خ).	لاگون
MF10	وکستون بایوکستی پلوئیددار همراه با آشفنگی زیستی	زمینه گل پشتیبان و وکستون است. فونای آن محدود است و رودیست و فرام بنتیک دارد و همچنین ساخت بیوتربیش دارد (شکل ۳- د).	لاگون
MF11	وکستون بایوکستی رودیست‌دار	این ریزرخساره دارای بافت گل پشتیبان و وکستون می‌باشد. آلوکم‌های این ریزرخساره شامل خرده‌های رودیست، صدف دوکفه‌ای می‌باشد. عمده این آلوکم‌ها میکرایتی شده‌اند. (شکل ۳- ذ).	لاگون
MF12	وکستون/پکستون بایوکستی پلوئیددار	این ریزرخساره دارای زمینه میکرایتی و بافت حدواسط وکستون تا پکستون می‌باشد. آلوکم‌های این ریزرخساره شامل فرام‌های بنتیک میلیولیدا، خرده‌های جلبک سبز و پلوئید فراوان است (شکل ۳- ر).	لاگون
MF13	وکستون بایوکستی جلبک‌دار	این ریزرخساره گل پشتیبان و دارای بافت وکستون است. آلوکم‌های اصلی در این رخصاره جلبک‌های سنگفرشی و اجزای دیگر برونوزا، صدف دوکفه ای و تعدادی میلیولیدا است (شکل ۳- ز).	پشته کربناته
MF14	گرینستون بایوکستی اینتراکست‌دار	زمینه اسپارایتی و بافت گرینستونی می‌باشد. اجزای اصلی تشکیل‌دهنده آن که شامل اینتراکست و خرده‌های بیوکستی (نظیر اکینوئید) و فرامنیفرهای بنتیک که میکرایتی شده‌اند، است (شکل ۳- ژ).	پشته کربناته
MF15	گرینستون بایوکستی	بافت گرینستونی و زمینه اسپارایتی می‌باشد. آلوکم‌ها فرام‌های بنتیکی که به شدت میکرایتی شده و غیر قابل تشخیص هستند. جورشدگی و گردشدگی آلوکم‌ها خوب می‌باشد (شکل ۳- س).	پشته کربناته
MF16	گرینستون بایوکستی پلوئیددار	بافت گرینستون در زمینه‌ای اسپارایتی. پلوئید اجزای اصلی شامل فرام‌های بنتیک، قطعات رودیست و پلوئید می‌باشد. جورشدگی و گردشدگی آلوکم‌ها خوب می‌باشد (شکل ۳- ش).	پشته کربناته
MF17	گرینستون بایوکستی کورتوفیددار	این ریزرخساره بافت اسپارایتی دارد و گرینستون است. آلوکم‌ها شامل قطعات رودیست و صدف دوکفه‌ای و فرام‌های بنتیک است که به شدت میکرایتی شده و غیر قابل تشخیص می‌باشند. جورشدگی و گردشدگی در آلوکم‌ها مشهود است (شکل ۳- ص).	پشته کربناته
MF18	مادستون	زمینه گلی و میزان بالای میکرایت و ریزدانه بودن به همراه نبود ساختمان‌های رسوبی و حضور فرامنیفرهای پلانکتونیک از خصوصیات این ریزرخساره می‌باشد (شکل ۳- ض).	دریای باز
MF19	وکستون بایوکستی ریزدانه	بافت گل پشتیبان و وکستون است. از اجزای اصلی این ریزرخساره خرده‌های خارپوست، خرده‌های رودیست و روزن‌داران کفزی می‌باشند. وجود خوردشدگی در آلوکم‌ها و همچنین خرده‌های ساییده شده رودیست و روزن‌بران کفزی نشانه‌هایی از حمل مواد می‌باشد (شکل ۳- ط).	دریای باز
MF20	وکستون بایوکستی حاوی فرامنیفر پلاژیک	این ریزرخساره دارای زمینه گلی و بافت وکستون است. مهمترین عناصر زیستی این فاسیس شامل بیوکست‌های بنتیک همراه بیوکست‌های پلانکتونیک است. زمینه این فاسیس میکرایت می‌باشد (شکل ۳- ظ).	دریای باز
MF21	پکستون بایوکستی رودیست‌دار	این ریزرخساره دارای زمینه‌ای از گل و یک پکستون است و اجزای اصلی تشکیل‌دهنده آن به ترتیب فراوانی شامل خرده‌های بیوکلاستی رودیست و اکینوئید و به میزان کم پلوئید و فرامنیفرهای غیرقابل شناسایی می‌باشد (شکل ۳- ع).	رمپ میانی
MF22	بانداستون مرجانی	این ریزرخساره در مقاطع نازک به صورت اسکلت مرجانی برجا، فاقد شکستگی و خوردشدگی است. فضای خالی موجود در بدنه مرجانی عمدتاً توسط سیمان کلسیتی و به ندرت توسط میکرایت پر شده است (شکل ۳- ت).	رمپ میانی

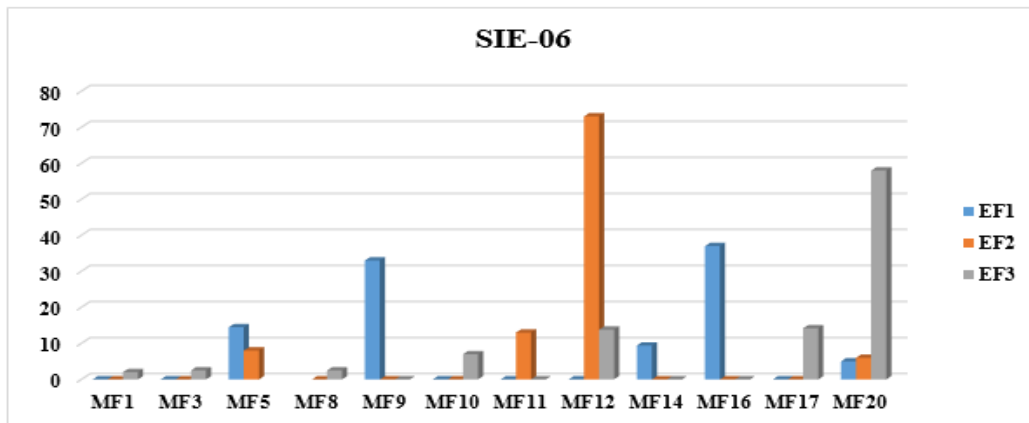
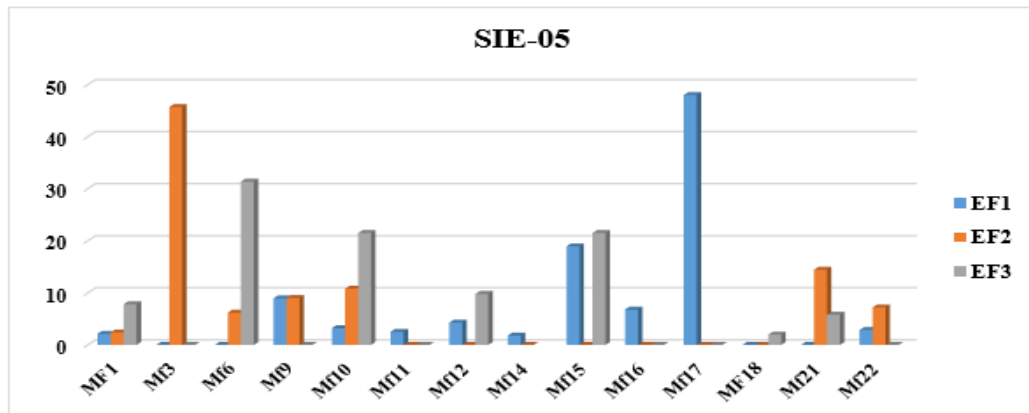
Model Logs



شکل ۴. آزمون توزیع لاگ‌های مورد استفاده برای ایجاد مدل رخساره الکتریکی

	NAME	COL	PAT	WEIGHT	NPHI	RHOB	DT	GR
1	FACIES_1			280				
2	FACIES_2			84				
3	FACIES_3			59				

شکل ۵. رخساره‌های الکتریکی سازند میشریف به روش MRGC



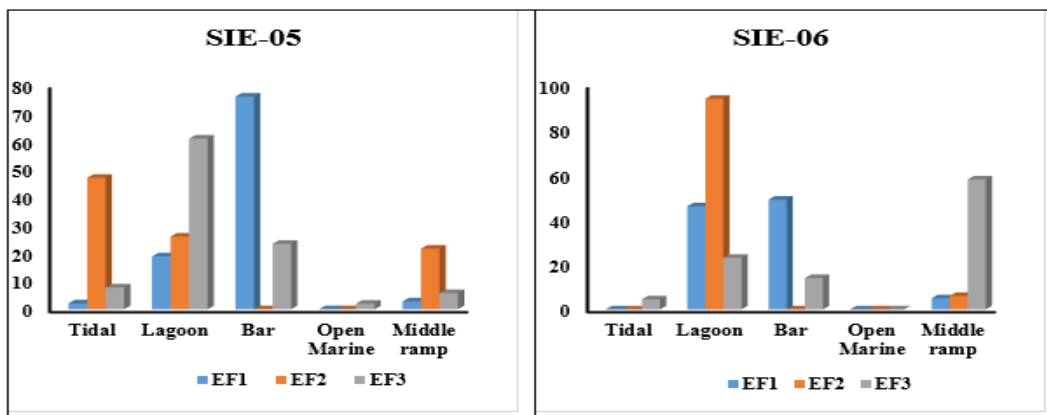
شکل ۶. فراوانی رخساره‌های الکتریکی میشریف در ریزرخساره‌های به تفکیک هر چاه

و EF2 قرار می‌گیرند اما در چاه SIE-6 مشخصه‌های مخزنی آن‌ها ضعیف شده و در EF3 قرار می‌گیرند. ریزرخساره‌های پهنه کشندی نیز در چاه SIE-5 وضعیت مخزنی بهتری دارند (شکل ۷).

در مجموع می‌توان گفت که وضعیت مخزنی رخساره‌های پشته کربناته در چاه SIE-5 بهتر است از چاه SIE-6 و اما ریزرخساره‌های لاگون در در چاه SIE-6 بهتر از چاه SIE-5 می‌باشد. از طرفی ریزرخساره‌های رمپ میانی در چاه SIE-5 عمدتاً وضعیت مخزنی خوبی دارند و در EF1

جدول ۲. رده‌بندی رخساره‌های الکتریکی روش MRGC از نظر مشخصه‌های مخزنی

FACIES	WEIGHT	NPHI	RHOB	DT	GR
Unit	M	V/V	G/C3	US/F	GAPI
EF 1	280	0.19	2.22	76.44	7.2
EF 2	84	0.115	2.54	63.91	18.24
EF 3	59	0.07	2.67	57.88	31.9



شکل ۷. فراوانی رخساره‌های الکتریکی مخزن میشریف در کمرندهای رخساره‌ای در چاه SIE-6 و SIE-5

۴-۳- واحدهای جریانی

واحدهای جریانی به عنوان شاخصی از زون‌های جریانی هستند که در آن‌ها، ویژگی‌های جریان سیال با توجه به خصوصیات گلوگاه‌های منافذ یکنواخت است (کدخدائی ایلخچی و همکاران، ۱۳۹۳). نمونه‌هایی که در یک واحد هیدرولیکی قرار می‌گیرند، خواص مخزنی و حفرات مشابهی دارند (الشراوی و نباوی، ۲۰۱۹). از سویی دیگر مفهوم تمایز وضعیت یک مخزن بر اساس دو پارامتر تخلخل و تراوایی است از این رو محاسبه فاکتور شاخص زون جریان (FZI) و شاخص کیفیت مخزن (RQI) کمک زیادی به ارزیابی توانمندی مخزن می‌نماید (الشراوی و نباوی، ۲۰۱۹). در روش شاخص زون جریان با استفاده از نسبت شاخص کیفیت مخزنی به تخلخل نرمالیزه شده و از طریق روابط زیر شاخص زون جریان محاسبه می‌شود:

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

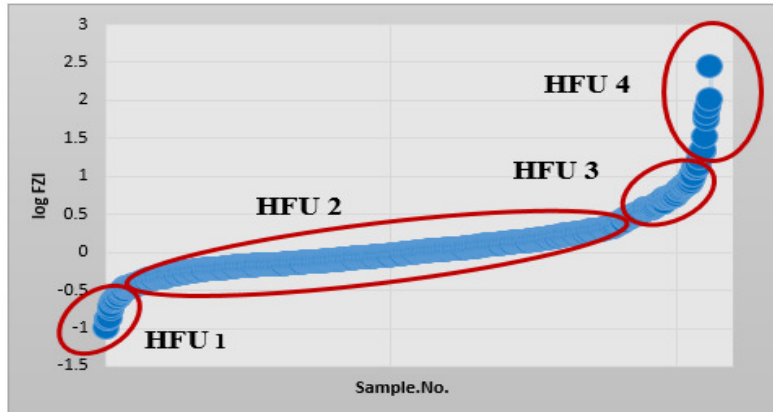
$$\phi_z = \frac{\phi_E}{1 - \phi_E}$$

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

در روابط فوق، Q_e تخلخل موثر، K تراوایی (میلی‌داریسی)، Q_z تخلخل نرمالیزه شده و RQI شاخص کیفیت مخزنی است. کاربرد این شاخص در تعیین واحدهای جریانی ثابت شده است هرچند در مواردی در مخازن کربناته هتروژنز ممکن است با خطا همراه باشد. 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. در ادامه لگاریتم FZI در برابر نمونه‌ها در شکل ۸ رسم گردید و جداسازی واحدهای جریانی هیدرولیکی (HFU) با استفاده از شکست یا نقطه عطف نمودار توزیع داده‌ها مشخص گردید. بر این مبنا ۴ واحد جریانی شناسایی شده‌اند که کیفیت مخزنی آن‌ها با افزایش شاخص کیفیت مخزنی از واحد HFU1 به سمت HFU4 زیاد می‌شود (شکل ۸). ۴ واحد جریانی شناسایی شده به همراه حد برش بر پایه FZI در جدول ۳ آورده شده است

جدول ۳. پارامترهای مخزنی واحدهای هیدرولیکی سازند میشریف در میدان نفتی اسفند

HFU	حد برش $LogFZI$	میانگین تراوایی (میلی‌داری)	میانگین تخلخل (%)	وضعیت مخزنی
1	$-0.2 > LogFZI$	0.4	9.25	ضعیف
2	$-0.2 \leq LogFZI < 0.4$	14.29	16.12	متوسط
3	$0.4 \leq LogFZI < 0.8$	27	6.16	خوب
4	$0.8 \geq LogFZI$	65	3.74	خیلی خوب



شکل ۸. تعیین واحدهای جریانی سازند میشریف با استفاده از نمودار $logFZI$ در برابر نمونه‌ها در میدان نفتی اسفند

ریزرخساره $MF16$ و ۱۴ درصد ریزرخساره $MF12$ می‌باشد (شکل ۱۲). از سویی دیگر بیش‌ترین ستبرای این واحد هیدرولیکی را ریزرخساره‌های زیرمحیط پشته کربناته، لاگون و پهنه جزر و مدی تشکیل می‌دهد (شکل ۱۳). ریزرخساره‌های پهنه کشندی این واحد مادستون می‌باشند. ریزرخساره‌های لاگون نیز شامل پکستون و وکستون‌هایی است که دارای تخلخل‌های قالبی یا حفره‌ای مجزا بوده (شکل ۱۴- الف) که روی تخلخل تاثیر داشته‌اند اما بر تراوایی بی‌تاثیر بوده‌اند. ریزرخساره‌های پشته کربناته نیز گرینستون‌هایی با تراوایی کم می‌باشند و سیمانی شدن شدید می‌باشند (شکل ۱۴- ب).

$HFU2$: این واحد هیدرولیکی با داشتن میانگین تخلخل ۱۶/۲ درصد و میانگین تراوایی ۱۴/۲۹ میلی‌داری یک واحد مخزنی در سازند میشریف می‌باشد. عمده ریزرخساره‌هایی که در این واحد هیدرولیکی حضور دارند به ترتیب در زیرمحیط‌های پشته کربناته، لاگون و پهنه جزر و مدی نهشته شده‌اند (شکل ۱۲). این ریزرخساره‌ها به ترتیب فراوانی شامل $MF15$ ، ۳۲ درصد، $MF3$ ۹ درصد می‌باشد (شکل ۱۳). وجود تخلخل‌های مجزا در کنار تخلخل‌های بهم مرتبط (شکل ۱۴- پ) سبب

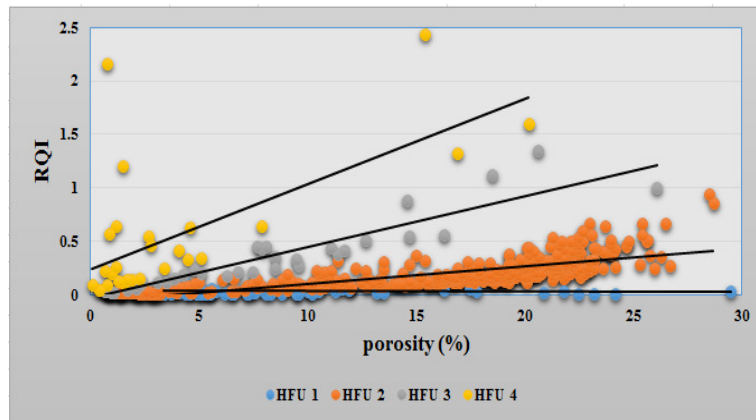
در شکل ۹ رابطه تخلخل و شاخص RQI برای ۴ واحد هیدرولیکی شناسایی شده مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود رابطه RQI با تخلخل رابطه مشخص و مستقیمی نیست اما در شکل ۱۰ رابطه این شاخص با تراوایی یک رابطه مستقیم است. این موضوع نشان می‌دهد که تراوایی فاکتور اصلی کنترل کننده کیفیت مخزنی بوده و در ارتباط با ویژگی‌های گلوگاه‌های تخلخل در مخزن می‌باشد (کدخدائی‌ایلخچی و همکاران، ۱۳۹۳). داده‌های تخلخل و تراوایی هرکدام از واحدهای جریانی نشان می‌دهد که سامانه منافذ آن واحد مشابه بوده و روند مشخصی را دارد و به وضوح با روند سایر واحدها متفاوت است (شکل ۱۱). در ادامه به بررسی این ۴ واحد هیدرولیکی خواهیم پرداخت.

$HFU1$: این واحد هیدرولیکی دارای کمترین شاخص زون جریان است بر اساس جدول ۳، میانگین تخلخل آن ۹/۲۵ و میانگین تراوایی آن ۰/۴ است. از آنجا که تخلخل بالای ۵ درصد و تراوایی بیش از ۱ میلی‌داری به عنوان نشانگر وجود پتانسیل مخزنی است (اهر، ۲۰۱۱). لذا این واحد با داشتن ماکزیمم تراوایی ۶ میلی‌داری در مقاطعی از مخزن یک زون مخزنی یا توالی مخزنی حساب می‌شود. عمده ریزرخساره‌هایی که در این واحد قرار می‌گیرند شامل ۲۱ درصد ریزرخساره $MF3$ ، ۱۹ درصد

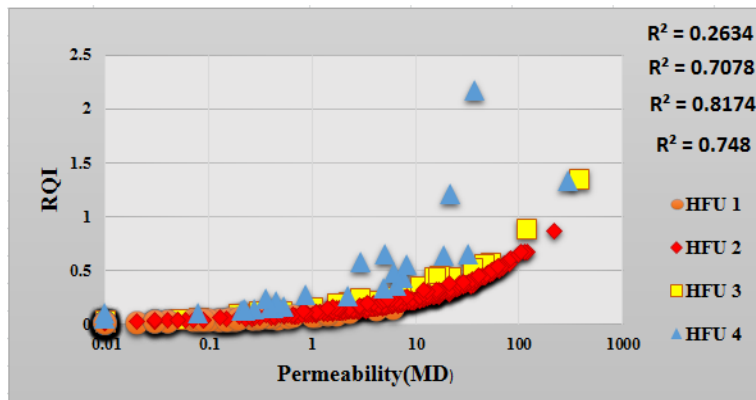
مخزنی این واحد هیدرولیکی شده‌اند هرچند در مقاطعی می‌دهند (شکل ۱۳). به نظر می‌رسد در این واحد هیدرولیکی علی‌رغم اینکه تخلخل نسبت به HFU2 کمتر است اما شکستگی و وجود ارتباط بین تخلخل باعث افزایش چشمگیر تراوایی و در نتیجه بهبود وضعیت مخزنی گردیده است (شکل ۱۴-ث و ۱۴-ج). این تخلخل‌های مفید در همه واحدهای مخزنی میشریف در ارتباط با پایین آمدن سطح آب دریا در مرزهای ناپوستگی ایجاد می‌شود (جدیری‌آقایی و همکاران، ۱۳۹۶).

افزایش تخلخل و تراوایی و در نتیجه بهبود کیفیت سیمانی شدن نیز سبب کاهش تخلخل و تراوایی در این واحد شده است (شکل ۱۴-ت).

HFU3: واحد هیدرولیکی ۳ با داشتن میانگین تخلخل ۶/۶ درصد و تراوایی ۲۷ میلی‌داریستی سبب کمی از توالی مخزن میشریف را به خود اختصاص داده است. ریزرخساره MF15 از پشته کربناته و MF20 از رمپ میانی فراوان‌ترین ریزرخساره‌های این واحد هیدرولیکی می‌باشند (شکل ۱۲). بخش عمده‌ای از نهشته‌های این واحد را نهشته‌های پشته کربناته و لاگون تشکیل



شکل ۹. رابطه تخلخل با شاخص کیفیت مخزن در واحدهای هیدرولیکی سازند میشریف در میدان نفتی اسفند



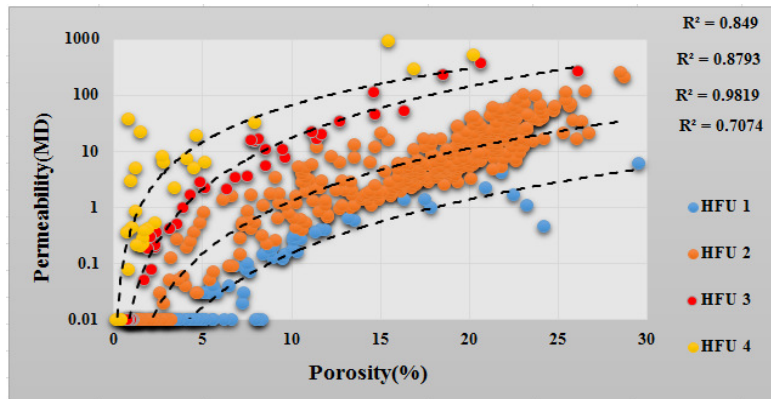
شکل ۱۰. رابطه تراوایی با شاخص کیفیت مخزن در واحدهای هیدرولیکی سازند میشریف در میدان نفتی اسفند

بیش‌ترین ستبرای این واحد هیدرولیکی در زیر محیط پشته کربناته، لاگون و رمپ میانی نهشته شده‌اند. وجود رخساره‌های رمپ میانی در این واحد به علت وجود تخلخل‌های شکستگی می‌باشد که به خوبی در این ریزرخساره‌ها مشهود است و باعث افزایش چشمگیر تراوایی شده است (شکل ۱۴-ج). به نظر می‌رسد تخلخل کم و سیمانی شدن شدید و از سوی دیگر فرآیند

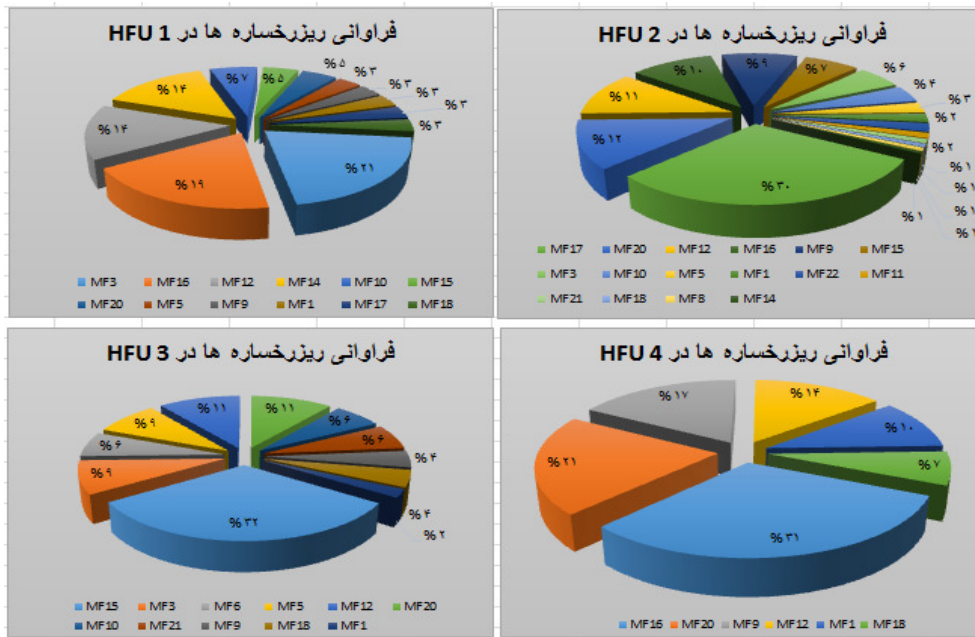
HFU4: این واحد بالاترین شاخص زون جریانی را دارد و ستبرای آن از بقیه واحدها کمتر می‌باشد. واحد HFU4 دارای تخلخل کم ۳/۷۴ درصد اما تراوایی بالای ۶۴ میلی‌داریستی می‌باشد. ریزرخساره‌های این واحد به ترتیب ۳۱ درصد MF16 از پشته کربناته، ۲۱ درصد MF21 از زیرمحیط رمپ میانی، ۱۷ درصد MF9 از لاگون و ۱۴ درصد MF12 از زیرمحیط لاگون می‌باشد (شکل ۱۲).

را بهبود بخشیده است (شکل ۱۴-ح و ۱۴-خ). آنچه در این واحد کاملاً مشهود است نقش شکستگی و دیاژنز تاخیری می‌باشد.

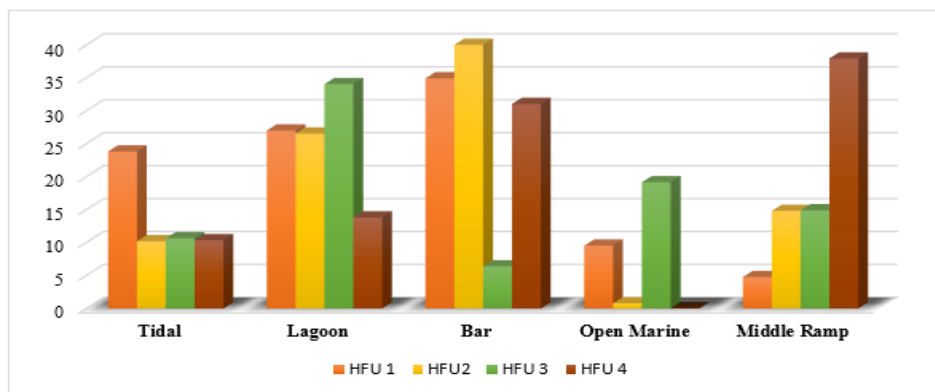
شکستگی، دولومیتی شدن و حتی گاهی استیلولیتی شدن باعث ایجاد یک معبر برای عبور سیالات هیدروکربوری شده و تراوایی را افزایش و کیفیت مخزنی



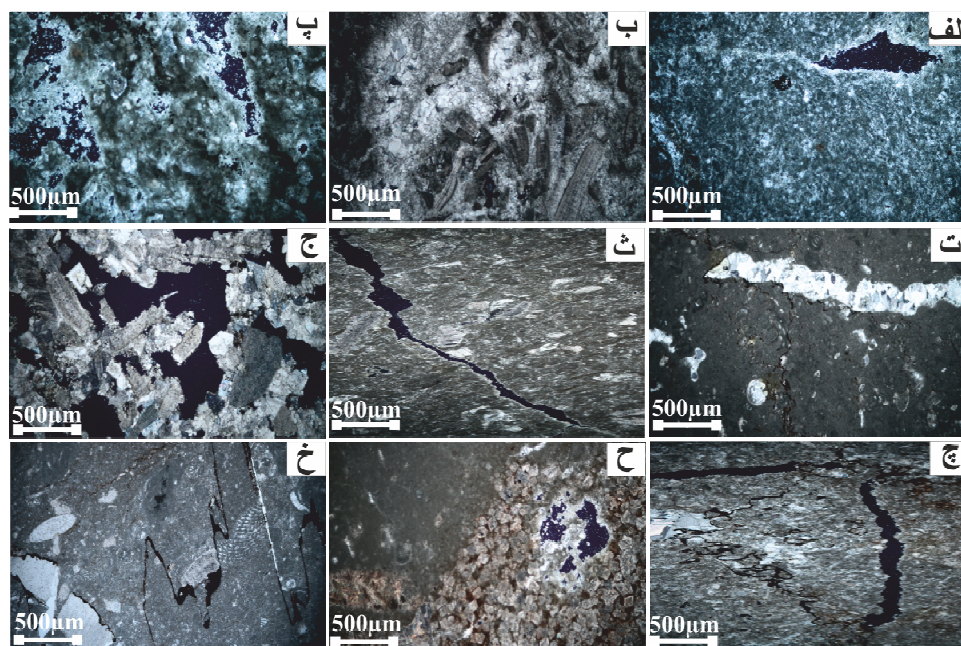
شکل ۱۱. توزیع واحدهای جریانی تفکیک شده بر روی نمودار تخلخل-تراوایی



شکل ۱۲. پراکندگی ریزرخساره‌های رسوبی در واحدهای هیدرولیکی مخزن میشریف



شکل ۱۳. پراکندگی واحدهای هیدرولیکی در زیرمحیط‌های رسوبی مخزن میشریف



شکل ۱۴. الف: تخلخل حفره‌ای غیر مرتبط در HFU1، ب: سیمانی شدن در HFU1، پ: نخلخل حفره‌ای و گاه بین‌دانه‌ای در HFU2، ت: پرشدن شکستگی و از بین رفتن نخلخل آن در HFU2، ث: شکستگی و ایجاد نخلخل در HFU3، ج: نخلخل بین‌دانه‌ای و حفره‌ای مرتبط در HFU4، چ: نخلخل شکستگی در کنار استیلولیت در HFU4، ح: دولومیتی شدن در HFU4، خ: استیلولیت و آثار هیدروکربن در آن در HFU4

۴-۴- توان مخزنی

به منظور ارزیابی کیفیت مخزنی و بر مبنای دو شاخص زون جریان FZI و شاخص کیفیت مخزن RQI کلاس‌بندی جدیدی برای بررسی توان مخزنی مخازن نفتی توسط نباوی و ال- ازازی (۲۰۱۵) و نباوی و همکاران (۲۰۱۸) ارائه شده است. این محققان شاخص توان مخزنی^۱ را معرفی کردند که از رابطه زیر به دست می‌آورد و توان مخزنی را در قالب ۵ رده توصیفی تقسیم کردند:

$$RPI = \frac{RQI + FZI}{2}$$

شاخص RPI مفهوم تعیین وضعیت یک مخزن بر اساس دو پارامتر تخلخل و تراوایی است (الشراوی و نباوی، ۲۰۱۹). این شاخص از ناهماهنگی بین رتبه‌های مطرح شده برای RQI و FZI جلوگیری می‌کند، از این رو پلات RQI و FZI کمک زیادی به تعیین وضعیت مخزنی می‌کند. رتبه‌بندی توانمندی مخزن و کلاس‌های آن بر مبنای نخلخل، تراوایی، RQI، FZI و RPI توسط نباوی و ال- ازازی (۲۰۱۵) در جدول ۴ ارائه شده است.

بر اساس این کلاس‌بندی، سازند میشریف را در دو چاه SIE-5 و SIE-6 مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۵ ارائه گردید. مخزن میشریف در چاه SIE-5 بر اساس شاخص RQI بین رتبه ۰ تا ۴ متغیر است و میانگین آن نیز در رتبه ۱ قرار می‌گیرد. بر مبنای شاخص FZI نیز این مخزن بین ۰ تا ۴ و میانگین ۱ متغیر می‌باشد. شاخص RPI مخزن در این چاه نیز متغیر و مخزن را به قسمت‌های ناتراوا تا عالی تقسیم می‌کند هر چند میانگین شاخص RPI این چاه حدود ۲ و در رتبه متوسط قرار می‌گیرد. مخزن میشریف در این چاه بر مبنای رتبه‌بندی جدول ۴ دارای نخلخل خوب و تراوایی ضعیف می‌باشد. هرچند در بازه‌های عمقی از مخزن نخلخل عالی و تراوایی خوب می‌باشد. در چاه SIE-6 مخزن میشریف به لحاظ شاخص RQI رتبه بین ۰ و ۲ و میانگین ۱ را دارد و بر مبنای شاخص FZI دارای رتبه ۱ تا ۵ متغیر و میانگین ۱ می‌باشد. در این چاه نیز شاخص RPI مخزن بین ناتراوا تا عالی متغیر است اما میانگین RPI مخزن در رده ضعیف قرار می‌گیرد. مخزن میشریف در چاه SIE-6 نیز دارای میانگین نخلخل متوسط و تراوایی ضعیف می‌باشد. در شکل ۱۵ تراوایی هر چاه در

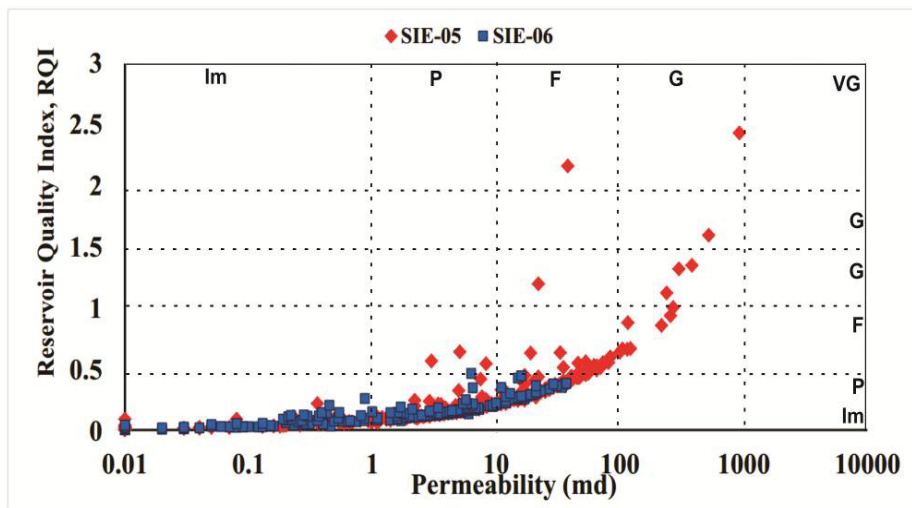
¹ Reservoir Potentiality Index

مخزنی بهتر نسبت به چاه *SIE-6* دارد که این مهم می‌تواند به علت وجود دولومیت در رخساره‌های آن می‌باشد. کمر بند رخساره‌ای لاگون در هر دو چاه تقریباً روند مشابه و وضعیت مخزنی نزدیک به هم دارند. کمر بند رخساره‌ای پشته کربناته و رمپ میانی نیز در چاه *SIE-5* کیفیت مخزنی بهتری نسبت به چاه *SIE-6* دارند. به نظر می‌رسد فرآیندهای انحلال و شکستگی در کمر بندهای رخساره‌ای پشته کربناته و رمپ میانی چاه *SIE-5* بیش‌تر از چاه *SIE-6* بوده و سبب ایجاد تخلخل‌های بهم مرتبط و افزایش پارامترهای مخزنی شده و از سویی دیگر سیمانی شدن در این کمر بندها در چاه *SIE-6* شدیدتر بوده و تاثیر منفی بر پارامترهای مخزنی داشته است. این تفاوت در کیفیت مخزنی با وجود مشابه بودن کمر بندهای رخساره‌ای نشان از تاثیر توام، فرآیندهای دیاژنزی و رسوبی بر وضعیت مخزنی سازند میشریف دارد.

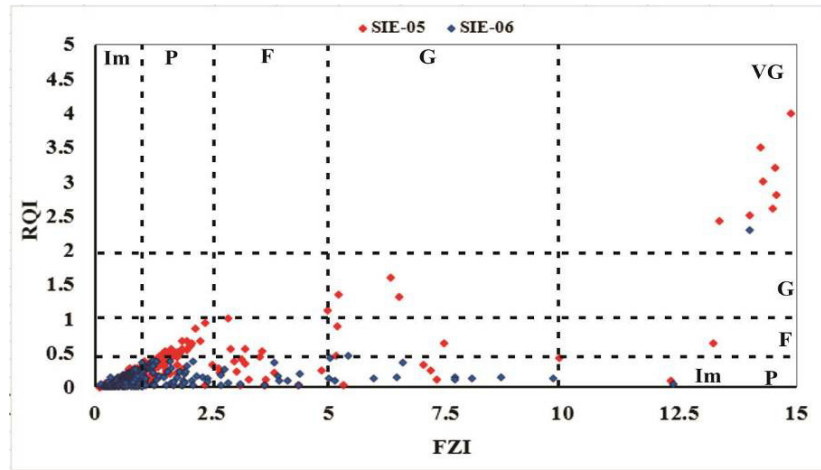
برابر شاخص *RQI* پلات شده است و همانطور که مشخص است شرایط مخزنی بسیار متغیر است هرچند در مجموع سازند میشریف در چاه *SIE-5* توان مخزنی بالاتری دارد. در شکل ۱۶ شاخص *RQI* در برابر شاخص *FZI* پلات شده و مشخص شده است که مخزن میشریف در هر دو چاه در زون‌های متوسط و ضعیف قرار دارد هرچند نمونه‌های خیلی خوب و خوب نیز مشاهده می‌شود که نشان از شرایط پیچیده مخزنی این سازند کربناته دارد. بنابراین با مقایسه جدول‌های ۴ و ۵ مخزن به بخش‌های مختلفی از ناتراوا تا خوب تفکیک می‌شود. به منظور بررسی بهتر وضعیت مخزنی کلاس‌بندی بر مبنای تخلخل، تراوایی، شاخص کیفیت مخزن، شاخص زون جریان و توان مخزنی برای هر کمر بند رخساره‌ای محاسبه و در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که پهنه جزر و مدی در چاه *SIE-5* وضعیت

جدول ۴. کلاس‌بندی توان مخزنی استاندارد (نباوی و ال - ازازی، ۲۰۱۵؛ نباوی و همکاران، ۲۰۱۸)

رتبه	<i>RPI</i>	رتبه	<i>FZI</i>	رتبه	<i>RQI</i>	رتبه	تراوایی	رتبه	تخلخل
0	ناتراوا	0	$0 < FZI \leq 1$	0	$0 < RQI \leq 0.25$	0	$0.01 < K \leq 1$	0	$0 < \phi \leq 5$
1	ضعیف	1	$1 < FZI \leq 2.5$	1	$0.25 < RQI \leq 0.5$	1	$1 < K \leq 10$	1	$5 < \phi \leq 10$
2	متوسط	2	$2.5 < FZI \leq 5$	2	$0.5 < RQI \leq 1$	2	$10 < K \leq 100$	2	$10 < \phi \leq 15$
3	خوب	3	$5 < FZI \leq 10$	3	$1 < RQI \leq 2$	3	$100 < K \leq 1000$	3	$15 < \phi \leq 20$
4	خیلی خوب	4	$10 < FZI \leq 15$	4	$2 < RQI \leq 5$	4	$1000 < K \leq 10000$	4	$20 < \phi \leq 25$
5	عالی	5	$15 < FZI$	5	$5 < RQI$	5	$10000 < K$	5	$25 < \phi$



شکل ۱۵. نمودار تراوایی - شاخص کیفیت مخزن، سازند میشریف در چاه *SIE-5* و *SIE-6* بر مبنای کلاس‌بندی (نباوی و ال - ازازی، ۲۰۱۵؛ نباوی و همکاران، ۲۰۱۸) (*Im*: ناتراوا، *P*: ضعیف، *F*: متوسط، *G*: خوب، *VG*: خیلی خوب، *EX*: عالی)



شکل ۱۶. نمودار $FZI-RQI$ سازند میشریف در چاه $SIE-5$ و $SIE-6$ بر مبنای کلاس‌بندی (نباوی و ال-ازازی، ۲۰۱۵؛ نباوی و همکاران، ۲۰۱۸) (Im : ناتراوا، P : ضعیف، F : متوسط، G : خوب، VG : خیلی خوب، EX : عالی)

جدول ۵. کلاس‌بندی توان مخزنی سازند میشریف در دو چاه $SIE-5$ و $SIE-6$ بر مبنای کلاس‌بندی (نباوی و ال-ازازی، ۲۰۱۵؛ نباوی و همکاران، ۲۰۱۸)

WELL		RQI	FZI	RQI _{RANK}	FZI _{RANK}	RPI _{RANK}	ϕ	(RANK) ϕ	K	K _{RANK}
SIE-5	کمینه	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۰۵ (ناتراوا)	۰/۱	۰	۰/۰۱	۰
	میانگین	۰/۲۷	۱/۹	۱	۱	۱/۱۸ (متوسط)	۱۵/۵	۳	۲۵/۵۶	۲
	بیشینه	۲/۴۳	۱۵	۴	۴	۹ (عالی)	۲۸/۷	۵	۹۲۵	۳
SIE-6	کمینه	۰/۰۱۱	۱/۶۳	۰	۱	۰/۰۷ (ناتراوا)	۰/۴	۰	۰/۰۱	۰
	میانگین	۰/۴۳	۱/۱	۱	۱	۱/۲ (ضعیف)	۱۱/۲۶	۲	۴/۵۷	۱
	بیشینه	۱	۲۲	۲	۵	۱۱ (عالی)	۲۹/۵	۵	۳۷	۲

جدول ۶. میانگین پارامترهای مخزنی کمربندهای رخساره‌ای در چاه $SIE-5$ و $SIE-6$.

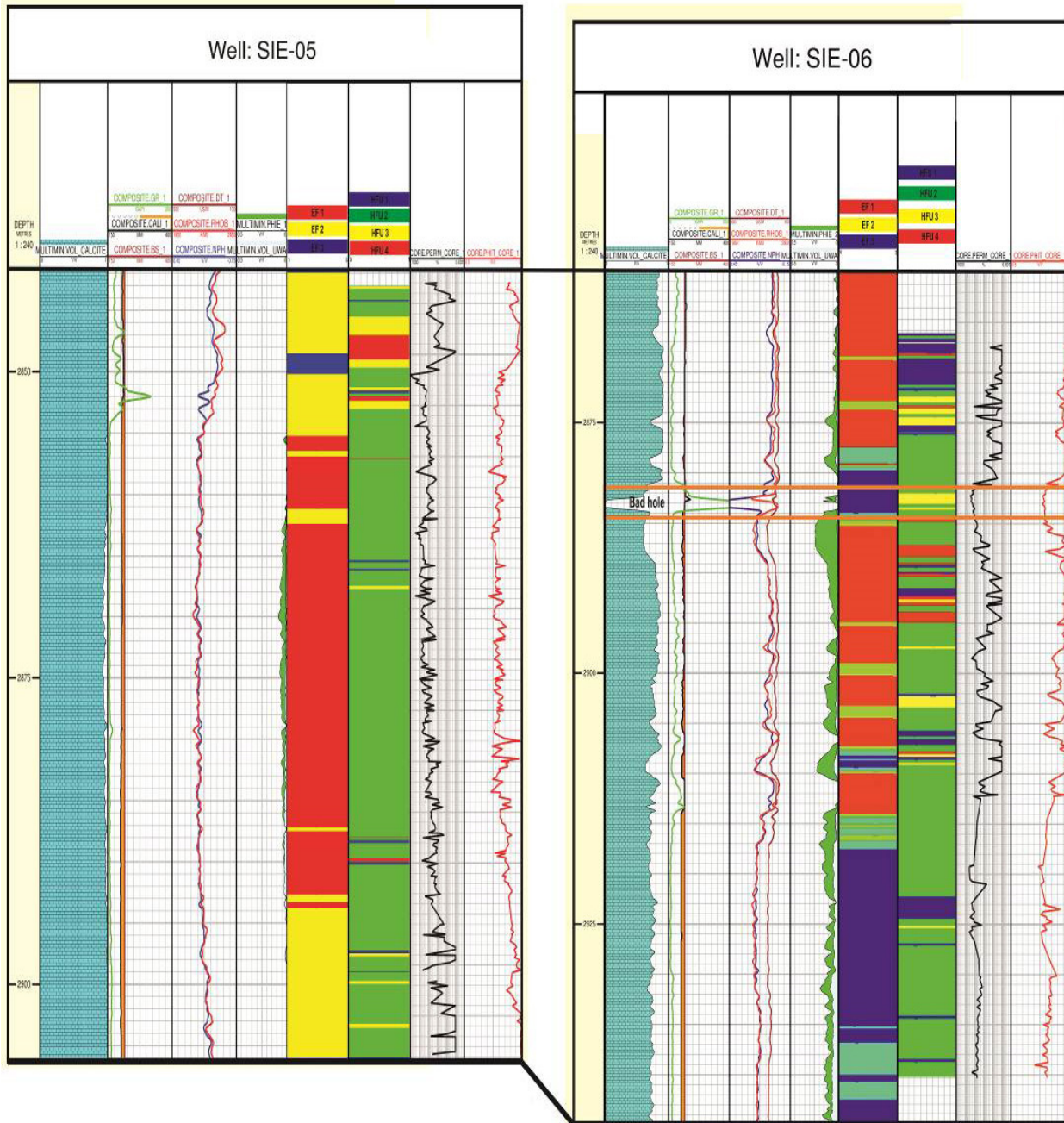
کمر بند رخساره‌ای	چاه	تخلخل	تراوایی	RQI	FZI
پهنه کشندی	SIE-5	۹/۴	۱۰/۴	۰/۲۳	۴/۹۴
	SIE-6	۱/۶	۰/۰۴۸	۰/۰۴	۳/۰۲
لاگون	SIE-5	۱۴/۳۵	۱۶/۱۴	۰/۲۵	۳/۱۶
	SIE-6	۱۰/۲۵	۴/۷	۰/۱۴	۲/۰۶
پشته کرناته	SIE-5	۲۰	۲۷	۰/۳۱	۶/۵
	SIE-6	۹	۴/۸	۰/۱۱	۱/۳
دریای باز	SIE-5	۲/۸	۰/۷	۰/۱	۱
	SIE-6	-	-	-	-
رмп میانی	SIE-5	۱۸/۲	۱۲۴	۰/۵۶	۶
	SIE-6	۱۶/۷	۴/۲۳	۰/۱۵	۳/۰۱

لاگ‌های پتروفیزیکی انجام شود. تصحیحات محیطی بر روی لاگ گاما از نظر چگالی و قطر چاه با کمک چارت $GR-1$ (شلمبرژر، ۲۰۰۰) انجام گرفت هم‌چنین بر روی لاگ چگالی با استفاده از چارت $Por-15a$ (شلمبرژر، ۲۰۰۰) انجام گرفت. اکثر تصحیحات مربوط به SNP شامل شوری سازند و گل، چگالی گل، قطر چاه و دما، به صورت خودکار انجام می‌شوند. با این حال تصحیح سله گل با استفاده از چارت $Por-15a$ صورت گرفت.

در انتها به منظور ارائه دید کلی نسبت به روند قائم و افقی تغییرات رخساره‌های الکتریکی، واحدهای جریانی و زون‌های مخزنی سازند میشریف توالی دو چاه رسم و تطابق داده شد (شکل ۱۷). وجود چند عامل باعث پیچیدگی ارتباط لاگ و پارامترهای پتروفیزیکی می‌شود که از آن جمله می‌توان به عوامل زمین‌شناسی، عوامل محیطی و عوامل ناشی از ابزار لاگ اشاره کرد از این‌رو قبل از مدل‌سازی تصحیحات محیطی باید بر روی

مجموع واحدهای جریان‌ی و رخساره‌های الکتریکی تطابق قابل قبولی نشان می‌دهند هر چند تاثیر متفاوت فرآیندهای دیاژنزی اثرات پیچیده‌ای روی رخساره‌های رسوبی و پارامترهای مخزنی آن‌ها گذاشته و باعث شده است که رخساره‌های الکتریکی در کنار واحدهای جریان‌ی از توانایی تفکیک بیش‌تری در تشخیص زون‌های مخزنی برخوردار باشند.

پارامترهای عدم قطعیت لاگ (*Uncertainty*) و مشخصات پتروفیزیکی مدل نیز در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تقریباً رخساره الکتریکی *EF1* معادل واحد جریان‌ی *HFU2*، *HFU3* و *EF3* نیز با *HFU1* معادل است. هم‌چنین بررسی جانبی رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریان‌ی نشان می‌دهد که وضعیت مخزنی *SIE-5* نسبت به چاه *SIE-6* بهتر می‌باشد. در



شکل ۱۷. توزیع واحدهای جریان‌ی و رخساره‌های الکتریکی در توالی مخزن میشریف در دو چاه میدان نفتی اسفند

جدول ۷. شاخص‌های عدم قطعیت و ویژگی‌های پتروفیزیکی مدل

لاگ	واحد	عدم قطعیت	روش
<i>RHO COR</i>	<i>G/C3</i>	0.0264	<i>LINERA</i>
<i>TNPH COR</i>	<i>V/V</i>	0.014	<i>LINERA MATRIX</i>
<i>DT</i>	<i>US/F</i>	1.951	<i>WYLLIE LINEAR</i>
<i>GR COR</i>	<i>GAPI</i>	6	<i>LINERA</i>
<i>CT</i>	<i>MH/M</i>	0.07755	<i>INDONESIA NONLINERA</i>
<i>CXO</i>	<i>MH/M</i>	0.1492	<i>INDONESIA NONLINERA</i>

نتیجه‌گیری

سازند میشریف (کرتاسه میانی) یکی از مهم‌ترین مخازن میدان نفتی سیری *E* می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از لاگ‌های *GR*، *NPHI*، *DT*، *RHOB* و به روش خوشه‌بندی *MRGC* رخساره‌های الکتریکی مخزن مشخص گردید. رخساره *EF1* بهترین رخساره الکتریکی است و عمدتاً توالی بالا و میانه میشریف را شامل می‌شود و رخساره *EF3* ضعیف‌ترین رخساره الکتریکی بخش انتهایی توالی میشریف را شامل می‌شود. مقایسه ریزرخساره‌های رسوبی و رخساره‌های الکتریکی نشان داد که عمده نهشته‌های *EF1* متعلق به زیرمحیط پشته کربناته و عمده نهشته‌های *EF3* متعلق به زیرمحیط لاگون و دریای باز می‌باشند. بر مبنای داده‌های تخلخل و تراوایی شاخص زون جریان محاسبه گردید و با کمک $\log FZI$ ۴ واحد جریان در مخزن میشریف مشخص گردید. واحد *HFU1* ضعیف‌ترین وضعیت مخزنی و عمدتاً در زیرمحیط پشته کربناته، لاگون و پهنه جزرومدی نهشته شده و واحد *HFU4* که دارای بهترین وضعیت مخزنی است در زیرمحیط‌های لاگون، پشته کربناته و رمپ میانی نهشته شده است. همچنین رخساره الکتریکی *EF1* معادل واحد جریان *HFU2* و *HFU3* و *EF3* نیز با *HFU1* معادل است و از سوئی دیگر واحد جریان *HFU4* که دارای بهترین وضعیت مخزنی است معادل رخساره الکتریکی *EF1* و *EF2* می‌باشد. بررسی جانبی رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریان نشان می‌دهد که وضعیت مخزنی *SIE-5* نسبت به چاه *SIE-6* بهتر می‌باشد در یک برش قائم نیز قسمت ابتدایی و میانه توالی نسبت به قسمت‌های انتهایی مخزن از وضعیت مخزنی بهتری برخوردار می‌باشند. مطالعه توان مخزنی سازند میشریف بر مبنای شاخص *RPI* نیز نشان از وضعیت پیچیده مخزنی سازند داشت هر چند به طور میانگین این مخزن در دو چاه مورد مطالعه در کلاس متوسط و ضعیف قرار گرفت. شاخص‌های مخزنی محاسبه

شده برای کمربندهای رخساره‌ای نتایج واحدهای جریان و رخساره‌های الکتریکی را تایید می‌کند. به نظر می‌رسد در مخزن سروک واحدهای جریان و رخساره‌های الکتریکی تطابق قابل قبولی نشان می‌دهند هر چند تاثیر متفاوت فرآیندهای دپازیتی اثرات پیچیده‌ای روی رخساره‌های رسوبی و پارامترهای مخزنی آن‌ها گذاشته و باعث شده است که رخساره‌های الکتریکی در مقایسه با واحدهای جریان از توانایی تفکیک کمتری در تشخیص زون‌های مخزنی برخوردار باشند و واحدهای جریان قدرت تفکیک دقیق‌تر و بهتری را از خود نشان می‌دهند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از اداره پژوهش شرکت نفت فلات قاره به واسطه حمایت‌های مادی و معنوی تشکر و قدردانی به عمل آورند.

منابع

- اسعدی، ع.، هنرمند، ج.، معلمی، ع.، و عبداللهی‌فرد، ا. (۱۳۹۵) تعیین واحدهای جریان در بخش مخزنی سازند سروک، مطالعه موردی در یکی از میداین هیدروکربنی جنوب غرب ایران. مجله پژوهش نفت، شماره ۹۱، سال بیست و ششم، ص ۶۶-۸۲.
- اقبال کیانی، ا.، گلی، ط.، جلیلیان، ع. ح.، و کدخدایی، ر. (۱۳۹۵) تجزیه و تحلیل رخساره‌های الکتریکی سازند سروک (کرتاسه میانی) با روش *MRGC* و مطابقت با ریزرخساره‌های رسوبی در یکی از میداین جنوب‌غربی ایران، مجله زمین‌شناسی نفت ایران، شماره ۱۱، سال ششم، ص ۲۱-۱.
- جدیری‌آقایی، ر.، رحیم‌پورناب، ح.، توکلی، و.، کدخدایی ایلخچی، ر.، و یوسف‌پور، م. (۱۳۹۶) بررسی واحدهای جریان و رخساره‌های الکتریکی در سازند میشریف (بخش بالایی سازند سروک) و برآورد ستبرای زون مخزنی در میدان نفتی سیری (خلیج‌فارس). مجله رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۹، ص ۹۸-۸۶.

- units-theory and applications. *SPE Formation Evaluation*, 11(4): 263-271.
- Abed, A. A (2014) *Hydraulic flow units and permeability prediction in a carbonate reservoir, Southern Iraq from well log data using non-parametric correlation. International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 3(1): 480-486.
- Ahr, W, M (2011) *Geology of carbonate reservoirs: the identification, description and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks*, John Wiley and Sons, 296p.
- Al-Dhafeeri, A. M., Nasr-El-Din, H. A (2007) *Characteristics of high-permeability zones using core analysis, and production logging data. Journal of Petroleum Science and Engineering*, 55(1-2): 18-36.
- Alsharhan, A. S., Kendall, CG. St. C (1991) *Cretaceous chronostratigraphy, unconformities and eustatic sea level changes in the sediments of Abu Dhabi, United Arab Emirates. Cretaceous Research*, 12(4): 379-401.
- Bagheri, M., Riahi, M. A., Hashemi, H (2013) *Reservoir lithofacies analysis using 3D seismic in dissimilarity space. Journal of Geophysics and Engineering*, 10(3): 9pp.
- Bagheri, M., Riahi, M. A (2015) *Seismic facies analysis from well logs based on supervised classification scheme with diferent machine learning techniques. Arabian Journal of Geosciences*, 8(9): 7153-7161.
- Bagheri, M., Rezaei, H (2019) *Reservoir rock permeability prediction using SVR based on radial basis function kernel. Carbonates and Evaporites*, 34(3): 699-707.
- Beiranvand, B., Ahmadi, A., Sharafodin, M (2007) *Mapping and classifying flow units in the upper part of the Mid-Cretaceous Sarvak Formation (Western Dezful embayment, Southwest Iran), based on a determination of reservoir Rock Type. Journal of Petroleum Geology*, 30(4): 357-373.
- Belhouchet, H. E., Benzagouta, M. E (2019) *Rock Typing: Reservoir Permeability Calculation Using Discrete Rock Typing Methods (DRT): Case Study from the Algerian BH Oil Field Reservoir. Advances in Petroleum Engineering and Petroleum Geochemistry*, Springer, Cham, 9-12 pp.
- Corbett, P. W. M., Potter, D. K (2004) *Petrotyping: A base map and atlas for navigating through permeability and porosity data for reservoir comparison and permeability prediction. In International Symposium of the Society of Core Analysts*, 5(9): 1-12.
- جمشیدی، م.، گلی، ط.، جلیلیان، ع. ح.، ارزانی، ن.، و ارشد، ع (۱۳۹۵) بررسی رخساره‌های رسوبی و الکتریکی مخزن بنگستان با بهره‌گیری از روش MRGC در میدان نفتی قلعه‌نار، جنوب‌باختری ایران، مجله رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۸، ص ۴۲-۵۵.
- جویباری، ا.، رضائی، پ (۱۳۹۶) شناسایی و تفسیر رخساره‌های الکتریکی با استفاده از آنالیز خوشه‌ای و مقایسه آن با داده‌های پتروگرافی برای ارزیابی کیفیت مخزنی سازند سروک در یکی از میادین جنوب‌غرب ایران. سومین همایش انجمن رسوب‌شناسی ایران، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران.
- حسینی، ک (۱۳۹۸) ارزیابی کیفیت مخزنی سازند میشریف با استفاده از داده‌های گل‌نگاری و انطباق آن با داده‌های ژئوشیمی، پتروگرافی و پتروفیزیک در میدان نفتی اسفند، خلیج فارس. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه هرمزگان، ۲۰۳ ص.
- حسینی، ک.، رضائی، پ.، کاظم شیروودی، س.، و معینی، م (۱۳۹۸) بررسی ارتباط ریزرخساره‌ها، محیط‌رسوبی، دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند میشریف (سنومانین آغازین-تورونین) در میدان نفتی اسفند (سیری E)، شمال خاوری خلیج فارس، مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۲، سال سی و پنجم، ص ۱۳۴-۱۰۹.
- سلیمانی، ب.، مرادی، م.، غبیشاوی، ع (۱۳۹۵) بررسی کیفیت مخزن بنگستان با استفاده از رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریان‌ی در میدان منصوری، جنوب‌غرب ایران، نشریه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۴، سال ششم، ص ۳۴-۲۲.
- گزارش شرکت نفت فلات قاره (۲۰۰۷) گزارش مربوط به برداشت داده‌های دو بعدی لرزه‌ای در خلیج فارس.
- کدخدائی‌ایلخچی، ر.، رضایی، م. ر.، موسوی‌حرمی، ر.، کدخدائی‌ایلخچی، ع (۱۳۹۳) بررسی رخساره‌های الکتریکی مخزنی در قالب واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی در میدان ویچررنج مربوط به حوضه پرت واقع در استرالیای غربی. مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۱، سال سی‌ام، ص ۲۲-۱.
- محسنی‌پور، ا.، ابهرک‌پور، ا.، نیکخواه، ق.، سلیمانی، ب (۱۳۹۵) تجزیه و تحلیل گونه‌های سنگی الکتریکی مخزن بنگستان (کرتاسه) در میدان نفتی مارون (خاور اهواز). مجله زمین‌شناسی نفت ایران، شماره ۱۲، سال ششم، ص ۴۵-۵۹.
- Abbaszadeh, M., Fujii, H., Fujimoto, F (1996) *Permeability prediction by hydraulic flow*

- SIGMIS Database: the DATABASE for Advances in Information Systems*, 32(3): 86-112.
- Nabawy, B. S., Kassab, M. A (2014) Porosity-reducing and porosity-enhancing diagenetic factors for some carbonate microfacies: a guide for petrophysical facies discrimination. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(11): 4523-4539.
- Nabawy, B. S., Al-Azazi, N. A. S. A (2015) Reservoir zonation and discrimination using the routine core analyses data: the Upper Jurassic Sab'atayn sandstones as a case study, Sab'atayn basin, Yemen. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(8): 5511-5530.
- Nabawy, B. S., Barakat, M. K. h (2017) Formation Evaluation using conventional and special core analyses: Belayim Formation as a case study, Gulf of Suez, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(25): 1-23.
- Nabawy, B. S., Basal, A. M. K., Sarhan, M. A., Safa, M. G (2018) Reservoir zonation, rock typing and compartmentalization of the Tortonian-Serravallian sequence, Temsah Gas Field, offshore Nile Delta, Egypt. *Marine and Petroleum Geology*, 92: 609-631.
- Omidvar, M., Mehrabi, H., Sajjadi, F (2014) Depositional Environment and Biostratigraphy of the Upper Sarvak Formation in Ahwaz Oilfield (Well No. 63). *Sedimentary Facies*, 7(2): 158-177.
- Perez, H. H., Datta-gupta, A., Mishra, S (2005) The role of electrofacies, lithofacies and hydraulic flow units in permeability prediction from well logs: A comparative analysis using classification trees. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, 8: 143-155.
- Rabbani, A. R (2007) Petroleum Geochemistry, Offshore SE Iran. *Geochemistry International*, 45: 1164-1172.
- Rebelle, M., Umbhauer, F., Poli, E (2009) Pore to Grid Carbonate Rock-Typing. *International Petroleum Technology Conference, International Petroleum Technology Conference*.
- Riazi, Z (2018) Application of integrated rock typing and flow units identification methods for an Iranian carbonate reservoir. *Journal of petroleum science and engineering*, 160: 483-497.
- Serra, O (1988), *Fundamentals of well-log interpretation: the acquisition of logging data*, Chapter 1, Elsevier, Amsterdam: 1-24p.
- Shahverdi, N., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M (2015) Sedimentary Environment, Diagenesis, and Reservoir Quality of Sarvak Formation (Upper Part) in Siri (E) Oilfields. *Journal of Petroleum Research*, 25(84): 99-114.
- Shahverdi, N., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M., Esrafil-Dizagi, B (2016) Sedimentary
- Davis, J, C (2018) *Electrofacies in reservoir characterization*, In *Handbook of Mathematical Geosciences*. Springer, Cham: 211-223.
- Doveton, J, H (2014), *Principles of mathematical petrophysics*, Oxford University Press, 169p.
- El Sharawy, M. S., Nabawy, B. S (2016a) Geological and petrophysical characterization of the lower Senonian Matulla formation in Southern and Central Gulf of Suez, Egypt. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(1): 281-300.
- El Sharawy, M. S., Nabawy, B. S (2016b) Determination of electrofacies using wireline logs based on multivariate statistical analysis for the Kareem Formation, Gulf of Suez, Egypt. *Environmental Earth Sciences*, 75(21): 1394.
- El Sharawy, M. S., Nabawy, B. S (2019) Integration of electrofacies and hydraulic flow units to delineate reservoir quality in uncored reservoirs: A case study, Nubia Sandstone Reservoir, Gulf of Suez, Egypt. *Natural Resources Research*, 28(4): 1587-1608.
- Farzadi, P (2006a) The development of Middle Cretaceous carbonate platforms, Persian Gulf, Iran: Constraints from seismic stratigraphy, well and biostratigraphy. *Petroleum Geoscience*, 12(1): 59-68.
- Ghazban, F (2007), *Petroleum Geology of the Persian Gulf*, Joint publication, 707p.
- Guo, G., Diaz, M. A., Paz, F. J., Smalley, J., Waninger, E. A (2007) Rock typing as an effective tool for permeability and water-saturation modeling: A case study in a clastic reservoir in the Oriente basin. *Society of Petroleum Engineers Reservoir Evaluation & Engineering*, 10(6): 730-739.
- Holland, J. H (2006) Studying complex adaptive systems. *Journal of systems science and complexity*, 19(1): 1-8.
- Hollis, C., Vahrenkamp, V., Tull, S., Mookerjee, A., Taberner, C., Huang, Y (2010) Pore system characterization in heterogeneous carbonates: an alternative approach to widely-used rock-typing methodologies. *Marine Petroleum Geology*, 17(3): 272-293.
- Khanjani, M., Moussavi-Harami, S., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M (2015) Sedimentary Environment, Diagenesis and Sequence Stratigraphy of Upper Sarvak Formation (Mishrif Equivalent) in Siri Oil Fields. *Journal of Geoscience*, 24(94): 263-274.
- Lee, S. H., Kharghoria, A., Datta-Gupta, A (2002) Electrofacies Characterization and Permeability Predictions in Complex Reservoirs. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, 5(3): 237-248.
- Mathieson, K., Peacock, E., Chin, W. W (2001) Extending the technology acceptance model: the influence of perceived user resources. *ACM*

- environment, diagenesis and reservoir quality of Upper Sarvak Formation in the Persian Gulf. Journal of Geoscience, 25(98): 55-66.*
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Horbury A. D., Simmons, M. D (2001) *Arabian plate sequence stratigraphy. Geo-Arabia Special Publication, 2: 371.*
- Schlumberger (2000), *Charts, Log Interpretation. Schlumberger Oilfield Communications.*
- Soleimani, B., Moradi, M., Ghabeishavi, A (2018) *stoneley wave predicted permeability and electrofacies correlation in the bangestan reservoir, Mansouri oilfield, SW Iran, Geofísica internacional, 57(2): 107-120.*
- Stinco, L. P (2006) *Core and log data integration; the key for determining electrofacies. SPWLA 47th annual logging symposium. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts.*
- Teh, W. J., Willhite, G. P., Doveton, J. H (2012) *Improved reservoir characterization using petrophysical classifiers within electrofacies, SPE Improved Oil Recovery Symposium. Society of Petroleum Engineers.*
- Tiab, D., and Donaldson, E, C (1996) *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties, Gulf professional publishing.*
- Villmann, T., Merenyi, E., Hammer, B (2003) *Neural maps in remote sensing image analysis: Neural Networks, 16: 389-403.*