بررسی رخساره‌های رسوبی و الکتریکی مخزن بنگستان با بهره‌گیری از روش MRGC در میدان نفتی قلعه نار، جنوب باختری ایران

مریم جمشیدی[1]*، طاهرگلی[2]، علی‌حسین جلیلیان[3]، ناصر ارزانی[4] و عبدالوهاب ارشد[5]

۱، ۳ و ۴ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

۲ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۵ کارشناس ارشد زمین‌شناسی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب

نویسنده مسئول: Jamshidi-f68@yahoo.com

دریافت: ۹۵/۷/۲۰ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۰

چکیده

بررسی رخساره‌های الکتریکی یکی از روش‌های سودمند در واکاوی پتروفیزیکی چاه‌های بدون داده‌های واقعی زمین‌شناسی است که می‌تواند برای شناسایی ویژگی‌های مخزنی بهره‌برداری شود. برای شناسایی رخساره‌های رسوبی و الکتریکی گروه بنگستان در میدان نفتی قلعه نار جنبه‌های گوناگون پتروگرافی ۱۰۶۵ بُرش نازک و نمودارهای مختلف ژئوفیزیکی این گروه در سه بُرش زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که این مجموعه رسوبی از ۷ ریزرخساره شامل وکستون–پکستون آلیگوستژینا اسپیکول اسفنج‌دار، وکستون–پکستون بایوکلاست‌دار، وکستون پکستون رودیستی بنتیک فرامینفردار، گرینستون–پکستون پلوئیدی بایوکلاست‌دار، وکستون پکستون پلوئید میکروبایوکلاست‌دار، وکستون–پکستون پلاژیک فرامینفردار و وکستون پکستون آلیگوستژین‌دار ساخته شده است. با بارگذاری داده‌های پتروفیزیکی از جمله نمودارهای نوترون، صوتی، گاما و مقاومت در نرم‌افزار ژئولاگ پارامترهای سنگ‌شناسی غالب، درصد تخلخل و ریزرخساره‌های با کیفیت در مخزن بنگستان شناسایی شد. نتایج این ارزیابی و استفاده از نمودارهای دوتایی نشان داد سنگ‌شناسی چیره توالی رسوبی مورد بررسی به ترتیب فراوانی شامل سنگ آهک، دولومیت و سنگ آهک دارای مقادیر جزیی دولومیت است. هم‌چنین، شناخته شد که چاه شماره ۳ میدان قلعه نار دارای بیش‌ترین تخلخل (۱۸ درصد)، قلعه نار ۲ حدود ۱۰ درصد و چاه شماره ۴ از کمترین تخلخل (۶ درصد) برخوردار است. بر پایه بررسی نمودارهای الکتریکی و با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC ریزرخساره‌های رسوبی منطبق با رخساره‌های الکتریکی با کیفیت مخزنی خوب شناسایی شد. این ریزرخساره‌ها به ترتیب در سازندهای سروک و ایلام شامل گرینستون پکستون پلوئیدی بایوکلاست‌دار و وکستون پکستون آلیگوستژینا اسپیکول اسفنج‌دار هستند.

واژه‌های کلیدی: رخساره رسوبی، رخساره الکتریکی، گروه بنگستان، میدان نفتی قلعه نار، روش MRGC

مقدمه

گروه بنگستان (کرتاسه بالایی) از یک توالی رسوبی ستبر و بیشتر کربناته ساخته شده است و دومین مخزن هیدروکربنی مهم حوضه زاگرس را در خود جای داده است: به گونه‌ای که نزدیک ۲۳ درصد از کل مخازن شناخته شده زاگرس در این گروه قراردارد [۱۵]. نخستین بار جیمز و واینِد [۲۶] گروه بنگستان را شامل سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام معرفی کردند. امروزه کوشش می‌شود تا سازند کژدمی از گروه بنگستان حذف شود، حضور سازند سورگاه نیز همیشگی نیست [۱]. گروه بنگستان در ناحیه مورد بررسی از سازندهای ایلام (در بالا) و سروک (در زیر) تشکیل شده است که بیشتر از جنس سنگ‌های کربناته است. سنگ‌های کربناته، بیش‌ترین گسترش جغرافیایی مخازن کرتاسه را در خاورمیانه و ایران دارا هستند [۲۰]. سازند ایلام با رخساره‌های پلاژیک، سن سانتونین تا اوایل کامپانین دارد [۱۰]. هم‌چنین، سازند سروک دارای دو رخساره دریایی کم ژرفا و ژرف می‌باشد که در زمان سنومانین–تورونین ساخته شده است [۲۶].

هدف اصلی این مقاله شناسایی رخساره‌های الکتریکی با کیفیت و معرفی ریزرخساره‌های رسوبی منطبق با آن‌ها در بخش مخزنی میدان نفتی قلعه نار در شمال فروافتادگی دزفول می‌باشد. به دلیل در دسترس نبودن مغزه برای تمام چاه‌های یک میدان، امروزه بررسی داده‌های زیرسطحی مانند نمودارهای الکتریکی و

شناسایی رخساره‌های الکتریکی و تلفیق این داده‌ها با داده‌های زمین‌شناسی به یکی از کاربردی‌ترین بررسی‌های یک مخزن تبدیل شده است. با ایجاد روش های مطالعاتی زیرسطحی مانند استفاده از نمودارهای الکتریکی، خساره‌هایی تعریف شدند که پایه آن‌ها دیگر ویژگی های مستقیم به‌دست آمده از سنگ‌ها نبود و این رخساره‌ها را زیر عنوان رخساره‌های الکتریکی، معرفی کردند [۳۵]. واژه رخساره‌های الکتریکی نخستین بار توسط سرا و ابوت معرفی و به صورت مجموعه‌ای از پاسخ لاگ‌ها[1] که یک لایه را مشخص می‌کند و شناسایی آن لایه را از دیگر لایه‌ها ممکن می‌سازد، تعریف شد [۳۶]. رخساره‌های الکتریکی در اصل یک روش قطعی یا تحلیلی برای دسته‌بندی چاه‌نگارهای (پتروفیزیکی) است که می‌تواند نشان‌دهنده تغییر ویژگی‌های زمین‌شناسی یا مخزنی باشد [۴]. برای شناسایی رخساره‌های الکتریکی روش‌های متنوعی وجود دارد: از این میان خوشه‌بندی[2] رایج‌ترین و دقیق‌ترین روش است.

برای خوشه‌بندی، روش‌های گوناگونی وجود دارد که با توجه به نوع داده‌های موجود مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. از جمله این روش‌ها می‌توان به خوشه‌بندی سلسله مراتبی[3] (HCA)، فازی، میانگین[4] (K)، چند تفکیکی گرافیکی[5] (MRGC) و خود سازمانده کوهن[6] (SOM) اشاره کرد [۲۷ و ۲۸]. روش MRGC که در این بررسی استفاده شده است توسط یی و رابیلر معرفی گردیده [۹]. و بر پایه شناخت الگوی نقطه‌ای چند بعدی مبتنی بر اصل غیر پارامتری (شاخص همسایگی) استوار است [۲۸]. در سال‌های اخیر زمین‌شناسان کوشش بسیاری کرده‌اند تا با ایجاد همبستگی منطقی میان رخساره‌های رسوبی و داده‌های پتروفیزیکی، با عنوان واکاوی رخساره‌های الکتریکی، ویژگی‌های مخزنی را به بهترین شکل توصیف کنند [۳].

جایگاه جغرافیایی میدان نفتی قلعه نار

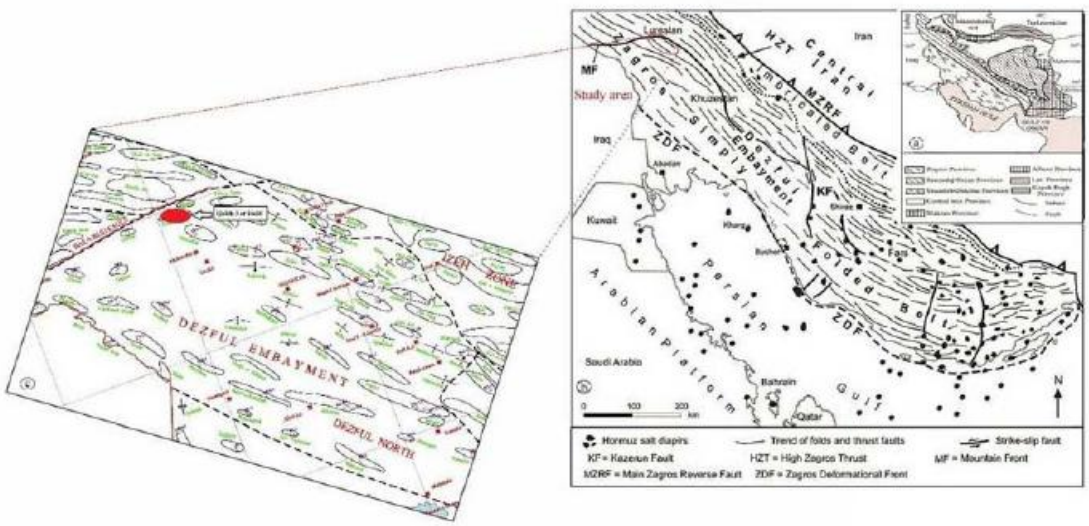
میدان نفتی قلعه نار یکی از میدان های نفتی حوضه زاگرس در جنوب باختری ایران می‌باشد که در استان خوزستان و ۳۵ کیلومتری شمال باختری شهرستان دزفول واقع است. این میدان در ناحیه گسل‌خورده و پایین افتاده حاشیه شمالی فروافتادگی دزفول و در کنار خمش بالارود قرار دارد. منطقه فروافتادگی دزفول از دیدگاه زمین‌شناسی نفت دارای اهمیت بسیاری است، زیرا بخش مهمی از میدان های نفتی ایران در این ناحیه قرار گرفته‌اند [۱۰]. میدان نفتی قلعه‌نار از نوع میدان‌های چند مخزنی است که گروه بنگستان بخش مهمی از سنگ مخزن آن را تشکیل می‌دهد (شکل ۱).

روش بررسی

به منظور پتروگرافی دقیق مخزن بنگستان در میدان نفتی قلعه‌نار شمار ۱۰۵۹ بُرش نازک از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری به دست آمده از چاه‌های شماره ۲، ۳ و ۴ تهیه شد. این بُرش‌ها با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد بررسی قرار گرفتند. نام‌گذاری سنگ‌های کربناته و رده‌بندی ریزرخساره‌ها و نیز بررسی محیط با استفاده از اصول ارائه شده توسط دانهام [۱۹] و فلوگل [۲۱] انجام شد. در این مقاله ابتدا به بررسی ریزرخساره‌های رسوبی پرداخته شد. سپس با بهره‌گیری از نگاره‌های چاه پیمایی شامل RHOB, NPHI, PHIE, DT و به کارگیری نرم‌افزار پتروفیزیکی ژئولاگ[7]، با بارگذاری داده‌ها و تصحیح آن‌ها، سنگ‌شناسی و تخلخل درون چاه شناسایی شد. در ادامه برپایه روش خوشه‌بندی MRGC یک مدل ۶ رخساره‌ای برای مخزن بنگستان معرفی گردید. در این بررسی همه ارزیابی‌های پتروفیزیکی مانند بارگذاری داده‌های تخلخل و تراوایی حاصل از مغزه‌های حفاری، ترسیم نمودارهای الکتریکی شامل صوتی (DT)، چگالی (ROHB) و نوترون (NPHI) توسط نرم‌افزار ژئولاگ انجام گرفت. با بهره‌گیری از این نمودارها، رخساره‌های الکتریکی و در نهایت کیفیت مخزنی زون‌های هیدروکربوری گروه بنگستان در ناحیه مورد بررسی شناسایی شد. هم‌چنین با بهره‌گیری از نمودارهای دوتایی صوتی/نوترون، مقاومت/صوتی و مقاومت/نوترون و همبستگی آن‌ها با نمودارهای استاندارد شلمبرژه سنگ‌شناسی چیره در هر یک از چاه‌ها شناسایی گردید.

1 log
2 Clustering
3 Hierarchical Cluster Analysis
4 K-means clustering
5 Multi- Resolution Graph clustering
6 Kohonen Self-organizing Maps

3. Paradigm TM Geolog 6.7.1



شکل ۱. جایگاه زمین‌شناسی میدان نفتی قلعه نار. a) پخش‌های ساختمانی ایران (برگرفته از حیدری و همکاران [۲۳])، b) جایگاه منطقه مورد بررسی در فروافتادگی دزفول. c) جایگاه میدان نفتی قلعه نار در منطقه خمش بالارود (گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران با تغییرات، ۱۳۸۴)

ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی

بر پایه این بررسی شمار ۷ ریزرخساره رسوبی شناسایی شد که پنج ریزرخساره مربوط به سازند سروک و دو ریزرخساره مربوط به سازند ایلام می‌باشد. این ریزرخساره‌ها در زیرمحیط‌های تالاب و بخش‌های گوناگون دریای باز از پلاتفرم رمپ نهشته شده‌اند.

ریزرخساره‌های سازند سروک

بررسی‌های پتروگرافی سازند سروک در ناحیه مورد بررسی منجر به شناسایی ۵ ریزرخساره شد. این ریزرخساره‌ها در ۲ زیرمحیط تالاب و بخش‌های مختلف دریای باز تشکیل شده‌اند.

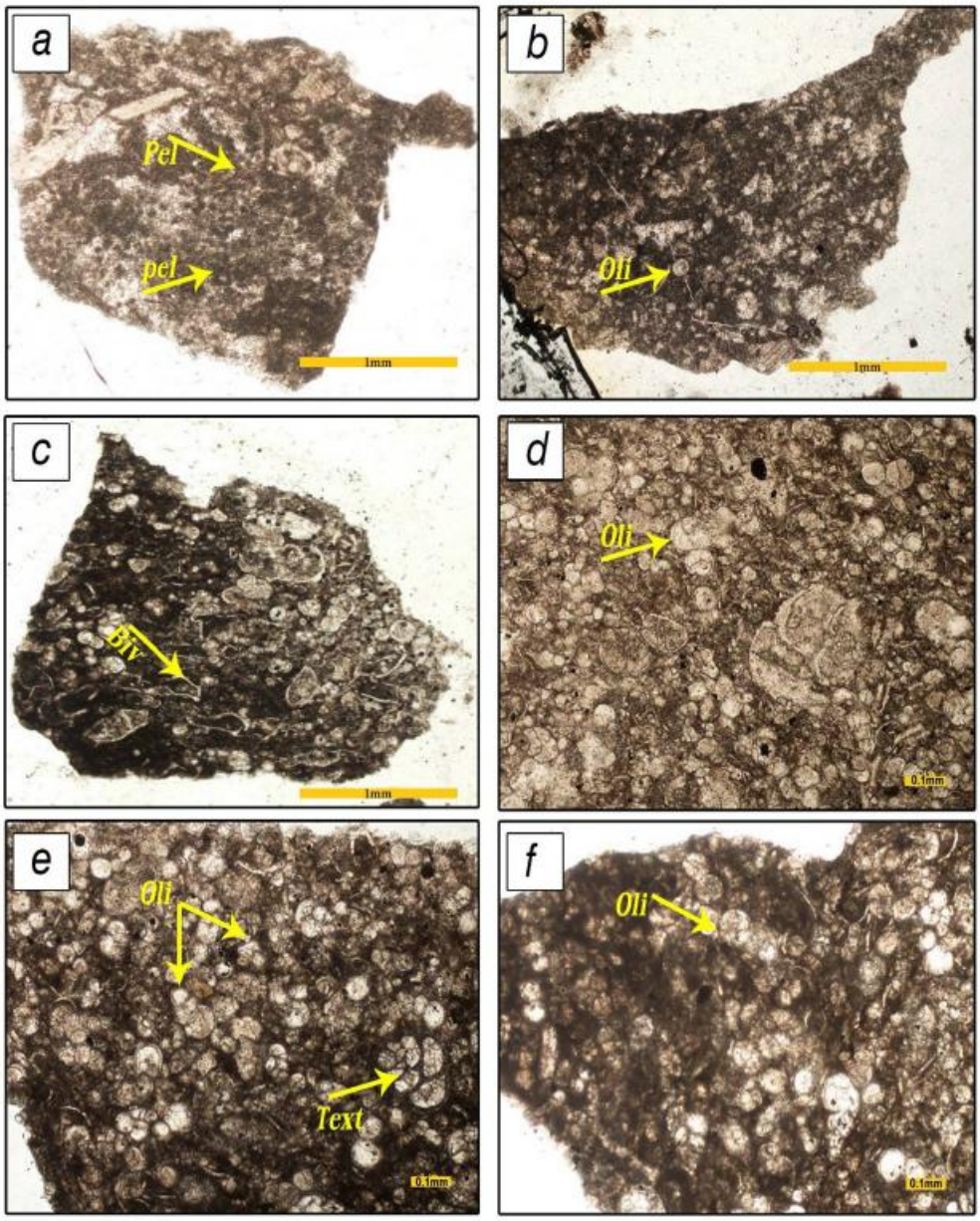
مجموعه ریزرخساره‌ای O (دریای باز)

SO1) وکستون-پکستون پلوئید میکروبایوکلاست-دار: این ریزرخساره دارای فابریک گل‌پشتیبان تا دانه‌پشتیبان می‌باشد. آلوکم‌های اصلی این ریزرخساره از پلوئیدهایی با اندازه‌های گوناگون و بایوکلاست‌ها ساخته شده است. بایوکلاست‌های این ریزرخساره دارای فسیل‌های پلاژیک خانواده الیگوستیژیند مانند کلسی‌اسفر و پیتونلا می‌باشد. از اجزاء فرعی آن می‌توان به فرامینفرهای بنتیک مانند نزازاتا، تکستولاریا، خرده‌های دوکفه‌ای و کرینوئید و سوزن‌های اسفنج در مقاطع مورد بررسی اشاره نمود. با توجه به فونای موجود، زمینه میکرایتی و فراوانی پلوئید، رسوب‌گذاری در زیر خط امواج نرمال و در زیرمحیط دریای باز در نظر گرفته شده است. این ریزرخساره هم‌ارز RMF5 فلوگل [۲۱] می‌باشد و در چاه شماره ۲ و ۳ قلعه‌نار دیده شد. همانند آن توسط رستمی [۵] و ناصری [۱۱] برای زیرمحیط دریای باز سازند سروک معرفی شد (شکل ۲: تصاویر a و b).

SO2) وکستون-پکستون پلاژیک فرامینفردار: اجزای اصلی این ریزرخساره شامل میکروارگانیسم‌های پلاژیک و عمدتاً از نوع کلسی‌اسفر و پیتونلا می‌باشند که به تعداد زیاد در زمینه‌ای از میکرایت پراکنده‌اند. دیگر جانداران پلاژیک همچون هدبرژلا، گلوبیژرینیده و روتالیپورا نیز به تعداد زیاد دیده شدند. حضور میکرایت زمینه و انرژی کم نشان‌دهنده رسوب‌گذاری زیر خط امواج نرمال (FWWB) می‌باشد [۱۹]. مقادیر زیاد فرامینفرهای پلاژیک نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در زیرمحیط دریای باز است. این ریزرخساره که هم‌ارز RMF5 فلوگل [۲۱] می‌باشد در چاه شماره ۴ قلعه نار مشاهد شد و همانند آن توسط علیزاده [۶] برای زیرمحیط دریای باز سازند سروک پیشنهاد شد (شکل ۲: تصاویر c و d).

SO3) وکستون-پکستون الیگوستژین‌دار: فراوان‌ترین دانه‌های اسکلتی این ریزرخساره الیگوستنجید (کلسی‌اسفر و پیتونلا) می‌باشند. سایر خرده‌های اسکلتی مانند خرده‌های ریز اکینوئید، سوزن اسفنج، استراکد، بایوکلاست نیز دیده شد. پلوئیدها نیز به مقدار کم در در

این رخساره دیده شد. اجزای یادشده در زمینه گل آهکی پراکنده می‌باشند. وجود فسیل‌های دریای باز مانند الیگوستجینید، هدبرژلا، اُستراکود و بعضاً سوزن اسفنج در زمینه گل آهکی نشان از نهشته شدن این ریزرخساره در بخش کم‌ژرفای دریای باز با انرژی کم و زیر خط امواج معمولی می‌باشد [۲۱، ۳۰، ۳۱ و ۴۳]. این ریزرخساره برابر RMF4 فلوگل [۲۱] می‌باشد که در چاه‌های شماره ۲ و۳ قلعه نار دیده شد و همانند آن توسط غبیشاوی [۷] و علیزاده [۶] برای زیرمحیط دریای بازسازند سروک پیشنهاد شد (شکل ۲: تصاویر e و f).

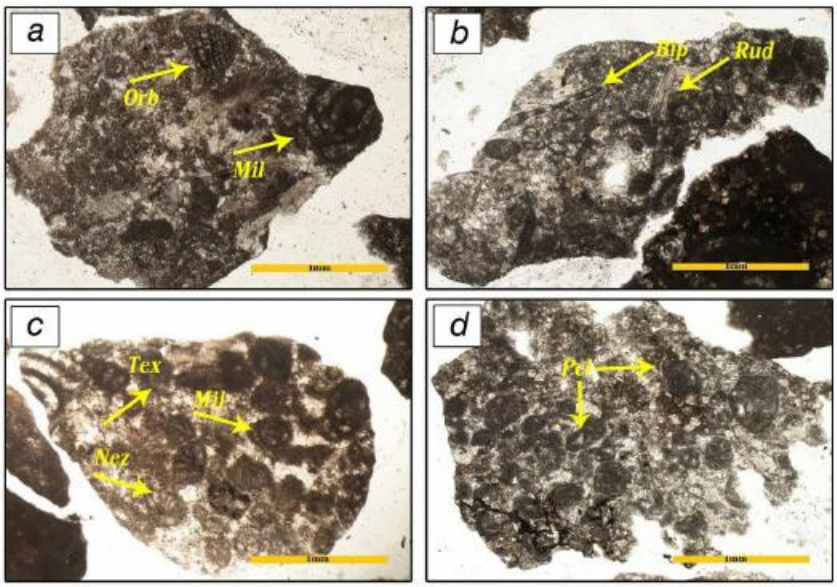


شکل۲ . تصاویر میکروسکوپی رخساره‌های رسوبی محیط دریای باز سازند سروک. a , b) وکستون-پکستون پلوئید میکروپایوکلاست دار (PPL) در ژرفای ۴۴۹۶ و ۴۵۱۰ متری چاه شماره ۴ میدان قلعه نار. d , c) وکستون-پکستون پلاژیک فرامینفردار (PPL) در ژرفای ۴۴۱۸و ۳۸۷۱ متری چاه شماره ۲ و ۳ میدان قلعه نار. e , f) وکستون-پکستون اُلیگوستژین‌دار. (PPL) در ژرفای ۴۵۰۸ متری چاه شماره ۳ قلعه نار

مجموعه ریزرخساره‌های L (تالاب)

SL1) وکستون-پکستون رودیستی بنتیک فرامینفردار: آلوکم‌های عمده سازنده این ریزرخساره خرده‌های رودیست (در اندازه‌های ریز و درشت) و به مقدار کمتر روزن‌داران بنتیک شامل جنس‌های مربوط به خانواده آلوئولینده، میلولید، نزازاتا، تکستولاریا و پنروپلیس در زمینه‌ای از میکرایت می‌باشند. از آلوکم‌های فرعی آن می‌توان به گاستروپودا، اینتراکلاست، پلوئید و قطعات خارپوستان اشاره نمود. حضور فراوان خرده‌های رودیست در این ریزرخساره نشان‌دهنده نزدیک بودن محیط ساخت آن به سد می‌باشد که این خرده‌های اسکلتی توسط امواج وارد این ریزرخساره شده است. وجود فرامینیفرهای بنتیک مانند آلوئولینا، میلیولید، نزازاتا همراه با جلبک قرمز با مقدار کمتر مؤید محیط رسوبی تالاب است [۳۱]. ریزرخساره یادشده در چاه شماره ۲ و ۳ قلعه‌نار دیده شد و برابر RMF20 فلوگل [۲۱] می‌باشد. همانند آن توسط غبیشاوی [۷] برای زیرمحیط تالاب سازند سروک پیشنهاد شد (شکل ۳ a و b).

SL2) گرینستون-پکستون پلوئیدی بایوکلاست‌دار: آلوکم‌های اصلی این ریزرخساره شامل پلوئیدها با فراوانی بالا و بایوکلاست‌ها شامل خرده‌های رودیستی و فرامینفرهای بنتیک یا دیواره پورسلانوز خانواده آلوینیده، میلیولید و فرامینفرهای بنتیک یا دیواره آگلوتینه مانند نزازاتا، تکستولاریا، اربیتولینا، کونیوکولینا، پسودولیتونلا یا فراوانی بالا هستند که در زمینه گل آهکی یا سیمان احاطه شده‌اند. آلوکم‌های فرعی خرده رودیست، پنروپلیس، اینتراکلاست و کرتوید می‌باشد. در این ریزرخساره میکرایتی شدن گسترش زیادی دارد: به طوری که پلوئیدها حاصل میکرایتی شدن فرامینفرهای بنتیک می‌باشند و نیز برخی فرامینفرها به صورت بخشی میکرایتی شده‌اند. یکی از کاربردهای میکرایتی شدن شناسایی ژرفا و نشانگر رسوب‌گذاری در محدوده نفوذ نور می‌باشد [۴۳]. جورشدگی خوب پلوئیدها، خردشدگی زیاد فرامینیفرها و وجود زمینه میکرایتی تا سیمانی نشانگر ساخت این ریزرخساره در تلاطم و انرژی بالای محیط رسوب‌گذاری و بالاتر از تراز اثر امواج طوفانی (SWB) است [۳۸ و ۳۹]. این ریزرخساره در هر سه بُرش مورد بررسی دیده شد و برابر RMF22 فلوگل [۲۱] است. ریزرخساره مورد اشاره وابسته به زیرمحیط تالاب باز متصل به سد ارگانیکی تکه‌ای می‌باشد. همانند چنین ریزرخساره‌ای توسط تیموریان و همکاران [۲] و غلامی‌زاده [۸] در منطقه خوزستان (چاه آغاجاری ۱۴۰) و در جنوب ایران گزارش شده است (شکل ۳: c و d).

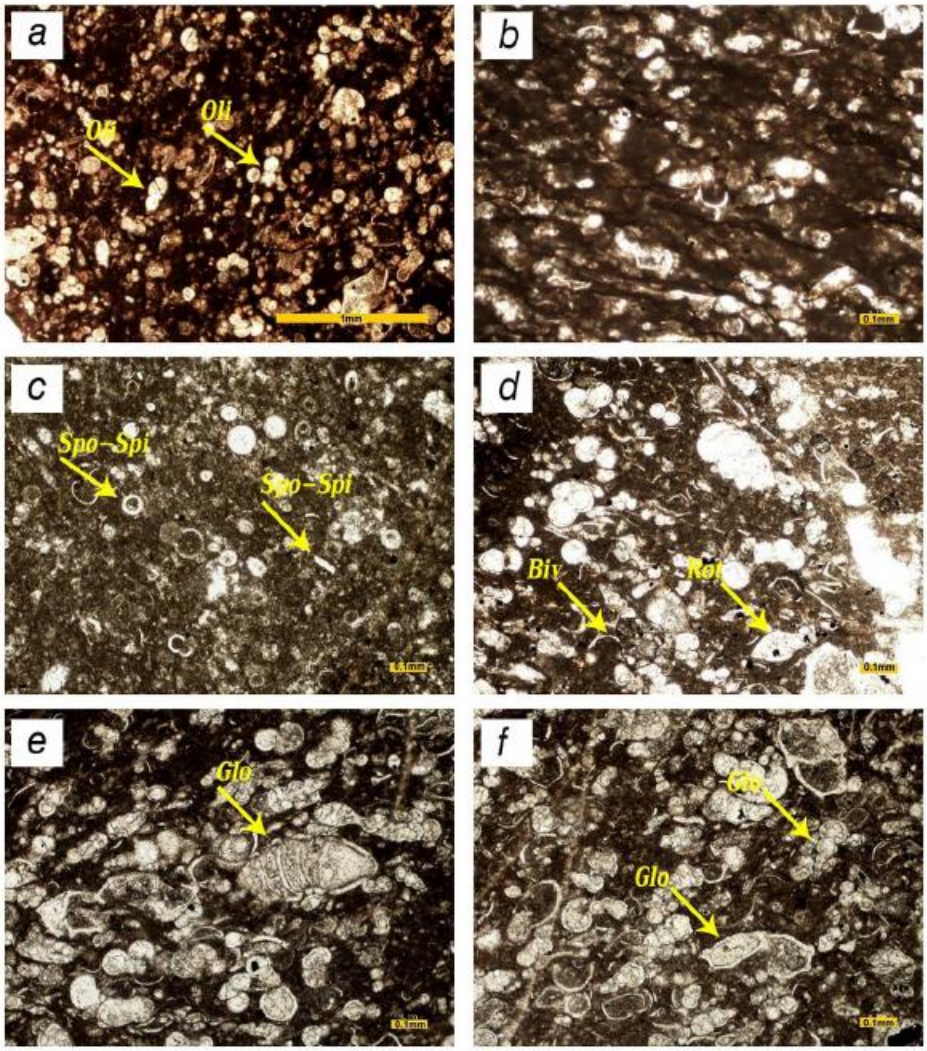


شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی رخساره‌های رسوبی محیط تالاب سازند سروک: a , b) وکستون-پکستون رودیستی بنتیک فرامینفردار (PPL) در ژرفای ۴۴۶۲ و ۴۴۷۴ متری چاه شماره ۴قلعه نار. c ,d) گرینستون-پکستون پلوئیدی بایوکلاست‌دار، (PPL) در ژرفای ۴۴۵۰ و ۴۴۷۰ متری چاه شماره ۳ میدان قلعه نار

ریزرخساره‌های سازند ایلام

ریزرخساره‌های سازند ایلام در هر سه بُرش زیرزمینی مورد بررسی مربوط به زیرمحیط کم انرژی و بخش‌های کم‌عمق دریای باز وابسته به یک پلاتفرم کربناته بوده است که عبارتند از:

I1) وکستون-پکستون اُلیگوستژینا اسپیکول اسفنج‌دار: این ریزرخساره دارای فابریک گل‌پشتیبان تا دانه‌پشتیبان (آهک شیلی) است. اجزا اصلی این ریزرخساره شامل فسیل‌های پلاژیک مانند الیگوستنجید (کلسی‌اسفر و پیتونلا)، سوزن اسفنج در بُرش‌های طولی و عرضی (تک‌محوری و سه‌محوری) و به مقدار کمتر هدبرژلا، اُستراکود، دیسیکلینا و خرده‌های اکینودرم است. این ریزرخساره به علت حضور مواد آلی در آن به رنگ قهوه‌ای تیره دیده می‌شود و گاهی دارای کمی لامیناسیون است. شواهدی همچون حضور فسیل‌های دریای باز مانند الیگوستجینید، هدبرژلا، اُستراکود و سوزن اسفنج در زمینه گل آهکی و لامیناسیون رسوب‌گذاری این ریزرخساره را در یک محیط آرام و در زیر قاعده امواج طوفانی (SWB) گواهی می‌کنند [۳۹]. این ریزرخساره جزء زیرمحیط کم‌عمق از دریای باز در نظر گرفته شده است و با RMF4 فلوگل [۲۱] برابر می‌باشد (شکل ۴: تصاویر **a,b,c**).



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی رخساره‌های رسوبی زیرمحیط دریای باز سازند ایلام: a,b,c) ریزرخساره وکستون-پکستون اُلیگوستژینا اسپیکول اسفنج‌دار، (PPL) در ژرفای ۴۳۰۵ متری از چاه شماره ۲ میدان قلعه نار. d,e,f) ریزرخساره وکستون-پکستون بایوکلاست‌دار، (PPL) ژرفای ۴۲۸۵ متری از چاه شماره ۳ میدان قلعه نار

I2) وکستون–پکستون بایوکلاست‌دار: عناصر و آلوکم‌های اصلی این ریزرخساره فرامینیفرهای پلاژیک شامل گلوبیژرینیدس، هدبرگلا، و نیز روتالی‌پورا به تعداد زیاد یافت می‌باشد. هم‌چنین فسیل‌های پلاژیک مانند الیگوستنجید (کلسی‌اسفر و پیتونلا) در زمینه‌ای از میکرایت پراکنده‌اند. از آلوکم‌های فرعی می‌توان به سوزن اسفنج، خرده‌های بسیار کوچک و نازک دوکفه‌ای به مقدار اندک اشاره کرد. رخساره‌های سرشار از فرامینفرهای پلاژیک که بدون جلبک قرمز و فرامینفرهای بزرگ هستند، مرز زیرین ناحیه نوری را نشان می‌دهند. حضور اُلیگوستژنیجید و سوزن اسفنج، عدم حضور بایوکلاست‌های درشت نشانگر رسوب‌گذاری این ریزخساره‌ها در محیط دریای ژرف، کم اکسیژن و یا انرژی پایین است [۱۶ و ۱۸]. این ریزرخساره در رده‌بندی رمپ‌های کربناته واکر و جیمز [۴۱] در زیرمحیط کم‌ژرفای دریای باز قرارمی‌گیرد و برابر با RMF1 فلوگل [۲۱] است (شکل ۴: d,e,f).

ارزیابی پتروفیزیکی

ارزیابی پتروفیزیکی اهمیت ویژه‌ای در بهره‌برداری صنعت نفت دارد، زیرا این ارزیابی‌ها موجب دست‌یابی به ویژگی‌های مخزنی و توصیف هر چه بهتر آن‌ها می‌شود. با دست‌یابی به این مهم و شناسایی مخزن با همه همگونی‌ها و ناهمگونی‌ها موجود در آن، چگونگی تولید و برداشت بهینه میسر می‌گردد. به این ترتیب در بررسی‌های اکتشافی و تولیدی بعدی، تمرکز بیش‌تر بر روی بخش‌هایی است که پتانسیل بیش‌تر برای تولید هیدروکربور دارند و از هدررفت هزینه‌های گزاف در لایه‌های غیرمخزنی پیشگیری می‌شود. برای بررسی دقیق‌تر سازندهای مخزنی سروک و ایلام در میدان نفتی قلعه نار ارزیابی‌های پتروفیزیکی بر پایه شناسایی سنگ‌شناسی، شناسایی مشخصات مخزنی از جمله تخلخل و تحلیل زون‌های مخزنی با کیفیت انجام پذیرفت. در ارزیابی پتروفیزیکی میدان نفتی قلعه نار موارد زیر مورد بررسی قرار گرفت.

سنگ‌شناسی

یکی از کاربردهای اصلی داده‌های چاه‌پیمایی، شناسایی گونه‌های سنگی است. بدیهی است که کیفیت مخزنی هر سازند به سنگ‌شناسی آن بستگی دارد [۱۳]. بررسی‌های سنگ‌شناسی مرحله مهمی در ارزیابی خواص مخزنی محسوب می‌شود و می‌تواند به جداسازی مناطق دارای ویژگی های مخزنی از غیرمخزنی کمک کند. روش‌های گوناگونی برای شناسایی گونه‌های سنگی وجود دارند که کاربرد آن‌ها تابع فراهم بودن تعداد و نوع نمودارهای حساس به سنگ‌شناسی است [۱۴]. به طور کلی، دست کم دو نگاره یا نمودار لازم است تا بتوان با تلفیق آن‌ها گونه‌های سنگی موجود را شناسایی کرد. از مهم‌ترین نمودارهای دوتایی مورد استفاده در این زمینه باید به نوترون–چگالی، نوترون–صوتی، چگالی–صوتی و چگالی–فتوالکتریک اشاره کرد. این نمودارها افزون بر بررسی‌های سنگ‌شناسی در پتروفیزیک و به ویژه برای شناسایی تخلخل نیز کاربرد دارند. با استفاده از این نمودارها می‌توان دست کم دو ترکیب کانی‌شناسی متفاوت مانند دولومیت–آهک و یا آهک–ماسه را شناسایی کرد [۲۸]. روش‌ها و نمودارهای دوتایی متعددی برای شناخت گونه‌های سنگی ابداع شده و به کار گرفته می‌شوند که در این پژوهش از سه نمودار دوتایی نوترون–چگالی، نوترون–صوتی و چگالی–صوتی بهره‌گیری شد.

محاسبه تخلخل

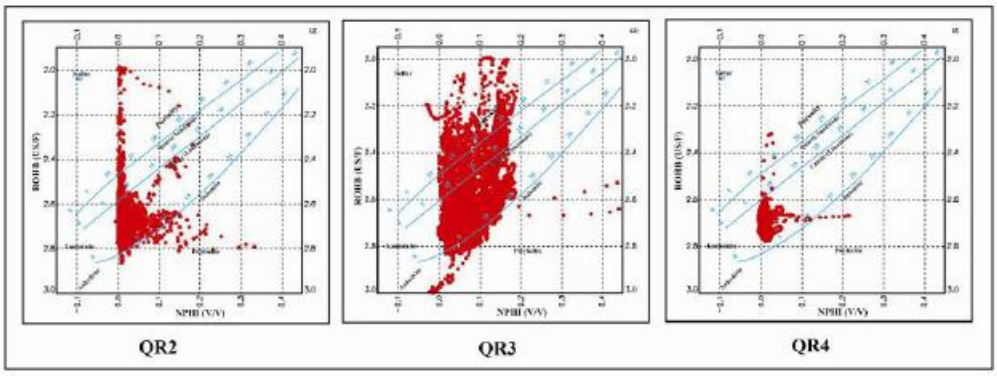
تخلخل یک سنگ نسبت حجم فضای خالی به حجم کل سنگ می‌باشد. تخلخل کمیت پایه‌ای مورد نیاز برای محاسبات حجمی مخزن و توصیف فابریک سنگ به شمار می‌رود [۲۹]. تخلخل از مهم‌ترین خواص فیزیکی مربوط ذخیره‌سازی مخزن است که شناسایی آن به منظور پیش‌بینی کارکرد آینده هر میدان لازم است [۴۰]. برای محاسبه تخلخل می‌توان از یک نگار یا ترکیبی از نگارهای تخلخل شامل نوترون، چگالی و صوتی استفاده شود [۲۴]. به علت نامشخص بودن مقادیر ماتریکس، عملا نمی‌توان از یک نمودار تخلخل را به طور دقیق مشخص کرد. اما با یکارگیری دو نمودار می‌توان تاثیر سنگ‌شناسی را نیز تا اندازه‌ای مرتفع کرد. در این پژوهش برای محاسبه تخلخل با بهره‌گیری از نگاره‌های تخلخل از جمله صوتی (DT)، چگالی (ROHB) و نوترون (NPHI) نمودارهای دوتایی تهیه شد و بر پایه آن‌ها تخلخل کل مورد سنجش و بررسی قرار گرفت.

سنگ‌شناسی و محاسبه تخلخل با بهره‌گیری از نمودار دوتایی نوترون-چگالی (RHOB-NPHI)

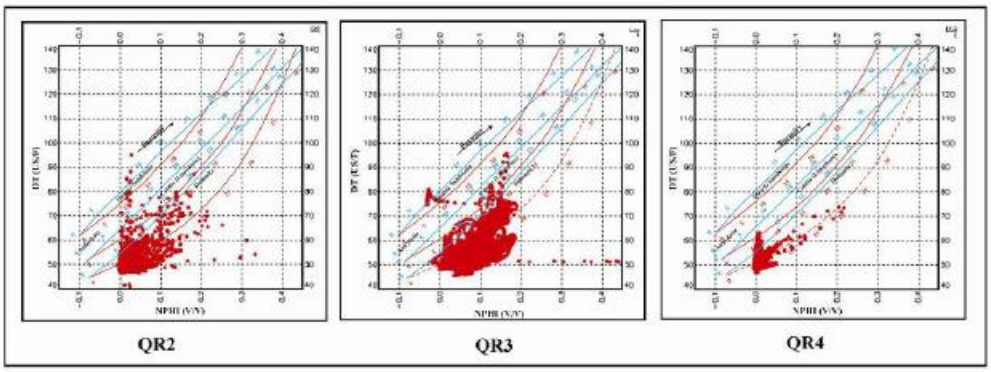
نمودار دوتایی نوترون-چگالی بهترین مرز جدایی کانی‌های گوناگون سازند را در بین نمودارهای پتروفیزیکی دارد [۱۷]. این دو نمودار (نوترون و چگالی) زمانی که با هم در چاه رانده می‌شوند، از جمله دقیق‌ترین ابزارهای غیرمستقیم برای شناسایی نوع سنگ‌شناسی به حساب می‌آیند [۳۲]. در شکل ۵ نمودارهای دوتایی نوترون-چگالی مربوط به چاه‌های انتخابی نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان بیان داشت که سنگ‌شناسی چیره در توالی مورد بررسی بیشتر شامل سنگ‌آهک است که در بخش‌هایی با مقادیر اندک از دولومیت همراه است. هم‌چنین مقدار تخلخل در چاه شماره ۳ میدان نفتی قلعه نار میان ۴ تا ۱۵ درصد متغیر است که بیش‌ترین میزان تخلخل در این میدان می‌باشد. چاه شماره دو قلعه نار میان ۴ تا ۱۰ درصد تخلخل دارد و به همین ترتیب چاه شماره ۴ با ۳ تا ۶ درصد دارای کمترین مقدار تخلخل در میدان مورد بررسی می‌باشد.

سنگ‌شناسی و محاسبه تخلخل با بهره‌گیری از نمودار دوتایی نوترون-صوتی (NPHI-DT)

نمودارهای دوتایینوترون-چگالی مربوط به چاه‌های انتخابی در شکل ۶ ترسیم شده است. این شکل نشان می‌دهد که سنگ‌شناسی غالب مخزن بنگستان در چاه‌های شماره ۲ و ۳ میدان نفتی قلعه نار بیشتر دولومیتی و به مقدار کمتر سنگ‌آهک ساخته شده است. در صورتی که مخزن بنگستان در چاه شماره ۴ این میدان بیش‌تر از سنگ‌آهک ساخته شده است. با توجه به خط تخلخل می‌توان نتیجه گرفت که چاه شماره ۳ میدان نفتی قلعه نار با ۱۴ تا ۱۸ درصد تخلخل دارای بالاترین میزان تخلخل در بین چاه‌های مورد بررسی می‌باشد. چاه شماره دو قلعه نار دارای تخلخل بین ۳ تا ۱۰ درصد و چاه شماره ۴ این میدان با کمترین درصد تخلخل بین ۴ تا ۸ درصد می‌باشد.



شکل ۵. نمودارهای دوتایینوترون-چگالی (ROHB- NPHI) در سه چاه میدان نفتی قلعه نار



شکل ۶. نمودارهای دوتایی نوترون-صوتی (NPHI-DT) در سه چاه میدان نفتی قلعه نار

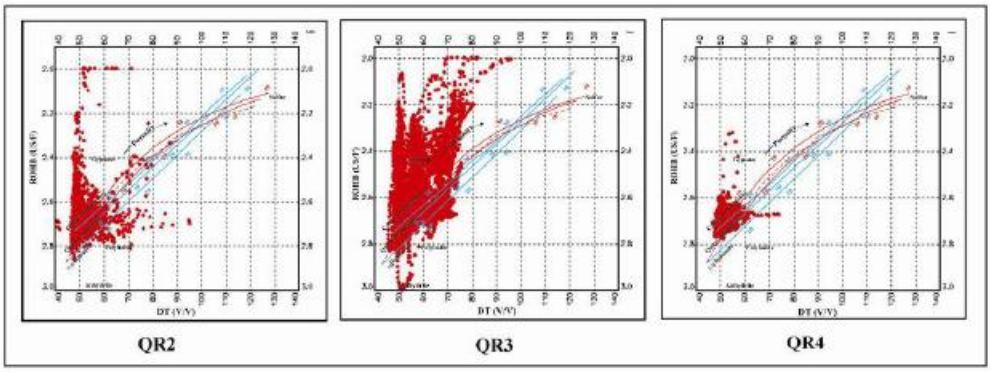
سنگ‌شناسی و محاسبه تخلخل با استفاده از نمودار دوتایی چگالی-صوتی (RHOB-DT)

واکاوی نمودار دوتایی چگالی-صوتی نشان داد که سنگ‌شناسی چیره مخزن بنگستان در چاه‌های شماره ۲ و ۳ میدان نفتی قلعه نار بیش‌تر از دولومیت و به مقدار کمتر سنگ آهک است. در مقابل، چاه شماره ۴ بخش مخزنی این میدان بیش‌تر از سنگ‌آهک ساخته شده است. با توجه به خط تخلخل می‌توان بیان داشت که چاه شماره ۳ قلعه نار با ۲ تا ۱۸ درصد تخلخل دارای بالاترین تخلخل در بین چاه‌های مورد بررسی می‌باشد. چاه شماره ۲ دارای تخلخل ۲ تا ۱۰ درصد و چاره شماره ۴ واجد کمترین مقدار تخلخل (حدود ۳ تا ۱۱ درصد) می‌باشد (شکل ۷).

شناسایی رخساره‌های الکتریکی

نمودارهای الکتریکی امروزه یکی از منابع اصلی تهیه اطلاعات زیرسطحی در میدان‌های نفتی می‌باشند. این ابزارها ویژگی هایی مانند ترکیب کانی‌شناسی، بافت و ویژگی های پتروفیزیکی (تخلخل و تراوایی) را به صورت مستقیم یا غیرمستقیم نشان می‌دهند. در کنار این داده‌ها می‌توان از تلفیق داده‌های حاصل از نمودارهای الکتریکی نیز رخساره‌های زمین‌شناسی یا مخزنی را تأیید نمود. از آن جا که این رخساره‌ها از روی داده‌های نمودارهای الکتریکی استخراج می‌گردند، نام رخسارهٔ لاگ[1] یا رخساره‌های الکتریکی[2] برای آن‌ها در نظر گرفته شده است [۳۷]. رخساره الکتریکی عبارت است از مجموعه‌ای از پاسخ‌های لاگ که مشخص کننده یک لایه یا واحد رسوبی است و باعث شناسایی آن از لایه‌های دیگر می‌گردد [۱۲]. واکاوی رخساره‌های الکتریکی روشی است برای رده‌بندی نگاره‌ها به زیرمجموعه‌هایی که نشان‌دهندهٔ رخساره‌های زمین‌شناسی مخزنی بوده و پخش آن‌ها پایه زون‌بندی چینه‌شناسی را می‌سازد [۳۲]. **برای** نشان دادن توصیفی از جزئیات مخزنی همراه با چالش آن، باید به شناسایی بسیاری از نواحی درون مخزن که بیش‌ترین ویژگی‌های همانند را با هم دارند، دست یافت [۳۲]. برای شناسایی دقیق گونه‌های سنگی بر مبنای پتانسیل مخزنی و تعیین روابط میان ریزرخساره‌ها، واحدهای سنگی و پارامترهای پتروفیزیکی آن‌ها، از روش الکتروفاسیس و خوشه‌سازی گراف پایه با توان تفکیک چند گانه (MRGC) استفاده می‌شود [۲۲ و ۴۲]. MRGC یکی از معدود روش‌های غیر پارامتریک و روشی بسیار مناسب برای بررسی و واکاوی خوشه‌ای داده‌های حاصل از چاه‌نگارها و مغزه‌های حفاری است [۱۴]. این روش از برتری‌های فراوان مانند توان شناسایی الگوهای طبیعی موجود در نگاره‌ها، بی‌نیازی از دانش قبلی در مورد داده‌ها، پیشنهاد خودکار بهترین شمار خوشه‌ها، کمترین پارامترها و عدم حساسیت به تغییرات آن‌ها و محدودنبودن در نوع و شمار داده‌ها و خوشه‌ها برخوردار است [۳۴]. بنابراین، در این پژوهش برای دسته‌بندی داده نگارها از این روش استفاده شد. این روش مبتنی بر شناسایی الگوی نقطه‌ای چند بعدی بر مبنای نزدیک‌ترین همسایگی و نمایش گرافیکی داده‌ها کار می‌کند. در این بررسی با استفاده از لاگ‌های DT، PHIE، NPHI،RHOB و بارگذاری این داده‌ها در نرم‌افزار ژئولاگ برای مخزن بنگستان در سه حلقه چاه از میدان قلعه نار، شمار ۶ رخساره الکتریکی اولیه شناسایی شد که بر پایه کیفیت مخزنی مرتب و شماره‌گذاری شدند. رخساره‌های الکتریکی شناسایی شده با ریزرخساره‌های رسوبی حاصل از بررسی بُرش‌های نازک همپستگی خوبی را نشان دادند. در شکل ۸ از رخساره الکتریکی ۱ به سمت رخساره الکتریکی ۶ مقدار سرعت صوت (DT) و نوترون (NPHI) روند کاهشی دارند، اما مقادیر چگالی (RHOB) و پرتو گاما (SGR,GR) روند رو به افزایش نشان می‌دهند. بنابراین رخساره الکتریکی شماره ۱ و ۶ به ترتیب بهترین و بدترین کیفیت مخزنی را در میدان مورد بررسی از خود نشان می‌دهند. بهترین رخساره‌های الکتریکی در چاه شماره ۲ قلعه نار مربوط به ریزرخساره‌های وکستون-پکستون اُلیگوستژینا اسپیکول اسفنج‌دار از سازند ایلام و گرینستون-پکستون پلوئیدی بایوکلاست‌دار از سازند سروک می‌باشد. به همین ترتیب، در چاه‌های شماره ۳ و ۴ این میدان بهترین رخساره الکتریکی مربوط به ریزرخساره وکستون-پکستون اُلیگوستژینا اسپیکول اسفنج‌دار سازند ایلام می‌باشد.

1 Log Facies
2 Electrofacies



شکل ۷. نمودارهای دوتایی چگالی-صوتی (RHOB-DT) در سه چاه از میدان نفتی قلعه نار

QR2

FACIES	WEIGHT	GR	NPHI	RHOB	DT
1	861	29.58	0.02	2.65	50.75
2	1347	32.14	0.02	2.69	50.28
3	522	22.20	0.01	2.68	49.87
4	1065	25.37	0.01	2.70	49.59
5	1374	16.35	0.01	2.69	49.42
6	644	19.54	0.01	2.70	49.24

QR3

FACIES	WEIGHT	SGR	DT	NPHI	RHOB
1	16	7.07	51.42	0.39	2.58
2	1193	46.42	68.74	0.14	2.49
3	667	61.67	65.35	0.12	2.64
4	2392	17.37	52.40	0.05	2.62
5	2738	27.42	52.30	0.03	2.68
6	2352	39.66	55.12	0.02	2.60

QR4

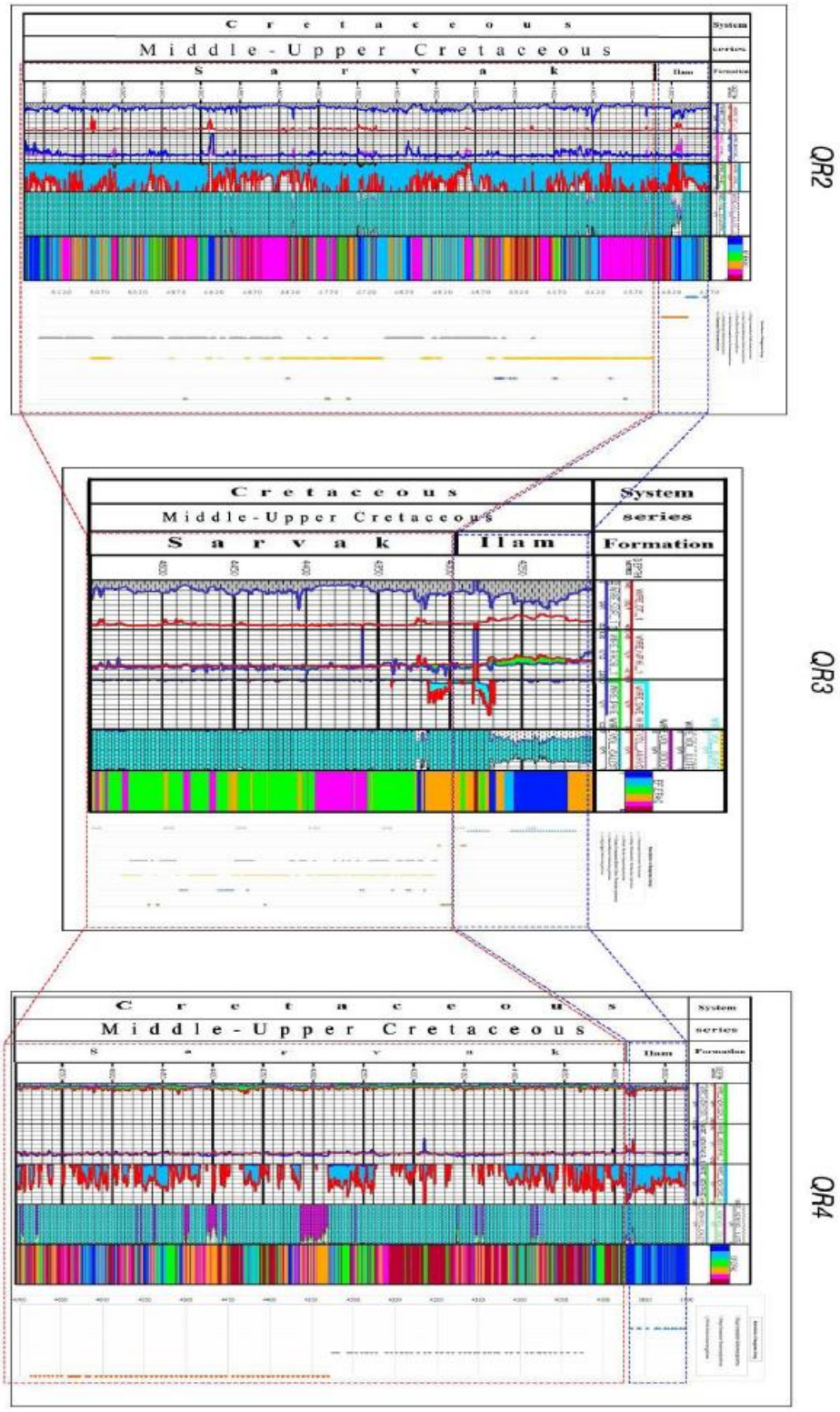
FACIES	WEIGHT	CGR	DT	NPHI	RHOB
1	489	10.73	51.62	0.01	2.70
2	502	8.97	51.34	0.00	2.70
3	594	7.32	51.06	0.00	2.69
4	779	9.50	50.76	0.01	2.71
5	563	8.09	50.46	0.00	2.70
6	1432	6.86	50.17	0.00	2.70

شکل ۸. رده‌بندی رخساره‌های الکتریکی به دست آمده با روش MRGC از نظر کیفیت مخزنی درسه چاه مورد بررسی

تحلیل و تفسیر رخساره‌های الکتریکی

برای تحلیل مدل رخساره الکتریکی به دست آمده و همپستگی آن با رخساره‌های رسوبی، پخش رخساره‌های الکتریکی در برابر هر یک از رخساره‌های رسوبی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۹ فراوانی رخساره‌های الکتریکی را در برابر رخساره‌های رسوبی به جدایش سازندهای سروک و ایلام در سه چاه مورد بررسی به نمایش گذاشته شده است. همچنان که در این شکل دیده می‌شود، ریزرخساره رسوبی I1 با عنوان وکستون-وکستون آلیگوستژینا اسپیکول اسفنج‌دار از سازند ایلام و ریزرخساره رسوبی S1 با نام گرینستون-پکستون پلوئیدی بایوکلاست‌دار از سازند سروک در هر ۳ بُرش زیرزمینی مورد بررسی از فراوانی زیادی برخوردار هستند. این ریزرخساره‌ها دارای بیش‌ترین انطباق با رخساره الکتریکی با کیفیت شماره ۱ می‌باشند. رخساره‌های رسوبی S4, S3, S2 به ترتیب با نام‌های وکستون-پکستون رودیستی

بنتیک فرامینفردار، وکستون-پکستون پلوئید میکروپایوکلاستدار و وکستون-پکستون اُلیگوستژین‌دار از سازند سروک با رخساره‌های الکتریکی شماره ۵ و ۶ همبستگی خوبی نشان می‌دهند که نشان‌دهنده پایین‌ترین کیفیت مخزنی است.



شکل ۹. مقایسه رخساره‌های الکتریکی و ریزرخساره‌های رسوبی در سه چاه مورد بررسی از میدان نفتی قلعه نار

نتیجه‌گیری

در این بررسی ۱۰۵۹ بُرش نازک از مخزن بنگستان در ۳ بُرش زیرزمینی از میدان نفتی قلعه نار در شمال فروافتادگی دزفول منجر به شناسایی ۷ ریزرخساره رسوبی شد که در زیرمحیط‌های لاگون، دریای بسته و دریای باز تشکیل شده‌اند. با توجه به نمودارهای دوتایی، بالاترین مقدار تخلخل مربوط به چاه شماره ۳ و به میزان حدود ۱۸ درصد به دست آمد. مقدار تخلخل در چاه شماره ۲ بین ۴ تا ۱۰ درصد و در چاه شماره ۴ کمترین مقدار (۶ درصد) اندازه‌گیری شد. سنگ‌شناسی چیره مخزن بنگستان در چاه‌های مورد بررسی به ترتیب از سنگ‌آهک، دولومیت و سنگ‌آهک با مقادیر جزیی دولومیت ساخته شده است. با تلفیق داده‌های حاصل از مطالعات پتروگرافی و پتروفیزیکی مشخص شد که رخساره رسوبی وکستون-وکستون اُلیگوستژینا اسپیکول اسفنج‌دار سازند ایلام همپستگی بسیار خوبی با رخساره الکتریکی با کیفیت ۱ دارد. کیفیت مخزنی خوب این رخساره رسوبی به تغییرات مناسب ناشی از تحولات دیاژنتیکی آن مربوط است. هم‌چنین، ریزرخساره رسوبی گرینستون-وکستون پلوئید بایوکلاست‌دار سازند سروک که مربوط به زیرمحیط تالاب باز متصل به سد است، در هر سه بُرش مورد بررسی دیده شد که دارای شرایط مخزنی متوسط تا خوب می‌باشد. کیفیت مخزنی ریزرخساره گرینستون-پکستون پلوئید بایوکلاست‌دار ناشی از جایگاه محیطی و شرایط دیاژنزی حاکم بر آن به خصوص دولومیتی شدن می‌باشد. با توجه به انطباق خوب رخساره‌های الکتریکی با ریزرخساره‌های رسوبی می‌توان یافته‌های حاصل را به بقیه چاه‌های این میدان تعمیم داد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند پشتیبانی خوب مدیران و کارشناسان ارجمند شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب برای انجام این پژوهش سپاسگزاری نمایند. هم‌چنین، از زحمات داوران گرانقدر برای بررسی دقیق و ارائه پیشنهادهای ارزنده و همه عزیزان دست‌اندر کار مجله وزین رسوب‌شناسی کاربردی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان به خاطر پیگیری امور مربوط به داوری، پذیرش و چاپ این مقاله کمال تشکر را دارند.

منابع

[۱] آقانباتی، س. ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ صفحه.

[۲] تیموریان، ا.، وزیری‌مقدم، ح.، امیری بختیار، ح (۱۳۸۳) بررسی ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند سروک در منطقه خوزستان چاه آغاجاری ۱۴۰، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، صفحات ۴۴۳ ۴۵۱.

[۳] رحیمی بهار، ع. ا.، پرهام س (۱۳۹۱) تجزیه و تحلیل رخساره‌های الکتریکی بر پایه رخساره‌های رسوبی، نشریه علمی پژوهشی رخساره‌های رسوبی، دوره ۵، شماره ۱، صفحات ۷۴ ۶۱.

[۴] رحیمی بهار، ع. ا.، حسین‌پور سیامی، ح (۱۳۹۱) تفکیک زون‌های مختلف مخزن هیدروکربنی با کمک رخساره‌های الکتریکی، پژوهش نفت، سال ۲۲، شماره ۷۲، صفحات ۱۴۴ ۱۵۳.

[۵] رستمی، ع. ر (۱۳۸۱) کیفیت مخزنی و محیط رسوبی سازندهای ایلام و سروک در خلیج‌فارس، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.

[۶] علیزاده، ت (۱۳۸۹) بررسی ریزرخساره، محیط رسوب‌گذاری و بررسی کیفیت مخزنی سازند سروک در میدان نفتی منصوری، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان. ۱۳۰ صفحه.

[۷] غبیشاوی، ع (۱۳۸۸) چینه‌نگاری سازندهای سروک و ایلام در تاقدیس بنگستان و میدان پارسی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه اصفهان، ۱۹۵ صفحه.

[۸] غلامی‌زاده، پ.، آدابی، م، ح (۱۳۹۰) بررسی فرایندهای دیاژنیتیکی و تغییرات ژئوشیمیایی، عناصر فرعی سازند سروک در جنوب ایران، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۴۲، صفحات ۵۳ ۷۲.

[۹] گلی، ط.، ارزیابی پتانسیل مخزنی زون‌های سازندهای آپشرون و آقچاگیل در یکی از چاه‌های خزر جنوبی بر پایه رخساره‌های رسوبی و الکتروفاسیس، مجله پژوهش نفت، زیر چاپ.

[۱۰] مطیعی، ه (۱۳۷۲) چینه‌شناسی زاگرس، طرح تدوین کتاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۵۳۶ صفحه.

[۱۱] ناصری، ن (۱۳۸۴) ژئوشیمی، محیط رسوبی و دیاژنز سازند سروک در مقطع نمونه واقع در تاقدیس کوه بنگستان و مقایسه آن با مقطع تحت‌الارضی در چاه پارسی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۳۷صفحه.

[۱۲] نصیری، ع. م؛ بهرام، م؛ باقری، ع. م؛ مهدوی، ا (۱۳۹۱) مقایسه روش‌های مختلف خوشه‌سازی جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی در یکی از میدان های گازی ایران، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.

[13] Asquith, G. B (1982) Basic well log analysis for geologist. AAPG, 217 p.

[14] Askari A. A. Behrouz, T (2011) A Fully Integrated Method for Dynamic Rock Type Characterization Development in One of Iranian Off-Shore Oil Reservoir. Journal of Chemical and Petroleum Engineering, University of Tehran, 45 (2): 83-96.

[15] Bordwnave, M. I. and Hegre J. A (2005) The influence of tectonics on the entrapment of oil the dezful embayment, Zagros Foldbelt, Iran., Journal of Petroleum Geology., 28: 339-368.

[16] Burchette, T. P., and Wright, V. P (1992) Carbonate ramp depositional systems: Sedimentary Geology, 79: 3-57.

[17] Brick, J (1986) Applied open-hole log analysis, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.

[18] Carrozi, A. V (1989) Carbonte Rock Depositional model: Newjersy, Prentice Hall, 604 p.

[19] Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to their depositional texture in w. E., Ham, ed., classification rocks –A symposium. AAPG Bulletin, 1: 108-121.

[20] Ehrenberg S. N., Nadeau P. H. and Steen .Ø (2009) Petroleum reservoir porosity versus depth: Influence of geological age. AAPG Bulletin, 93: 1281-1296.

[21] Flügel, E (2010) Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application: Springer-Verlag, Berlin, 984 p.

[22] Holland, M. S (2006) Cluster Analysis. Department of Geology, University of Georgia, Athens, GA 30602-2501 January.

[23] Heydari, E (2008) Tectonic versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountain of Iran, Tectonophysics, 451:56-70.

[24] Hearst, J., Nelson, P. and Paillet, F. L (2000) Well logging for physical properties, 2nd edition, Joh Wiley and sons 1td, 106 p.

[25] James, G. A. and Wynd, J. G (1965) Biosratigraphic nomenclature of Iranian Oil consortium agreement area: AAPG Bulletin, 49 (12): 2182-224.,

[26] Kovacs, C. and Legany, A. B (2003) Cluster Validity Measurement Techniques, Department of Automation and Applied Informatics, Budapest University of Technology and Economics.

[27] Keller, F (2006) Clustering, Computer University Saarlandes, Tutorial Slides.

[28] Kadkhodaie- Ilkhehi, R., Rezaee, R., Moussavi-Harami, R., and Kadkhodaie-Ilkhechi, A (2013) Analysis of the reservoir electrofacies in the framework whicher Rang field, Perth Basin, Westren Australia.Journal of Petroleum Science and Engineering. 111: 106–120.

[29] Lucia, F. J (1995) Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for eservoir characterization: AAPG Bulletin, 79 (9): 1275–1300.

[30] Reading, H. G (1996) Sedimentary environment and facies: Blackwell Sci. Pub., 615 p.

[31] Read, J. F (1985) Carbonate platform facies models: AAPG Bulletin, 69 (1): 1-21.

[32] Rabiller, P (2005) Facies prediction and data modeling for reservoir characterization, 1st ed. Rabiller Geo-consulting.

[33] Sutadiwirya, Y (2008) Using MRGC (multi resolution graph-based clustering) method to integrate log data analysis and core facies to define electrofacies, in the benua field, central sumatera basin, Indonesia, International Gas Union Research Conference, IGRC, Paris, 2-12.

[34] Schlumberger (2002) Schlumberger Log Interpretation: Principles/Applications, Houston, Texas, 250 p.

[35] Serra O. and Sulpice L (1975) Sedimentological Analysis of shale-sand series from well logs. SPWLA, 16thAnn. Log. Symp.

[36] Serra, O. and Abbott, H. T (1982) The contribution of logging data to sedimentary sedimentology and stratigraphy. Society of Petroleum Engineers Journal, 22 (1):117-131.

[37] Serra, O (1986) Fundamentals of well-log interpretation, V. 2. The Interpretation of Logging Data, Amesterdam, Elsevier, 684 p.

[38] Tucker, M. E. and Wright V. P (1990) Carbonate sedimentology: Blackwell Scientific Publications, London, UK, 482 p.

[39] Tucker, M. E (2003) Sedimentary Rocks in the Field. Department of Geological Sciences, University of Durham, UK, 252 p.

[40] Tiba, D. and Donaldson, E. C (2004) Petrophysics: Theory and Partice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. 2nd Edition, Elsevier, Gulf Professional publishing, 915 p.

[41] Walker, R. G. and. James, N. P (1992) Facies models response to sea level changes, Geological Assocation of Canada, 409 p.

[42] Ye, S. J. and Rabiller P (2005) A new tool for electrofacies analysis: Multi resolution graph based clustering, SPWLA, 41 Annual Logging Symposium.

[43] Zeff, M. I. and Perkins R. D (1979) Microbial alteration of Bahamian deep–sea carbonates: Sedimentary Geology, 26: 175–201.