تعیین رخساره الکتریکی با استفاده از روش‌های خوشه‌سازی دریکی ازمخازن کربناته جنوب ایران

حمیدرضا همتی‌نیک*، مصطفی نظری‌فرد، دانشگاه آزاد دماوند ● سیدهاشم طباطبائی رئیسی، مدیریت اکتشاف

چکیده

روش‌های خوشه‌سازی[1]، امروزه از بهترین روش‌ها برای شناسایی رخساره‌های الکتریکی مخزن به‌شمار می‌روند. این روش‌ها هم می‌توانند با نظارت اطلاعات دیگری ازمخزن رخساره‌ها را شناسایی کنند و هم می‌توانند بدون ناظر، توالی مخزن را به رخساره‌های مختلف با ویژگی‌های مختلف دسته‌بندی نمایند.

درمطالعه حاضر به‌کمک تعدادی از نمودارهای الکتریکی برداشت شده از توالی یک مخزن کربناته به‌عنوان ورودی برای مدل رخساره‌ای و استفاده از تعدادی روش‌های خوشه‌سازی شامل روش‌های MRGC[2]، AHC[3]، SOM[4] و DC[5] رخساره‌های الکتریکی در توالی مخزن مورد مطالعه شناسایی شدند. از آنجایی که در بین روش‌های مورد استفاده، روش MRGC به‌طَور خودکار تعداد رخساره‌های بهینه را با توجه به نمودارهای ورودی معرفی می‌نماید، درنتیجه این روش به‌عنوان الگو برای درنظر گرفتن تعداد رخساره‌ها برای تمامی روش‌ها در نظر گرفته شد. با استفاده ازروش MRGC تعداد ۶ رخساره به‌عنوان تعداد رخساره‌های بهینه معرفی و درنظر گرفته شد. درنهایت با کالیبره کردن رخساره‌های الکتریکی به‌دست آمده با پارامترهای پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه، دو روش MRGC و AHC توانستند بهترین تفکیک رخساره‌ای را در توالی مخزن مورد مطالعه ازلحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی/پتروفیزیکی داشته باشند که از این دو روش نَیز می‌توان گفت روش AHC تا حدودی تفکیک بهتری از پارامترهای پتروفیزیکی مخزن نسبت به روش MRGC داشته است. همچنین رخساره مخزنی در این چاه نیز دارای لیتولوژی آهکی و آهک/ دولومیتی می‌باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۵/۰۳

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۸/۰۲

واژگان کلیدی:

خوشه سازی، رخساره، پتروفیزیک، نمودارالکتریکی، AHC، MRGC

مقدمه

ارائه یک مدل دقیق و قابل قبول از مخزن با هدف پیش‌بینی خصوصیات مخزن قبل از انجام عملیات بهره‌برداری برای تعیین قابلیت تولید سیال از سنگ مخزن و نحوه حرکت سیال درون آن، تعداد چاه‌های موردنیاز برای تولید و در مجموع داشتن یک دید اقتصادی به‌منظور بهینه‌سازی تولید و بهره‌برداری به‌نحوی که علاوه برصیانت از مخازن هیدروکربوری و بالا بردن ضریب بازیافت از مخزن جواب مناسبی نیز برای سرمایه‌گذاری انجام شده به‌دست دهد و مقرون به‌صرفه باشد، موردنظر است. مدلسازی مخزن بر پایه اطلاعات زمین‌شناسی و پتروفیزیکی صورت می‌پذیرد و بستگی مستقیم به حجم اطلاعاتی دارد که در دسترس است. روشن است که هرچه میزان اطلاعات از میدان هیدروکربوری بیشتر باشد امکان ساخت یک مدل دقیق‌تر نیز میسر می‌گردد. از آنجایی که در هر چاهی که در یک میدان حفاری می‌گردد حتماً نمودارهای پتروفیزیکی حداقل در سازندهایی که پتانسیل هیدروکربوری دارند رانده می‌شوند، اطلاعات زیاد و قابل استفاده‌ای که با هزینه نسبتاً کمی نسبت به سایر روش‌ها در اختیار محققان و مدل‌سازان قرار می‌گیرد در دسترس است. از طرفی این نمودارها منعکس‌کننده مهمترین خواص سنگ مخزن مثل میزان تخلخل و درصد اشباع آب و همچنین جنس سنگ مخزن نیز هستند[۱]. نمودارهای چاه‌پیمایی ثبت پیوسته‌ای از پارامترهای سازند نسبت به عمق را به‌دست می‌آورند که تفسیرهای زمین‌شناسی بسیار مفیدی دارند. مطالعات زمین‌شناسی نفت و پتروفیزیکی مخازن هیدروکربنی، نقش به‌سزایی در شناخت پارامترهای کنترل کننده‌ی خواص مخزنی و تولید دارد[۲]. یکی از مهمترین عملیات اجرایی برای توصیف و شبیه‌سازی مخازن هیدروکربنی، عملیات نمودارگیری چاه است. نمودارها امروزه یکی از منابع اصلی تهیه اطلاعات زیرسطحی در میدان‌های نفتی/گازی هستند. این ابزارها خصوصیاتی مانند ترکیب کانی‌شناسی، بافت، ساخت‌های رسوبی خصوصیات پتروفیزیکی(مانند تخلخل و تراوایی) را به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم نشان می‌دهند. در کنار این اطلاعات می‌توان از تلفیق داده‌های حاصل از مجموعه نمودارها نیز رخساره‌های زمین‌شناسی یا مخزنی را تأیید نمود[۳].

رخساره‌های الکتریکی بخش‌هایی از توالی یک سازند است

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (hemmatihamidreza89@gmail.com)

که بر اثر ویژگی‌های مشترک ثبت شده در روی نمودارهای پتروفیزیکی قابل شناسایی هستند. روش‌های متفاوتی برای تفکیک این بخش‌ها در طول سال‌های گذشته ارائه شده است که در بین این روش‌ها، روش‌های خوشه‌سازی عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه نیز توالی یک مخزن کربناته به چهار روش متفاوت خوشه‌سازی به جهت تفکیک رخساره‌های زمین‌شناسی/پتروفیزیکی مورد استفاده قرار گرفت. شناسایی رخساره‌های الکتریکی در توالی مخازن و همچنین چهار روش مورد استفاده در این مطالعه به‌صورت پراکنده توسط محققان مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که برخی از آنها عبارتند از: پابخش و همکارانش[۴] از روش خوشه‌سازی MRGC برای تخمین لاگ فتوالکتریکی برای شناسایی لیتولوژی سازند استفاده کردند. کومار و کیشور [۵] با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) رخساره‌های الکتریکی را در توالی یک مخزن با لیتولوژی کربناته/ آواری تخمین زدند. رحیمی‌بهار و حسین پورصیامی[۶] در مطالعه‌ای ابتدا به معرفی روش‌های مختلف خوشه‌سازی پرداخته و درنهایت نیز رخساره‌های مخزنی را در توالی یک مخزن کربناته به روش MRGC شناسایی کردند. یووراییلر [۷] در مقاله‌ای با عنوان معرفی روشی جدید برای آنالیز رخساره‌های الکتریکی(خوشه‌سازی گراف پایه با توان تفکیک چندگانه) روش MRGC را برای شناسایی رخساره‌های الکتریکی معرفی کردند. خوشبخت و محمدنیا[۸] با استفاده از روش‌های متفاوت خوشه‌سازی شامل AHC، DC، SOM ، MRGC و روش شبکه عصبی مصنوعی ANN تراوایی را در طول یک مخزن کربناته تخمین زدند. محمودی و همکارانش[۹] با استفاده از روش آنالیز خوشه‌ای چندمتغیره در چاه نمک‌غربی شماره-۱ بندرعباس، رخساره‌های الکتریکی را شناسایی و زون‌بندی نمودند. نقدی و همکارانش با استفاده از روش‌های مختلف منطق فازی، معادلات تجربی، شبکه عصبی مصنوعی(ANN) و همچنین روش‌های خوشه‌سازی SOM، AHC، MRGC و DC تراوایی را در مخزن ایلام تخمین زد.

دراین مطالعه، دو روش MRGC و AHC بهترین تفکیک را نشان دادند که تا حدودی روش AHC توانسته است تفکیک دقیق‌تری از پارامترهای پتروفیزیکی مخزن داشته باشد و بهترین مدل با تعداد دسته‌ها و یا رخساره‌ها که در روش MRGC به‌عنوان الگو در نظر گرفته شد، مدلی با ۶ دسته یا همان رخساره بود.

۱- روش مطالعه

این مطالعه که بر روی یک مخزن کربناته واقع در جنوب ایران صورت گرفته، به‌منظور شناسایی هرچه دقیق‌تر رخساره‌های الکتریکی با استفاده از نمودارهای الکتریکی مخزن است. برای این منظور از چهار روش مختلف MRGC[۶]، AHC[۷]، DYNCLUST[۸] و SOM[۹] استفاده شد. هرکدام از این روش‌ها سازوکار مخصوص به‌خود را دارد ولی به‌منظور معرفی بهترین روش در شناسایی دقیق رخساره‌های الکتریکی در مخزن مورد مطالعه، در تمامی روش‌ها نمودارهای الکتریکی یکسانی به‌کار برده شد. همچنین تعداد رخساره‌های یکسانی در تمامی روش‌ها انتخاب شد تا در نهایت علاوه‌بر اینکه رخساره‌های الکتریکی با دقت بسیار بالا شناسایی شوند، بهترین روش در بین روش‌های خوشه‌سازی مورد استفاده نیز معرفی گردد.

به جهت اینکه بتوان رخساره‌های الکتریکی را در توالی مخزنِ مورد مطالعه با توجه به در اختیار نبودن داده‌های مغزه با دقت بالایی شناسایی نمود، از تعدادی روش‌های خوشه‌سازی استفاده شد که در نهایت باتوجه به مقایسه نتایج آنالیز روش‌های مورد استفاده با هم و کالیبره کردن این نتایج با پارامترهای پتروفیزیکی مخزنِ مورد مطالعه، علاوه‌بر شناسایی دقیق رخساره‌های الکتریکی، بهترین روش نیز در این مخزن و در مخازنی که بدون داده‌های مغزه حفاری هستند، معرفی گردد. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل نمودارهای الکتریکی چگالی(RHOB)، نوترون(NPHI)، صوتی(DT) و گاما(CGR) به‌همراه اطلاعات آنالیز پارامترهای پتروفیزیکی مخزن هستند که شامل حجم کانی‌ها و سیالات توالی مخزن مورد مطالعه می‌باشند. ابتدا با استفاده از نمودارهای الکتریکی در دسترس، مدل رخساره‌ای که حاوی این نمودارها بود تهیه شد و سپس روش‌های مختلف مورد استفاده شامل DC، AHC، MRGC و SOM به نوبت مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه، نتایج آنالیز رخساره‌ای در هر روش با هم مورد مقایسه و با پارامترهای پتروفیزیکی مخزن کالیبره شد تا درنهایت بهترین تفکیک رخساره‌ای و بهترین روش مورد استفاده مشخص شود.

۲- تفکیک رخساره‌های الکتریکی مخزن مورد مطالعه

۲-۱- کلیات

تحلیل توالی یک مخزن از لحاظ شرایط کیفی زمین‌شناسی و پتروفیزیکیِ سازند، می‌تواند کمک بسیار مهمی به مهندسان مخزن در امر برنامه‌ریزی برای توالی‌های دارای شرایط مخزنی مناسب و مشابه با هم در یک مخزن داشته باشد. تحلیل رخساره‌های الکتریکی توالی مخازن، امروزه یکی از مطالعات مهم زمین‌شناسی/ پتروفیزیکی است که در چاه‌های حفاری شده انجام می‌شود. دقیق‌ترین اطلاعاتی که می‌توان رخساره‌ها را از آن شناسایی کرد، در دست داشتن نمونه‌های واقعی و مستقیم از سازند هستند که این اطلاعات تنها از عملیات مغزه‌گیری در چاه‌ها در دسترس قرار می‌گیرند.

رخساره رسوبی فواصلی از مخزن است که دارای ویژگی‌های پتروفیزیکی و رسوبی یکسانی هستند. این گروه‌ها با مطالعه

مغزه و یا از روی نمودارهای چاه‌پیمایی قابل شناسایی است. برای شناسایی رخساره‌ها روش‌های آماری و تخمین‌گرِ متنوعی وجود دارد.

۲-۲- هدف، داده‌ها و روش کار

در این مطالعه هدف، تعیین رخساره‌های زمین‌شناسی/مخزنی توالی یک مخزن گازی کربناته با بالاترین دقت می‌باشد. برای افزایش دقت تعیین رخساره‌های مختلف در این توالی، از روش‌های مختلف خوشه‌سازی برای تعیین رخساره‌های الکتریکی استفاده شد. روش‌های خوشه‌سازی مورد استفاده شامل DC، SOM، MRGC و AHC می‌باشد.

۲-۲-۱- آنالیز خوشه‌ای چندتفکیکی بر پایه گراف

روش MRGC یک روش نوین و قدرتمند برای دسته‌بندی است. این تکنیک مبتنی بر تشخیص الگوی نقطه‌ای چندبُعدی بر مبنای نزدیک‌ترین همسایگی و نمایش گرافیکی داده‌هاست. خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی یک روش آماری غیرپارامتریک است که مشکل وابستگی به بُعد را از بین می‌برد و اطلاعات مفیدی در مورد رخساره‌های زمین‌شناسی از ساختار خودِ داده به‌دست می‌آورد. این روش می‌تواند بهینه‌ترین دسته‌ها را در بین حدود پایینی و بالایی از قبل تعیین شده ارایه دهد. روش MRGC مبتنی بر تشخیص الگوی نقطه‌ای چندبعدی بر مبنای نزدیک‌ترین همسایگی و نمایش گرافیکی داده‌هاست. در واقع این روش تلفیقی از هوش مصنوعی و روش خوشه‌بندیِ سلسله مراتبی است. در این روش دو اندیس اضافه شده است که شامل شاخص KRI و NI

شکل ۱ | مراحل خوشه سازی MRGC

می‌باشد. NI پارامتر شاخص همجواری و KRI پارامتر شاخص کرنل است.

۲-۲-۲- خوشه‌سازی به روش نقشه‌های خودساماندهِ

الگوریتم SOM یک نوع مدل شبکه عصبی است که درپیاده‌سازی و طرح‌ریزی مشخصه‌های غیرخطی از فضای چندبعدی به فضای یک‌بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱۰]. برخلاف بیشتر روش‌های قدیمی که از یک الگوریتم ساده برای حل مسائل موردنظر استفاده می‌کنند، این روش از فرایند فراگیری از نمونه‌ها بهره می‌برد. الگوریتم شبکه عصبی خود سامان‌ابزار مناسبی برای خوشه‌بندی داده‌هاست و قادر است روابط آماری غیرخطی بین داده‌های ورودی را به روابط هندسی ساده تبدیل کند که یک رابطه رگرسیونی بازگشتی نامتغیر است؛ چنانکه با ارائه هر نمونه، رگرسیون به‌صورت بازگشتی اجرا می‌شود. روش SOM برای کاربردهای مختلفی قابل استفاده است. به‌همین دلیل نسبت به دیگر روش‌های موجود توجه بیشتری را به‌خود جلب کرده است. با این وجود این روش به مقداردهی اولیه حساس می‌باشد و داده‌های خارج از محدوده، خوشه‌بندی را دچار مشکل می‌سازد[۱۱]. این روش در مرحله اکتشاف میدان، در مناطقی که چاه‌های اکتشافی به تعداد زیاد وجود ندارد، به‌کار می‌رود. اطلاعات اضافی می‌توانند به شناخت طبقات کمک کند. انطباق اطلاعات چاه و نقشه تغییر رخساره‌ها، تخمینی از کیفیت مخزن در نواحی مختلف ارائه می‌کند [۱۲-۱۳].

الگوریتم آموزشی شبکه‌های عصبی خودسازنده به‌صورت زیر خواهد بود.[۱۴-۱۵]

۱- محاسبه فاصله بین الگو و تمام سلول‌های عصبی (dij=||xk-wij||)

۲- انتخاب نزدیک‌ترین نِرون به‌عنوان نِرون برنده [wij:dij=min(dmn)]

۳- به‌روزرسانی هر نِرون با توجه به قاعده

wij=wij+αh(wwinner,wij) ||xk−wij||

۴- این روند تا زمانیِ که یک معیار توقف خاص به‌دست آید تکرارمی‌شود. معمولاً معیار توقف، تعداد ثابتی از تکرار است. برای اثبات همگرایی و ثبات نقشه، نرخ یادگیری و شعاع همسایگی در هر تکرار کاهش می‌یابد. بنابراین، همگرایی به‌سمت صفر میل خواهد کرد. فاصله اندازه‌گیری بین بردارها فاصله اقلیدوسی است، ولی از سایر اندازه‌گیری‌های فواصل مانند فاصله Mahalanobis نیز می‌توان استفاده نمود.

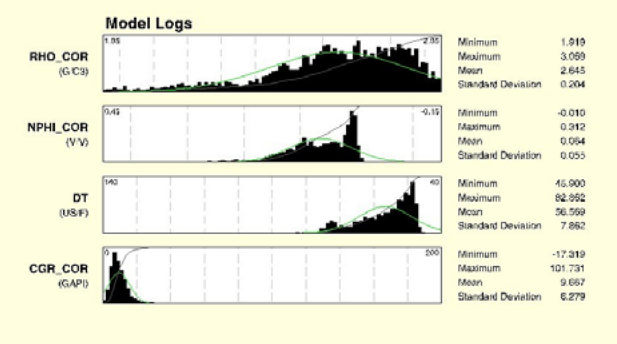
۲-۲-۳- آنالیز خوشه‌ای دینامیک

خوشه‌سازی دینامیکی تکنیکی برای یافتن عضوهای مشابه در الگوریتم موردنظر، بر مبنای نیاز است. در واقع خوشه‌سازی

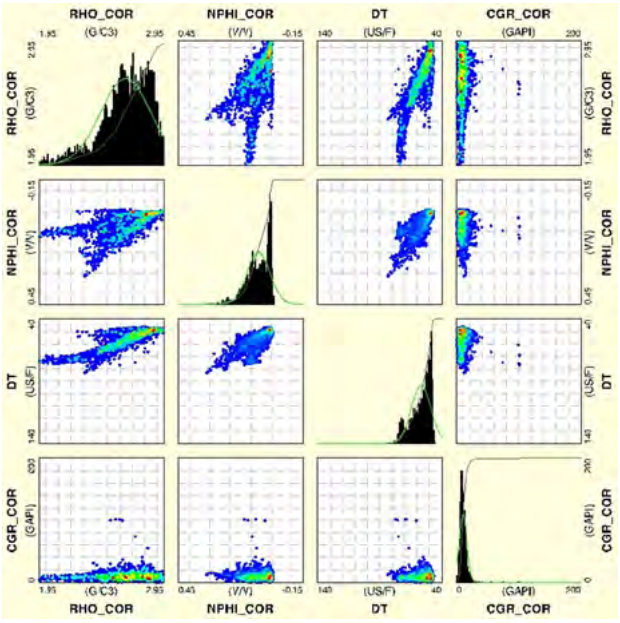
دینامیک یک الگوریتم (K-nearest neighbor) است. در خوشه‌سازی دینامیک هدف، مشخص کردن یک جایگاه برای هر عنصر در الگوریتم موردنظر است. خوشه‌سازی دینامیک یک قطعه عمل از محیط عمل‌های دینامیک است. یک خوشه دینامیک قادر خواهد بود عنصرهایی را از خوشه خارج کند و یا عنصرهایی را به خوشه اضافه نماید. خوشه‌سازی دینامیک می‌تواند خوشه‌سازی داده‌ها را به‌ترتیبی که مورد نیاز است شروع و به اتمام برساند. وقتی یک خوشه دینامیک تعریف می‌شود می‌توان داده‌ها را به‌صورت الگویی کاربردی در اختیار داشت.

۲-۲-٤- خوشه‌سازی سلسله مراتبی

خوشه‌سازیِ سلسله‌ای ابزاری مفید برای زون‌بندی مخازن هیدروکربنی است. با استفاده از این روش می‌توان در ابعاد نامتناهی



شکل ۲ | هیستوگرام نمودارهای الکتریکی به‌عنوان ورودی مدل



شکل ۳ | کراس پلات نمودارهای الکتریکی ورودی مدل

فضایی، خوشه ساخت هرچند خوشه‌های ساخته شده صرفاً در سه بُعد فضایی قابل مشاهده خواهند بود. روشی AHC برای گروه‌بندی داده‌ها به‌طور هم‌زمان در مقیاس‌های مختلف استفاده از درخت خوشه‌ای است. به‌بیان دیگر، تولید یک سلسله خوشه از خوشه‌های کوچک‌تر با محتوای داده‌ای خیلی شبیه به‌هم برای تولید خوشه‌های بزرگ‌تر که حاوی محتوای داده‌ای با بیشترین اختلاف می‌باشند، از وظایف خوشه‌سازی سلسله‌ای است[۱۶-۱۷]. این روش، یک خروجی گرافیکی تولید کرده که به‌عنوان دندروگرام یا درخت شناخته می‌شود، به‌طوری‌که نشان‌دهنده ساختار خوشه‌سازی سلسله‌ای است[۱۸]. این درخت یک مجموعه مستقل از داده‌ها نیست، بلکه بیشتر به‌عنوان یک طبقه‌بندی چندسطحی است که خوشه‌ها در یک سطح پایین‌تر به خوشه‌های سطوح بالاتر متصل می‌شوند. [۱۶-۱۷]این خاصیت به ما اجازه می‌دهد که تصمیم بگیریم کدام سطح یا مقیاس از خوشه‌سازی برای موضوع موردنظر مناسب‌تر است.

۲-۳- داده‌های ورودی مدل‌های خوشه‌سازی

استفاده از داده‌های متفاوت برای انجام عملیات خوشه‌سازی در یک توالی می‌تواند نتایج متفاوتی را به‌دنبال داشته باشد. درنتیجه بر اساس هدفی که برای تفکیک رخساره‌های مختلف در یک توالی تعیین می‌شود، استفاده از داده‌های مناسب برای تفکیک توالی مورد مطالعه اهمیت فراوانی دارد.

در مطالعه حاضر با توجه به هدف مورد مطالعه که تفکیک رخساره‌های الکتریکیِ زمین‌شناسی/ مخزنی در توالی یک مخزن کربناته بود، برای اکثر داده‌های ورودی از نمودارهایی استفاده شد که ویژگی‌های سنگ‌شناسی و تخلخل را اندازه‌گیری می‌کنند. همچنین، از نسخه تصحیح شده (Corrected) این داده‌ها به‌منظور داشتن اعتبار قرائت بیشتر استفاده شد. داده‌ها شامل چگالی تصحیح شده (RHO_COR)، نوترون تصحیح شده (NPHI_COR)، صوتی (DT) و گامای تصحیح شده (CGR_COR) می‌باشند. شکل-۲ اسامی داده‌های مورد استفاده را همراه با نمودار فراوانی قرائت هرکدام از آنها ارائه می‌دهد. همچنین در شکل-۳ نمودارهای متقاطعِ داده‌های ورودی نسبت به‌هم رسم شده است.

۲-٤- تولید خوشه‌ها به روش MRGC

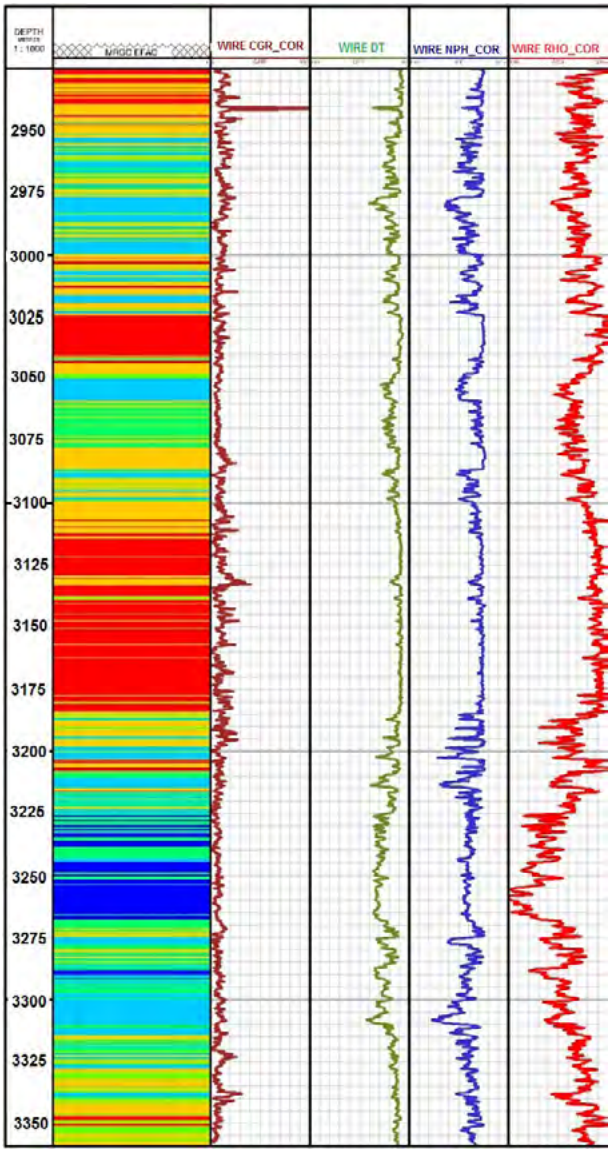
روش MRGC برای آنالیز ساختارهای پیچیده و دسته‌بندی طبیعی گروه‌های داده‌ها در شکل‌ها، اندازه‌ها و چگالی‌های متفاوت بسیار مناسب است[۸]. درنتیجه با شناسایی رخساره‌های رسوبی در یک توالی مخزنی، دید بهتری نسبت به شکل مخزن، پراکندگی خصوصیات پتروفیزیکی و سنگ‌شناسی سازند مخزنی و درنهایت واحدهای جریانی موجود در آن سازند مخزنی پیدا می‌شود. شناخت صحیح این ویژگی‌ها

در اکتشاف، تولید و بهره‌برداری از مخازن نفت و گاز حائز اهمیت فراوان است.

این روش با تحلیل داده‌های ورودی قادر است مدل‌های بهینه را شناسایی و معرفی نماید. درنتیجه، این روش برای تعیین تعداد رخساره‌ها به‌عنوان الگو درنظر گرفته شد و در ادامه با توجه به مدل رخساره‌ای بهینه که توسط این روش معرفی می‌شود، تعداد رخساره‌ها یا خوشه‌ها در روش‌های دیگر بر اساس این روش تعیین شده تا درنهایت بتوان مقایسه‌ی بهتری بین روش‌های مورد استفاده انجام شود.

درنتیجه باتوجه به داده‌های ورودی و انتخاب حد بالا و پایین تعداد خوشه‌های بهینه برای این روش، حداقل تعداد خوشه‌ها برای مدل‌های بهینه‌ای که معرفی خواهد کرد ۵ خوشه درنظر گرفته شد. به این معنی که مدل کمتر از تعداد خوشه‌ها یا رخساره قابل‌قبول نیست و حداکثر خوشه‌ها در مدل بهینه نیز مدلی با ۲۰ خوشه انتخاب شد. درنتیجه اولین مدل بهینه که توسط این روش معرفی می‌شود، به‌عنوان مدل موردنظر استفاده شد. مدلی که در این روش معرفی شد، مدلی با ۶ خوشه بود.

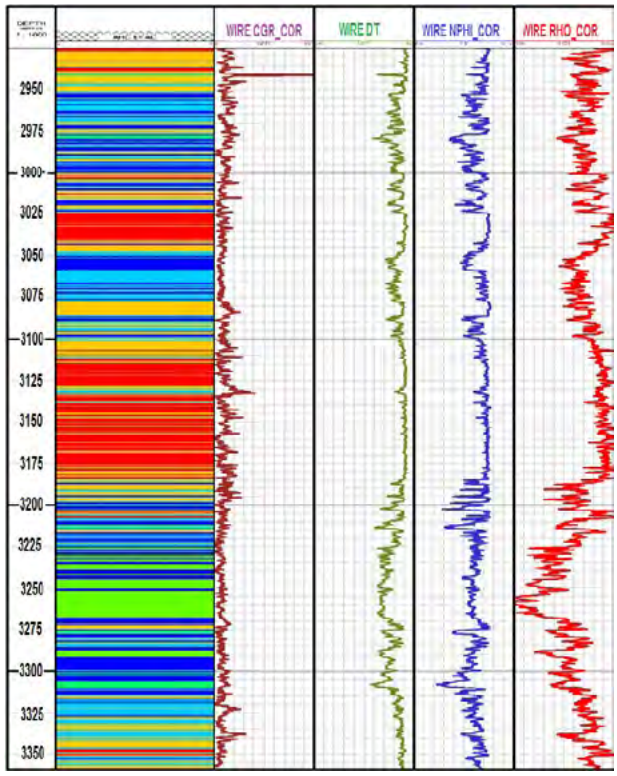
مدل رخساره‌ای تهیه شده با روش MRGC در توالی چاه اعمال شد و درنهایت توالی مخزن مورد مطالعه به بخش‌های مختلفی بر اساس مدل مورد استفاده تقسیم‌بندی شد. شکل-۴ توالی چاه مورد استفاده پس از اِعمال مدل را نمایش می‌دهد. در این شکل به‌ترتیب از سمت چپ، ستون اول عمق، ستون دوم تفکیک توالی مورد بررسی در چاه مورد مطالعه به محدوده‌هایی با رنگ‌های متفاوت می‌باشد که هر رنگ نماینده یکی از رخساره‌های دسته‌بندی شده است. ستون‌های بعدی در این شکل نیز نمودارهای ورودی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۴ | تفکیک ۶ دسته یا رخساره بر اساس قرائت نمودارهای ورودی مدل در طول مخزن مورد مطالعه (MRGC)

۲-۵- تولید خوشه‌ها با روش AHC

در اینجا نیز با توجه به اینکه تعداد خوشه‌ها باید به‌کمک کاربر تعیین گردد، تعداد ۶ خوشه با توجه به مدل الگو برای



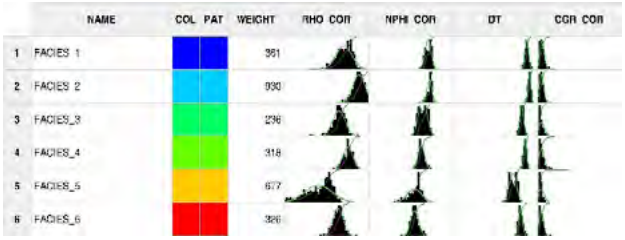
شکل ۵ | تفکیک توالی مخزن مورد مطالعه به ۶ رخساره حاصل از قرائت نمودارهای الکتریکی ورودی مدل (AHC)

آن در نظر گرفته شد که درنتیجه ۶ خوشه تولید شد.

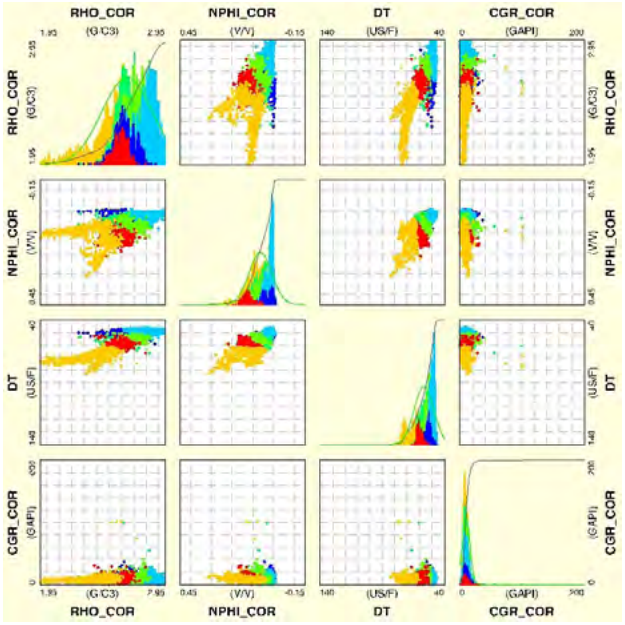
۲-۶- تولید خوشه‌ها با روش SOM

روش خوشه‌سازی SOM برخلاف روش‌های قبلی، در فضای دوبُعدی خوشه‌ها را تعیین می‌کند. در این روش برای تعیین تعداد دسته‌ها یا خوشه‌ها، محورهای X و Y برای آن تعیین می‌شود. ویژگی‌هایی که می‌خواهیم به‌عنوان مجموعه داده ورودی SOM در الگوریتم پیشنهادی لحاظ شوند عبارتند از: مختصات x و y هر گره در فضای شبکه. الگوریتم آموزشی ساختار گره‌های نقشه خودسازمانده برای نمایش کل مجموعه داده‌ها و وزن‌های مربوط به آنها، بهینه‌سازی در طی هر مرحله از تکرار می‌باشد. در هر مرحله، یک بردار x ازمجموع داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شده و فاصله بین آنها و همه بُردارهای وزنی شبکه محاسبه می‌شود.

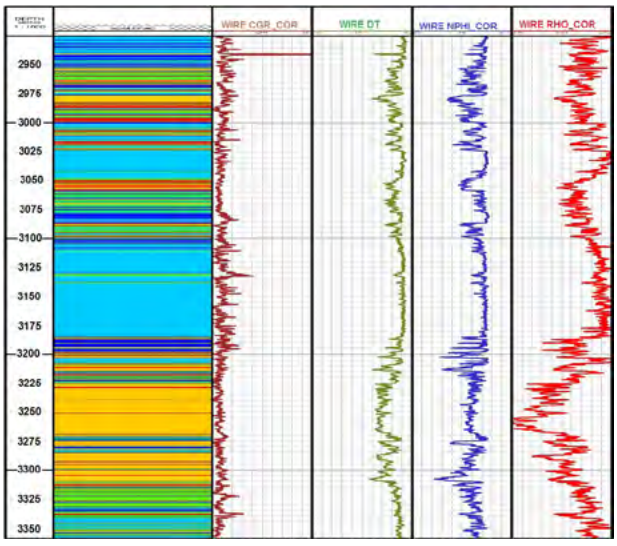
بنابراین یک توپولوژی مطلوب به دست خواهد آمد. در اینجا



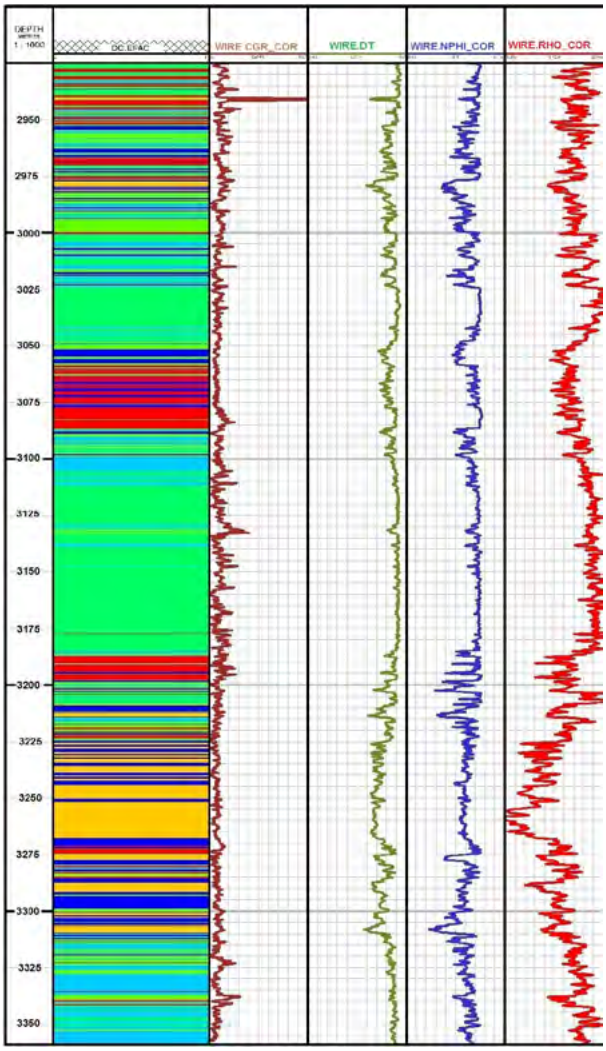
شکل ۶ | دسته‌ها یا رخساره‌های تفکیک شده بر اساس قرائت نمودارهای الکتریکی (SOM)



شکل ۷ | کراس‌پلات نمودارهای الکتریکی ورودی مدل بر اساس رخساره‌های تفکیک شده (SOM)



شکل ۸ | تفکیک توالی مورد مطالعه بر اساس قرائت نمودارهای الکتریکی ورودی مدل در ۶ رخساره (SOM)

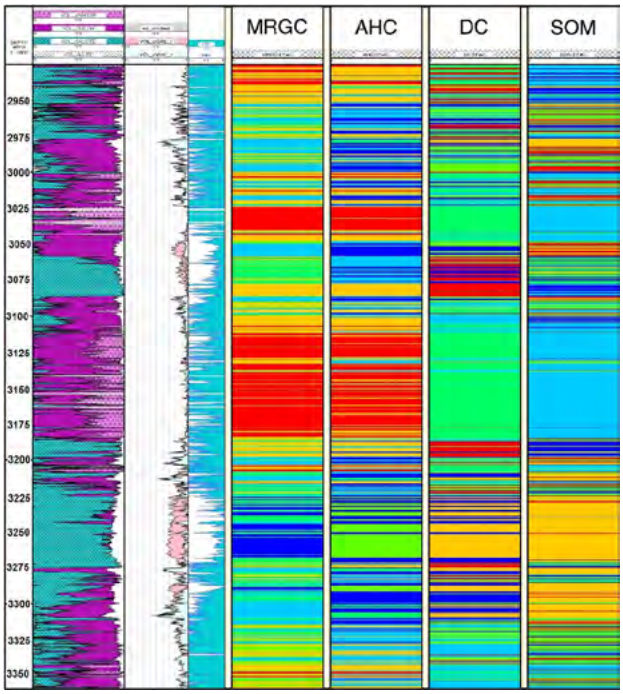


شکل ۹ | تفکیک توالی مخزن مورد مطالعه به ۶ رخساره بر اساس قرائت نمودارهای الکتریکی ورودی مدل DC

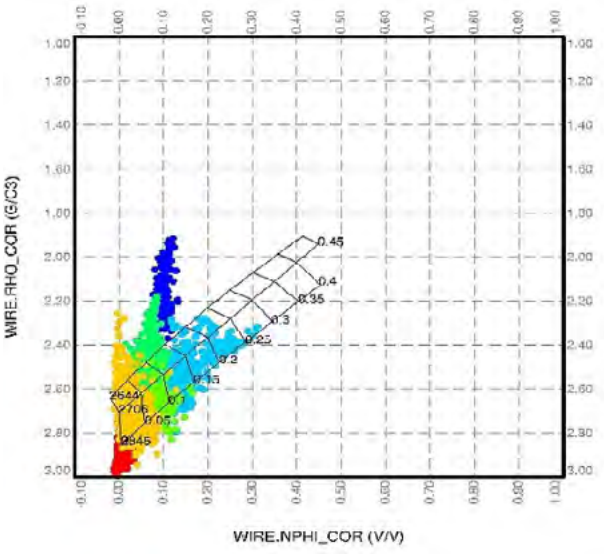
مدل SOM بهینه، مدل با تعداد دسته‌های ۲ در محور X و تعداد دسته‌های ۳ در محور Y انتخاب شد که حاصلضرب محورها در این مدل نهایتاً تعداد ۶ خوشه با توجه به قرائت داده‌های ورودی مدل شناسایی شد. شکل-۶ مشخصات آماری خوشه‌های تولید شده با این روش را نشان می‌دهد. همچنین شکل-۷ روند ۶ خوشه تولید شده در نمودارهای متقاطع داده‌های ورودی مدل نسبت بهم را نشان می‌دهد. شکل-۸ نیز توالی مخزن مورد مطالعه پس از اِعمال مدل SOM را نشان می‌دهد.

۲-۷- تولید خوشه‌ها به روش Dynamic Clustering

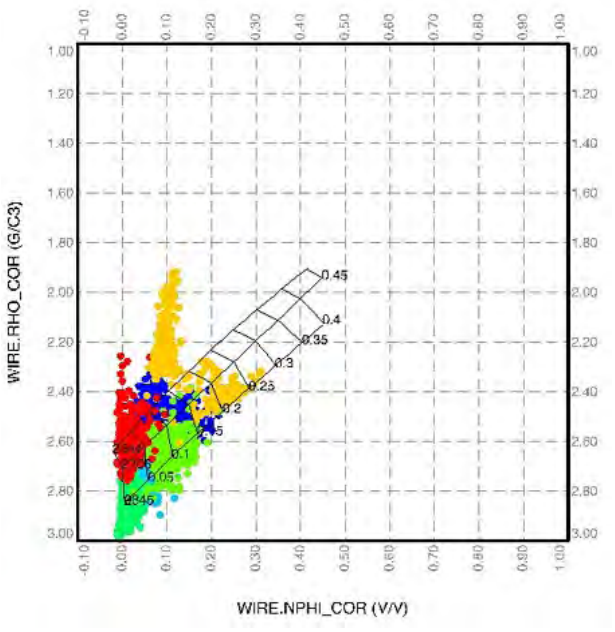
روش خوشه‌سازی دینامیک از جمله روش‌هایی است که بدون ناظر



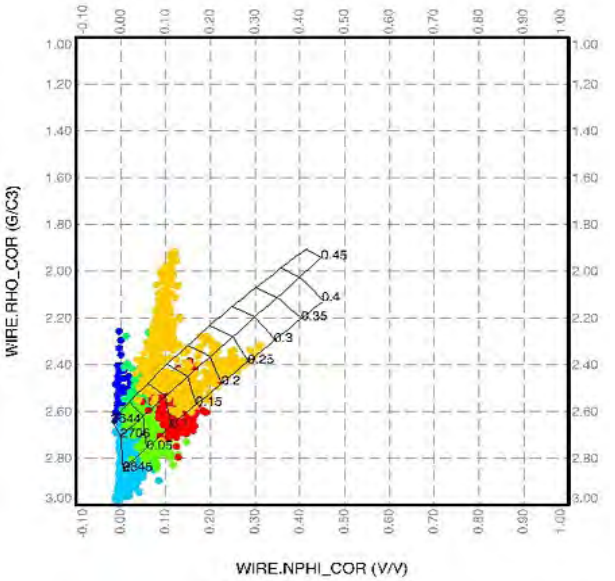
شکل ۱۰ | تفکیک توالی مخزن مورد مطالعه به چهار روش مورد استفاده به همراه پارامترهای پتروفیزیکی مخزن (حجم کانی ها و سیالات)



شکل ۱۱ | کراس‌پلات نوترون/ چگالی و تفکیک بخش‌های مختلف آب بر اساس رخساره‌های مدل MRGC



شکل ۱۲ | کراس‌پلات نوترون/چگالی و تفکیک بخش‌های مختلف آن بر اساس رخساره‌های مدل DC



شکل ۱۳ | کراس پلات نوترون/چگالی و تفکیک بخش‌های مختلف آن بر اساس رخساره‌های مدل AHC

قادر به تشخیص محدوده‌ها، دسته‌ها یا رخساره‌های با مشخصات درون‌گروهیِ برابر می‌باشد. در این روش تعداد خوشه‌ها با توجه به تعداد خوشه‌های بهینه در مدل MRGC، ۶ خوشه در نظر گرفته شد(شکل-۹).

۳- آنالیز خوشه‌های تولید شده

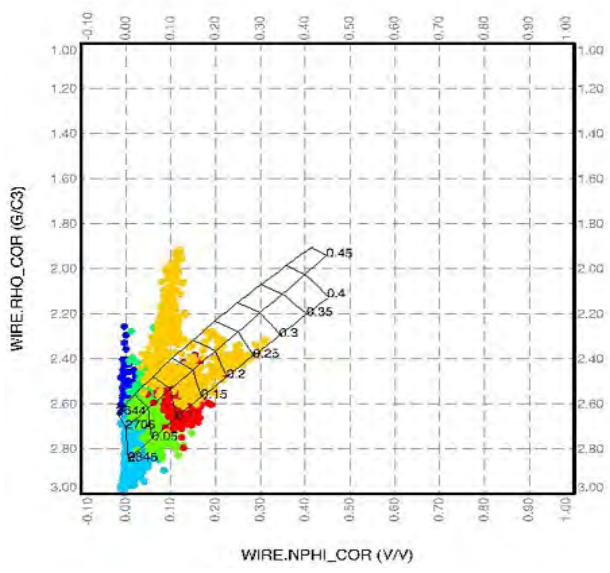
پس از تفکیک توالی مخزن مورد مطالعه به بخش‌های مختلف، این بخش‌ها یا همان خوشه‌ها یا رخساره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هر خوشه یا رخساره که در توالی مخزن مورد مطالعه با استفاده از دسته‌بندی قرائت داده‌های ورودی تفکیک شده است، نمایانگر بخشی از توالی با شرایط زمین‌شناسی/ مخزنیِ تقریباً مشابه می‌باشد. اختلاف خوشه‌ها نیز اختلاف در شرایطِ ذکر شده را نشان می‌دهد.

روش‌های مورد استفاده در این مطالعه، با توجه به سازوکار متفاوتشان در تفکیک خوشه‌های مختلف، اختلافاتی در تعیین رخساره‌ها بین آنها وجود خواهد داشت و عموماً رخساره‌های تفکیک شده در دو روش مشابه هم نخواهند بود. درنتیجه باید رخساره‌های تفکیک شده در هر روش را با شرایط زمین‌شناسی/ مخزنی در توالی مورد مطالعه بررسی و همچنین با یکدیگر مقایسه کرد تا درنهایت، مناسب‌ترین روش که توانسته تفکیک بهتری از شرایط سازندی داشته باشد، معرفی گردد.

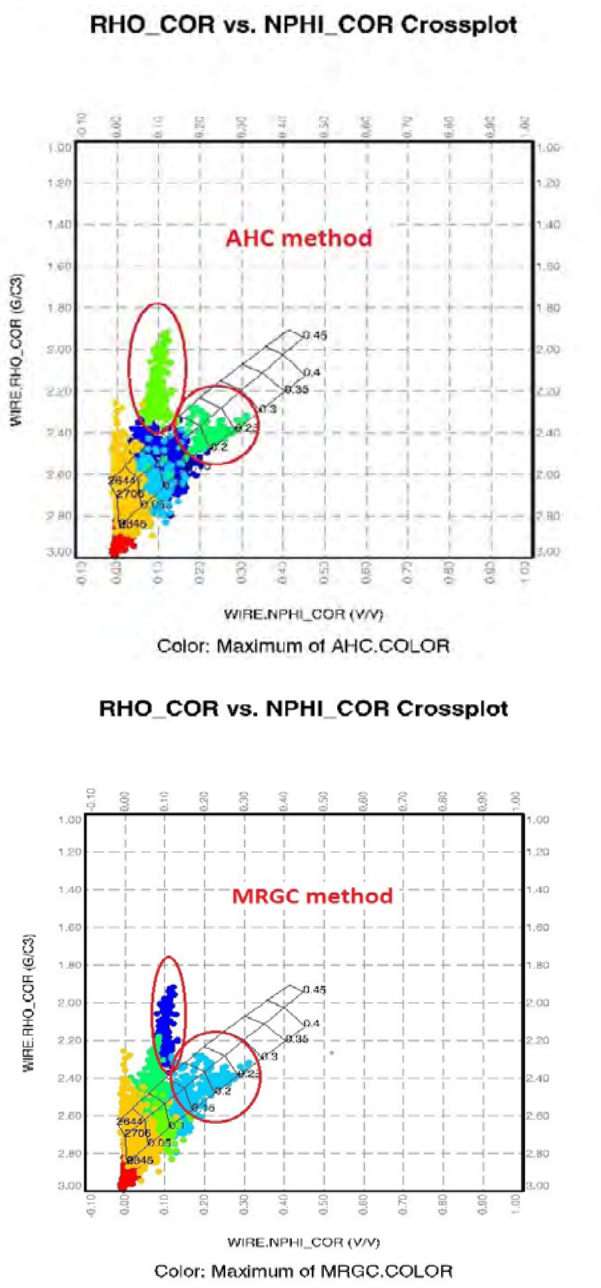
شکل-۱۰ توالی مخزن مورد مطالعه را نشان می‌دهد که سنگ‌شناسی و پارامترهای مخزنی (تخلخل و حجم سیالات) در توالی آن نشان داده شده است. همچنین در کنار این پارامترها، رخساره‌های تفکیک شده با ۴ روشِ مورد استفاده نیز نشان داده شده است.

در شکل-۱۰ از سمت چپ: ستون اول عمق (Depth)، ستون دوم حجم کانی‌های توالی مورد بررسی(سنگ شناسی) به‌همراه مقدار تخلخل موجود در سازند، ستون سوم حجم هیدروکربور(گاز)، ستون چهارم اشباع آب و ستون‌های بَعدی به‌ترتیب رخساره‌های تفکیک شده به روش‌های DC، AHC، MRGC و SOM را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل-۱۰ مشاهده می‌شود، در هر ۴ روش به‌طور

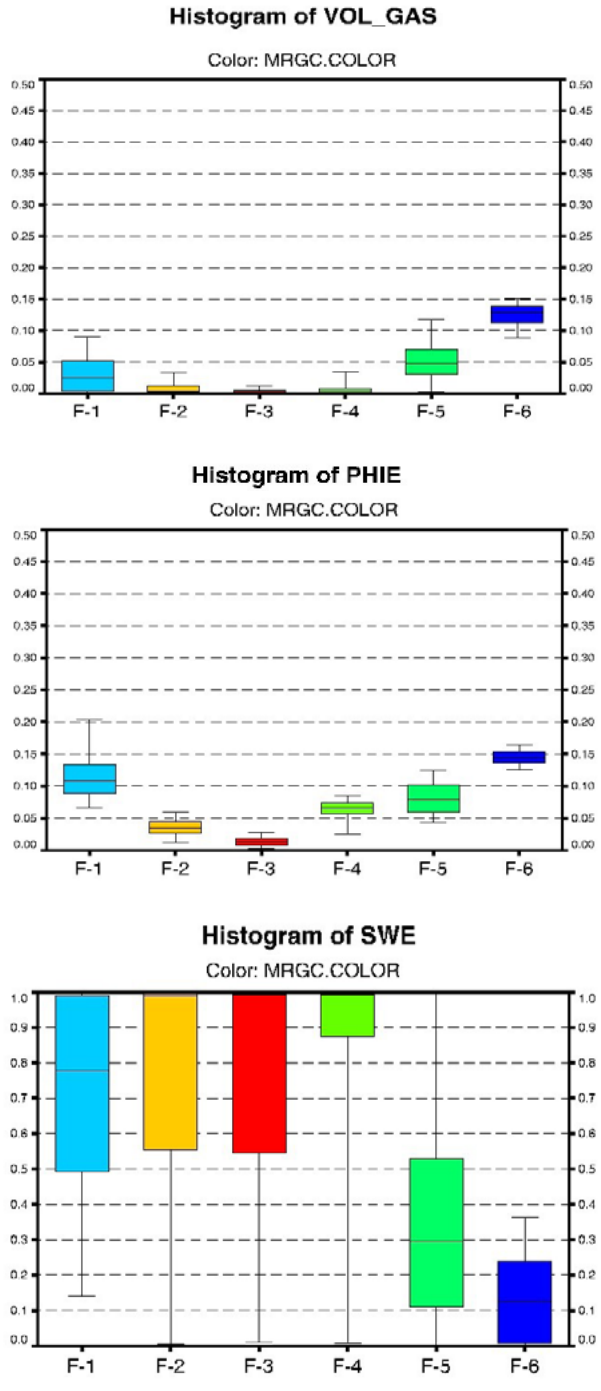


شکل ۱۴ | کراس پلات نوترون/چگالی بر اساس تفکیک رخساره‌های مدل SOM

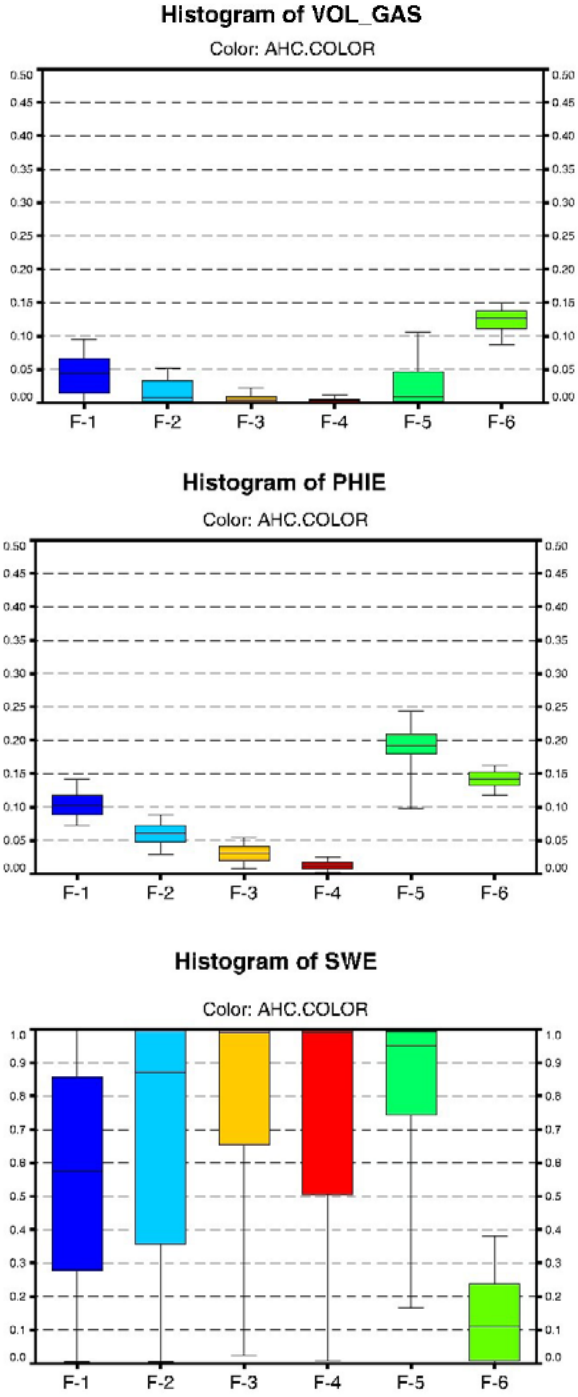


شکل ۱۵ | کراس‌پلات نوترون/ چگالی بر اساس تفکیک رخساره‌های مدل‌های MRGC و AHC

کلی می‌توان نقاط اشتراکی را مشاهده نمود. به‌عنوان مثال در قسمت‌های ابتدایی توالی مورد بررسی که سنگ‌شناسی آهک و دولومیت با میان‌لایه‌های کمی انیدریت و میزان کمتری شیل وجود دارد، تغییرات زیادی بین دو سنگ‌شناسی اصلی این توالی یعنی آهک و دولومیت در مقیاس کم دیده می‌شود که همین تغییرات در هر ۴ روش مورد استفاده (البته با رنگ های مختلف) در همان محدوده‌ی عمقی به‌خوبی قابل مشاهده است. اما نکته‌ای که مورد بررسی است و دقت روش‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد، دقت تفکیک این تغییرات در مقیاس‌های بسیار کوچک است.



شکل ۱۶ | هیستوگرام تخلخل (PHIE)، اشباع آب (SWE) و حجم گاز (VOL-GAS) در هر رخساره در مدل MRGC



شکل ۱۷ | هیستوگرام تخلخل (PHIE)، اشباع آب (SWE) و حجم گاز (VOL-GAS) در هر رخساره در مدل AHC

٤- تعیین سنگ‌شناسی

نمودار متقاطع نوترون-چگالی، بهترین حد تفکیک کانی‌های مختلف سازند را در بین چارت‌های دوتایی دارد[۱۹]. این کراس‌پلات همچنین بهترین تشخیص تخلخل را در بین سایر کراس‌پلاتها داراست[۲۰]. محل قرارگیری نقطه با توجه به فاصله نقطه از خطوط ماتریکس نشانگر درصد لیتولوژی است[۲۱].

این نمودار متقاطع در مواردی نیز دارای محدودیت استفاده است؛ در زمانی‌که سطح دیواره چاه دارای ناهمواری‌های زیادی باشد و یا گِل‌های حفاری سنگین که روی قرائت ابزار چگالی تأثیرگذار خواهد بود، این نمودار جواب صحیحی نخواهد داد. البته در سازندهای گازدار نیز وجود گاز سبب تأثیر روی هر دو نگار نوترون و چگالی خواهد شد که باعث می‌شود پراکندگی داده‌ها در قسمت چپ و به سمت بالا کشیده شوند که در این موارد نیز باید تصحیح و مُفسِّر دقت داشته باشد. شیل‌ها نیز در این نمودار متقاطع به دو صورت قابل تشخیص هستند؛ وجود کانی‌های رسی (شیل‌ها) سبب کشیده شدن پراکندگی داده‌ها به طرف راست و پایین(در نمودار نشان داده شده است) می‌شوند. همچنین نوار رنگی پایین نمودار نیز که بر مبنای میزان مواد رادیواکتیویته است، این کانی‌ها را شناسایی می‌کند زیرا تمرکز بالای مواد رادیواکتیو در لایه‌های شیلی است. به‌منظور تفسیر این نمودار در توالی مورد بررسی و بالاتر رفتن دقت تفسیر آن در چاه مورد مطالعه، ابتدا باید این دو نمودار از لحاظ کیفیتِ برداشت و تطابق عمقی در چاه کنترل و تصحیحات محیطی روی آنها انجام گیرد. پس از انجام این مراحل، از نمودارهای ویرایش شده و تصحیح شده این دو نمودار(چگالی و نوترون) برای تفسیر محدوده‌های مختلف آن از لحاظ شرایط زمین‌شناسی و مخزنی استفاده شد. شکل‌های-۱۱ تا ۱۴ نمودار متقاطع نوترون/چگالی را با توجه به تفکیک رخساره‌ای در ۴ روش مورد استفاده نشان می‌دهد[۵].

با توجه به تفکیک رنگ‌های موجود در هرکدام از روش‌های مورد استفاده در نمودار متقاطع نوترون/چگالی، مشاهده می‌شود که قسمتی که فاقد تخلخل می‌باشد[۱۰] تقریباً در تمامی ۴ روش مورد استفاده با تُن رنگی مشخصی تفکیک شده است؛ البته بخش‌هایی که دارای تخلخل بالا و اثر گاز هستند[۱۱]. روش‌هایی که این دو ناحیه با شرایط پتروفیزیکی متفاوت را از هم جدا کرده‌اند روش‌های MRGC و AHC می‌باشند که دقت این دو روش را نسبت به روش‌های DC و SOM برای تفکیک رخساره‌های زمین‌شناسی/ پتروفیزیکی نشان می‌دهد. شکل-۱۵ محدوده‌های تفکیک شده موردنظر را در دو روش MRGC و AHC نشان می‌دهد.

در نتیجه دو روش MRGC و AHC تفکیک بهتری از توالی مخزن از لحاظ وضعیت زمین‌شناسی/ پتروفیزیکی دارد. در ادامه، تفکیک میزان تخلخل و حجم گاز و همچنین اشباع آب در هر رخساره در دو روشِ انتخاب شده بررسی شد. شکل‌های-۱۶ و ۱۷ نمودارهای فراوانیِ مربوط به پارامترهای الف)تخلخل، ب) حجم گاز و ج) اشباع آب را به‌ترتیب در روش MRGC و AHC نشان می‌دهد.

با توجه به تفکیک پارامترهای پتروفیزیکی در هر رخساره در نمودارهای فراوانی نشان داده شده در هر دو روش، مشاهده شد که روش AHC در تفکیک رخساره‌ها با پارامترهای پتروفیزیکی متفاوت اندکی بهتر از روش MRGC عمل نموده است. این بیان را در نمودار فراوانی تفکیک پارامتر تخلخل در هر رخساره به‌خوبی می‌توان مشاهده نمود. در نمودار فراوانی پارامتر پتروفیزیکی تخلخل در روش AHC مشاهده می‌شود که هیچ‌کدام از رخساره‌ها همدیگر را همپوشانی نکرده و کاملاً از هم تفکیک شده‌اند. اما در نمودار فراوانی پارامتر پتروفیزیکی تخلخل در روش MRGC مشاهده می‌شود که برخی از رخساره‌ها نرخ‌های تخلخل برابر با هم را دارند یا به اصطلاح، همدیگر را همپوشانی کرده‌اند(مثلاً رخساره ۴ و ۵). ولی این وضعیت در روش AHC در هیچ‌کدام از رخساره‌ها دیده نمی‌شود. این وضعیت در نمودار اشباع‌شدگی در دو روش نیز تکرار شده است.

نتیجه‌گیری

۱- با توجه به قرائت نمودارهای الکتریکی معرفی شده به‌عنوان ورودی مدل، بهترین مدل با تعداد دسته‌ها و یا رخساره‌ها که در روش MRGC به‌عنوان الگو در نظر گرفته شد، مدلی ۶ دسته، با همان رخساره بود.

۲- در بین روش‌های مختلف خوشه‌سازی برای شناسایی رخساره‌های الکتریکی در توالی مخزن مورد مطالعه، دو روش MRGC و AHC بهترین تفکیک را با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی/پتروفیزیکی مخزن نشان دادند.

۳- بهترین رخساره‌ی مخزنی در توالی مورد بررسی، رخساره آهکی و آهک دولومیتی با داشتن بالاترین میزان حجم تخلخل و هیدروکربور و کمترین اشباع آب معرفی شد.

۴- در بین دو روش MRGC و AHC که به‌عنوان بهترین روش‌ها در این مطالعه برای شناسایی دقیق رخساره‌های الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت، تا حدودی روش AHC توانسته است تفکیک دقیق‌تری از پارامترهای پتروفیزیکی مخزن داشته باشد.

۵- با توجه به مطالعه انجام شده و نتایج به‌دست آمده پیشنهاد می‌شود که:

الف-آنالیز رخساره‌ای به‌دست آمده در دو روش MRGC و AHC که بهترین تفکیک رخساره‌ای را در بین روش‌های دیگر داشت با رخساره‌های رسوبی مطالعه شده از داده‌های مغزه حفاری که نمونه‌های واقعی مخزن به‌شمار می‌روند، مقایسه شود.

ب-شناسایی رخساره‌ها در توالی مخزن مورد مطالعه به روش‌های

دیگری همچون شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، منطق فازی و سایر روش‌های دیگر انجام شود و با نتایج به‌دست آمده مقایسه گردد تا درنهایت بهترین روش در چاه‌های فاقد مغزه‌ی حفاری شناسایی شود.

ج- تفسیر رخساره‌های مخزن با تصویر ابزار تصویریِ برداشت شده از دیواره چاه از ابزار Image Log در صورت در دسترس بودن مورد مقایسه قرار گیرد. ■

پانویس‌ها

1- Clustering
2-Multi Resolution Graph-Based Clustering
3- Ascendant Hierarchical Clustring
4- Self Organizing Map
5- Dynamic Clustering
۶- آنالیز خوشه‌ای چند تفکیکی بر پایه گراف
۷- خوشه سازی سلسله مراتبی
۸- آنالیز خوشه ای دینامیک
۹- خوشه سازی به روش نقشه های خودسامانده
10- No Porosity
11- Gas effect high porosity

منابع

[۱] باقری ح و رحیمی‌بهار ع.الف.،" استفاده از خوشه‌سازی (Clustering) لاگ‌ها به‌منظور زون‌بندی مخزنی سازند فهلیان در یکی ازمیادین جنوب غرب ایران" نشریه‌ی علمی پژوهشی پژوهش نفت، پژوهشگاه صنعت نفت،۱۳۹۳

[۲] کدخدائی ایلخچی، ع.، رضائی، م.ر.، معلمی، س.ع. و شیخ‌زاده، الف.، ۱۳۸۴، تخمین گونه‌های سنگی و تراوایی در میدان گازی پارس‌جنوبی با استفاده از تکنیک خوشه‌سازی میان‌مرکز فازی و مدل‌سازی فازی، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص. ۶۹۰ -۶۷۸.

[3] Serra, O., 1986, Fundamentals of Well-Log Interpretation, Vol2. The Interpretation of Logging Data, Elsevier Science Publishers, Amesterdam, 15B: pp. 684.

[4] Pabakhsh, M., Ahmadi, K., Riahi, M.A and Abbaszade shahri, A., 2012, Prediction of PEF and LITH logs using MRGC approach, Life Science Journal; 9(4).

[5] Kumar, B., Kishore, 2006, M., "Electrofacies Classification – A Critical Approach", 6th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, New Delhi, India, pp 822-825.

[۶] رحیمی‌بهار، ع.الف. و پرهام، س.، ۱۳۹۱، "تجزیه و تحلیل رخساره‌های الکتریکی بر اساس رخساره‌های رسوبی"، نشریه‌ی علمی پژوهشی رخساره‌های رسوبی، دانشگاه فردوسی مشهد، ش. ۵ (۱)،ص. ۷۴-۶۱

[7] Ye S.J., and Rabiller Ph., 2000, "A new tool for electrofacies analysis: multi resolution graph based clustering", SPWLA, 41 Annual Logging Symposium, June 4-7.

[8] Khoshbakht, F., and Mohammadnia, M., 2012, Assessment of Clustering Methods for Predicting Permeability in a Heterogeneous Carbonate Reservoir, Journal of Petroleum Science and Technology, Vol. 2, No. 2, 50-57.

[۹] محمودی، س.ح.، موسوی حرمی، ر.، محبوبی، الف. و مهرگینی، ب.، شناسایی و زون‌بندی رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش آنالیز خوشه‌ای چندمتغیره در چاه نمک غربی ۱ منطقه بندرعباس، اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران، ۴ و ۵ خرداد، دانشگاه آزاد شیراز (۸-۱)

[10] Kohonen T., Kaski S. and Lappalainen H., "Self-organized formation of various invariantfeature filters in the adaptive-subspace SOM", Neural Computation 9, pp. 1321-1344. 1997

[۱۱] شهبازی، ش .،۱۳۸۸،طبقه‌بندی و شناسایی رخساره‌های زمین‌شناسی با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری و شبکه‌های عصبی رقابتی، نشریه دانشکده فنی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دوره۴۳، شماره۳، ۱۲شهریورماه،۱۳۸۸ص.

[12] Saggaf, M. M., Toksöz, M. N. and Marhoon, M. I., 2003, "Seismic facices classification and identification by competitive neural networks", Geophysics, Vol. 68, PP. 1984-1999

[13]Lippmann, R.P., 1989,"Pattern classification using neural networks."IEEE Communica tions Magazine

[14] Mukherjee A., "Self-organizing neural network for identification of natural modes", The Journal of Computing in Civil Engineering 11 (1) , pp. 74-77. 1997.

[15] Kohonen T., "Self-Organizing Maps, Springer series in Information Sciences", New York, Springer-Verlag, Vol. 30, pp. 501, 2001

[16] Lukas C. B., 2009, Increasing stakeholder participation in cluster identification, Faculty of The University of North Carolina at Chapel Hill

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

[18] Castillo, E., J.M. Gutierrez, and Hadi, A.S., 1997, Sensitivity analysis in discrete Bayesian networks, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 26: 412-423.

[19] Brock, J., 1986. Applied open-hole log analysis, Gulf Publishing Company, Houston, Texas

[20] Fertl, W. H., 1987, "Log-derived evaluation of shaly clastic reservoirs", Journal of Petroleum Technology, 39(2), pp. 175–194.

[۲۱]رضایی، م.روچهرازی ع.، ۱۳۸۵ ،"اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی"،انتشارات دانشگاه تهران،چاپ دوم، ۶۹۹ ص.