تعیین زون تولیدی به دو روش حد برش و خوشه‌بندی داده‌های لاگ در یک مخزن گازی کربناته

حسن باقری[1*] و فرهاد خوشبخت[2]

۱- بخش مطالعات پتروفیزیک، اداره زمین‌شناسی، شرکت ملی حفاری ایران NIDC

۲- پژوهشکده مطالعات مخازن و توسعه میادین پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۳۰

چکیده

زون تولیدی در توالی یک چاه، شامل فواصلی از سازند مخزنی است که دارای بالاترین میزان تجمع هیدروکربن است. در مطالعهٔ حاضر که در توالی یک مخزن گازی کربناته صورت گرفت، زون‌های تولیدی با دو روش کاملا متفاوت مشخص شدند. در روش اول که عموماً از این روش برای تعیین زون‌های تولیدی استفاده می‌شود، با استفاده از تعیین حد برش برای دو پارامتر پتروفیزیکی، تخلخل مؤثرو اشباع آب مؤثر این فواصل مشخص شد و در روش دوم با استفاده از خوشه‌بندی داده‌های لاگ و استفاده از روش نوین MRGC این زون‌ها مشخص شدند. حدود برش برای پارامترهای تخلخل مؤثر و اشباع آب مؤثر به ترتیب ۳= <PHIE= و ۵۵=>SWE درصد در نظر گرفته شدند. در روش خوشه‌بندی، دو مدل که در یکی از آنها لاگ‌های خام و در مدل دیگری لاگ‌های ارزیابی شده مد نظر بود، مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به میزان تجمع هیدروکربن در رخساره‌های تفکیک شده در دو مدل، مدلی که لاگ‌های ارزیابی شده مد نظر بود دقت بالاتری نشان داد. در نهایت هر دو روش خوشه‌بندی و حد برش از لحاظ دقت تعیین زون‌های تولیدی، بررسی شدند. با توجه به اینکه دو روش سازوکاری کاملا متفاوت داشتند، دقت هر دو روش در تعیین زون های تولیدی بسیار بالا مشاهده شد. درنتیجه برای تعیین زون‌های تولیدی علاوه بر روش معمول حد برش،می‌توان از روش خوشه‌بندی MRGC نیز استفاده نمود.

کلمات کلیدی: زون تولیدی، حد برش، خوشه‌بندی، روش MRGC

مقدمه

معمولا مهندسین مخزن، تمام بازهٔ حفاری شده مخزن را به دو قسمت زون تولیدی[1] و زون غیر تولیدی[2] تقسیم‌بندی می‌کنند [۱]. زون تولیدی شاخص مهمی در بررسی کیفیت مخزن به شمار می‌رود زیرا شناسایی این بخش‌ها در چاهی که حفاری شده است به عنوان فواصلی که دارای کیفیت مخزنی مناسب و حجم هیدروکربن قابل ملاحظه هستند، مورد توجه در عملیات تولید می‌باشد [۲]. زون تولیدی در واقع بخشی از بازه مورد ارزیابی را شامل می‌شود که شرایط مخزنی و پتروفیزیکی قابل قبولی از لحاظ اقتصادی داشته باشد.

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی h64b@yahoo.com

1. Pay Zone
2. Non-pay Zone

داشتن اطلاعات کافی از اعماقی که زون‌های تولیدی قرار دارند به جهت برآورد حجم منابع هیدروکربنی، زیربنای ارزش اقتصادی در صنعت نفت است.با اینکه زون تولیدی پارامتر بسیار کلیدی در ارزیابی و تولید در یک مخزن می‌باشد و از سال‌های پیش مورد توجه بسیاری از پژوهشگران مطالعات مخزن بوده است، ولی تعریف کلی از آن وجود نداشته است تا اینکه در سال ۲۰۱۰ ورتینگتون [۳] تعریف جامعی از زون تولیدی را ارائه نمود تا چندگانگی که در تعریف این زون وجود دارد از بین برود. مخازن هیدروکربنی، سیستم زمین‌شناسی ناهمگنی هستند با پیچیدگی‌های ذاتی بزرگ [۴]. ظرفیت ذخیره‌سازی، جریان سیال و مقدار حجم هیدروکربن وابسته به پارامترهای پتروفیزیکی در یک مخزن است. در توالی نمودارگیری شدهٔ چاه، پس از ارزیابی و محاسبهٔ پارامترهای پتروفیزیکی آن، مشخص نمودن زون‌های تولیدی امری ضروری برای استحصال هیدروکربن می‌باشد. در سال‌های گذشته، تولید در بازهٔ مخزنی بدون پوشش دیوارهٔ چاه صورت می‌گرفت و به همراه هیدروکربن، مقادیر بالای آب نیز تولید می‌شد. امروزه بازهٔ مخزنی مورد نظر در چاه‌ها را جداره‌گذاری[1] نموده و تولید در بخش‌هایی صورت می‌گیرد که بالاترین میزان تجمع هیدروکربن را دارا باشند.این بخش‌ها در واقع همان زون‌های تولیدی مورد نظر است که شناسایی آنها بسیار مهم می‌باشد. شناسایی و تولید از این زون‌ها سبب استحصال بالاترین میزان هیدروکربن و کمترین میزان آب همراه می شود. پس از شناخت این فواصل و با استفاده از عملیات مشبک کاری لوله جداری، استحصال هیدروکربنی صورت می‌گیرد که تا حد امکان کمترین میزان آب همراه را داشته باشد. این موضوع مهم بودن امر تفکیک زون‌های تولیدی در توالی یک چاه را بیان می‌کند. مطالعاتی تا کنون در این زمینه نیز صورت گرفته که بر این اساس در سال ۲۰۰۵ ورتینگتن و کاسنتینو [۵] روش‌هایی را که تا آن زمان برای تعیین بهترین فواصل جهت عملیات مشبک‌کاری[2] به کار گرفته می‌شد را ارائه نمودند. در سال ۲۰۰۸ ورتینگتن [۶] عیارهای حد دینامیک برای تعیین بهترین زون های تجمع و تولید نفت را بررسی کرد. همین محقق در سال ۲۰۱۰ [۳] تعریف جامعی از زون تولیدی و کاربرد آن در مخازن را ارائه نمود. مسعودی و همکارانش [۷] با استفاده از ترکیب اطلاعات به روش انتگرال فازی برای تعیین زون‌های تولید نفت مطالعه‌هایی انجام دادند.

در مطالعهٔ حاضر این زون‌های تولیدی به دو روش در توالی یک چاه با لیتولوژی کربناته مشخص شد. ابتدا در روش اول با تعیین حدود برش[3] برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده، این زون ها را مشخص نمودیم و سپس در روش دوم که تاکنون برای این منظور مورد استفاده قرار نگرفته بود، با استفاده از دسته‌بندی قرائت تعدادی از لاگ‌ها و استفاده از روش نوین MRGC [4] زون‌های تولیدی رابه عنوان دو رخسارهٔ مخزنی و غیرمخزنی از هم تفکیک نمودیم. روش MRGC یکی از روش‌های خوشه‌بندی[5] داده‌های لاگ و بدون ناظر می‌باشد که عموما برای تحلیل رخساره‌های الکتریکی[6] مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصطلاح رخسارهٔ الکتریکی به وسیلهٔ سرا و ابوت در سال ۱۹۸۰ معرفی شد [۸] این عنوان به مجموعه‌ای از پاسخ‌های لاگ گفته می‌شود که سبب متمایز شدن یک لایه یا چینه از دیگر لایه ها می شود. رخسارهٔ الکتریکی معمولا به یک یا چند رخسارهٔ سنگی که به عنوان پاسخ‌های لاگ از خصوصیات پتروفیزیکی سنگ‌ها اندازه‌گیری می‌شوند، اختصاص داده می‌شود [۹]. تحلیل رخساره‌های الکتریکی روشی است برای تقسیم‌بندی پاسخ نگارها به زیر مجموعه‌هایی که نشاندهندهٔ رخساره‌های زمین‌شناسی/ مخزنی بوده و توزیع آن اساس زون‌بندی چینه‌شناسی را تشکیل می‌دهد [۱۰]. در نهایت مدل رخساره‌ایی بهینه برای چاه در نظر گرفته شد و دو روش حد برش و خوشه‌بندی از لحاظ دقت در تعیین زون‌های تولیدی و میزان انطباق با هم مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

برای تعیین زون‌های تولیدی در توالی چاه مورد نظر، از لاگ‌های خام برداشت شده و لاگ‌های ارزیابی شدهٔ چاه که شامل میزان پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده بود، استفاده گردید.

1. Casing
2. Perforation
3. Cut offs
4. Multi Regression Graph Base Clustering
5. Clustering
6. Electrofacies

زون‌های تولیدی در چاه مورد مطالعه به دو روش تفکیک شد که ابتدا در روش اول که عموما مورد استفاده قرار می‌گیرد، با تعیین حد برش برای دو پارامتر پتروفیزیکی تخلخل مؤثر (PHIE) و اشباع آب مؤثر (SWE)، این فواصل مشخص شدند و در روش دوم با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC، دو مدل جداگانه طراحی و در چاه اجرا گردید. در مدل اول با استفاده از قرائت لاگ‌های خام به عنوان ورودی مدل رخساره‌ایی که شامل لاگ‌های NPHI_COR ،RHOB_COR ،DT و LLD بود مدل رخساره‌ایی با دو رخساره در چاه اعمال و در مدل دوم پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به عنوان ورودی برای مدل رخساره‌ایی که شامل PHIE، VOL_UGAS، SWE و VSh بود مدلی با دو رخساره در چاه اعمال گردید که پس از مقایسهٔ دو مدل رخساره ایی، بهترین مدل از لحاظ تفکیک زون‌های دارای تجمع بالای هیدروکربن مد نظر قرار گرفته شد. در نهایت زون‌های تولیدی مشخص شده در روش حد برش با رخسارهٔ مخزنی دسته‌بندی شده به روش MRGC با هم مقایسه و علاوه بر دقت بالای این دو روش در تعیین بهترین فواصل مخزنی، دو روش نیز با هم مطابقت داده شدند.

تعیین زون‌های تولیدی به روش حد برش (Cut off)

در یک مفهوم تحت الفظی، حدود برش، مقادیر محدود کنندهٔ ساده‌ایی هستند که در زمینهٔ مطالعات یکپارچهٔ مخزن، به مقادیر محدود کنندهٔ پارامترهای پتروفیزیکی سازند گفته می‌شوند که هدف اصلی از استفادهٔ آنها، جدا کردن حجم سنگ‌هایی می‌باشد که نقش مهمی در ارزیابی تولید یک مخزن ندارند و تعیین اعماقی که تجمع هیدروکربن اقتصادی دارند [۵]. در واقع این فواصل مورد نظر، زون‌هایی هستند که تمرکز مطالعات مخزنی در آنها صورت می‌گیرد. زون تولیدی تعریف شده است به عنوان ضخامتی از سنگ که تولید از آن به لحاظ اقتصادی نسبت به تکنولوژی، قیمت‌ها و هزینه‌های امروزی مقرون به صرفه باشد. از آنجایی که هزینه‌ها و تکنولوژی تقریباً روزانه درحال تغییر است، بدیهی است که این زون تولیدی نیز هدفی انعطاف‌پذیر خواهد بود. برای این کار می‌توان با تعیین حدود برش مناسب برای خواص مخزنی، لایه‌های عقیم یا بی‌فایده را جدا نمود. این عملیات به‌وسیلهٔ هر دو اطلاعات لاگ و مغزه[1] قابل انجام است. در این روش که بر اساس محاسبات عددی استوار است، جهت مشخص نمودن فواصلی که دارای بالاترین میزان حجم هیدروکربن هستند، برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده شروطی را در نظر گرفته و فواصلی را که با شروط تعیینی صادق باشند به عنوان زون تولیدی و سایر فواصل به عنوان زون ناخالص[2] در نظر گرفته می‌شود. پارامترهای پتروفیزیکی که برای مشخص نمودن این فواصل می‌توان از آنها استفاده کرد به ترتیب اهمیتی که در تشخیص زون‌های تولیدی دارند شامل تراوایی (K)، اشباع شدگی (S)، تخلخل (PHI) و حجم شیل (Vsh) هستند. تعیین حدود برش برای پارامترهای مخزنی نیز به عوامل مختلفی بستگی دارد. یکی از این عوامل، نوع هیدروکربن موجود در مخزن است. گاز یا نفت بودن هیدروکربن موجود در مخزن برای تعیین برخی از حدود برش مانند تخلخل بسیار مهم است. از جمله عوامل دیگر، لیتولوژی مخزن است که در مخازن کربناته و ماسه سنگی حدود برش متفاوتی برای پارامترهای پتروفیزیکی باید در نظر گرفت.

در بین پارامترهای پتروفیزیکی ذکر شده، دو پارامتر تراوایی و اشباع شدگی در تعیین زون‌های تولیدی به روش حد برش، نقش بسیار مهمی دارند. در بسیاری از موارد از پارامترهای دیگری از قبیل تخلخل و حجم شیل برای تعیین زون‌های تولیدی استفاده می‌شود. اگرچه تخلخل به عنوان یکی از ورودی‌های مهم در تعیین زون‌های تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی استفاده از یک معیار تخلخل به تنهایی برای تعیین زون‌های تولیدی می‌تواند اشتباهاتی در محاسبات به وجود آورد.

در توالی چاه مورد ارزیابی که یک مخزنی گازی با لیتولوژی کربناته بود، به دلیل تمیز بودن مخزن از

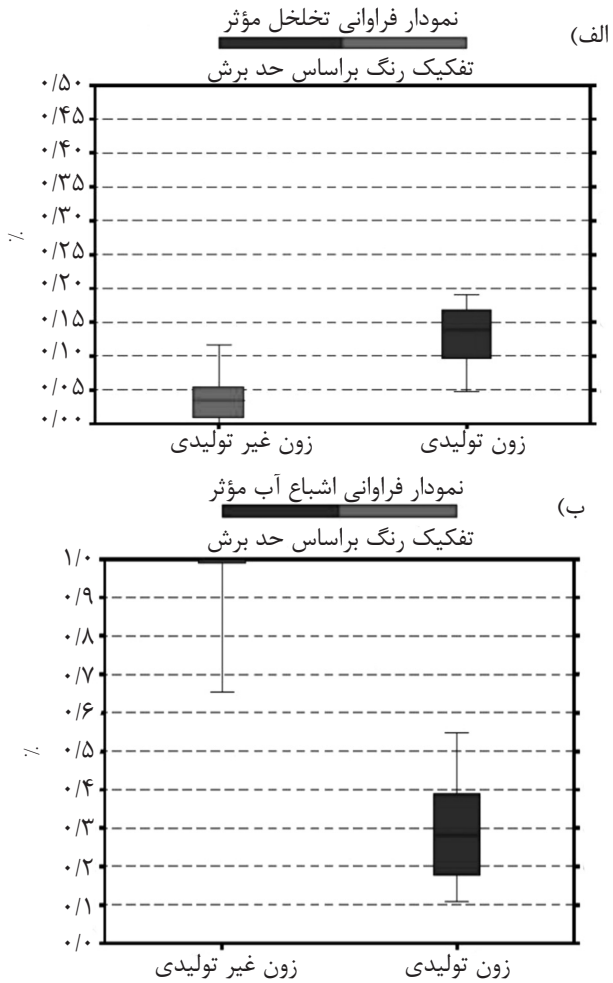
1. Core
2. Gross Zone

لحـاظ کانی‌هـای رسـی (شـیل)، و همچنیـن در دسـت نداشـتن میـزان تراوایـی مخـزن، از ایـن دو پارامتـر صـرف نظـر شـد و بـرای دقـت بیشـتر در تعییـن فواصـل مخزنـی از دو پارامتـر تخلخـل مؤثـر (PHIE) و اشـباع آب مؤثـر (SWE) اسـتفاده شـد. حـدود بـرش تعییـن شـده نیـز بـه صـورت تجربـی در نظـر گرفتـه شـد. جـدول ۱ حـدود بـرش را بـرای دو پارامتـر پتروفیزیکـی مـورد نظـر نشـان می‌دهـد.

درحقیقـت بـا تعییـن ایـن حـدود بـرش بـرای دو پارامتـر پتروفیزیکـی مـورد نظـر در کل توالـی مـورد ارزیابـی، فواصلـی را کـه هـر دو شـرط وارد شـده در آنهـا صـدق می‌کننـد، بـه عنـوان زون تولیـدی در نظـر می‌گیـرد بـه ایـن صـورت کـه در ایـن فواصـل تخلخـل مؤثـر بیشـتر از ۳ درصـد و همچنیـن اشـباع آب موثـر کمتـر از ۵۵٪ خواهـد بـود. شـکل ۱، نمـودار فراوانـی دو پارامتـر ورودی مـدل حد بـرش را در دو زون مخزنـی و غیـر مخزنـی نشـان می‌دهـد. شـکل ۱ (الـف) ، نمـودار فراوانـی تخلخـل و شـکل ۱ (ب) نمـودار فراوانـی اشـباع آب کـه بعنـوان دو پارامتـر ورودی مـدل حـد بـرش در نظـر گرفتـه شـده انـد را در دو زون مخزنـی و غیـر مخزنـی نشـان می‌دهـد. در واقـع توالـی چـاه مـورد ارزیابـی ۴۰۶/۵ m می‌باشـد کـه از ایـن مقـدار، ۱۰۹/۴ m آن زون تولیـدی و مابقـی آن زون غیـر تولیـدی محاسـبه شـد. نسـبت ایـن زون مخزنـی بـه غیرمخزنـی (Net/Gross) برابـر بـا ۰/۲۶۹ m/m بـه دسـت آمـد.

جدول ۱- مقادیر حدود برش برای دو پارامتر تخلخل مؤثر (PHIE) و اشباع آب مؤثر (SWE)

Parameter	Type	Cut off (%)
PHIE	>	۳
SWE	<	۵۵



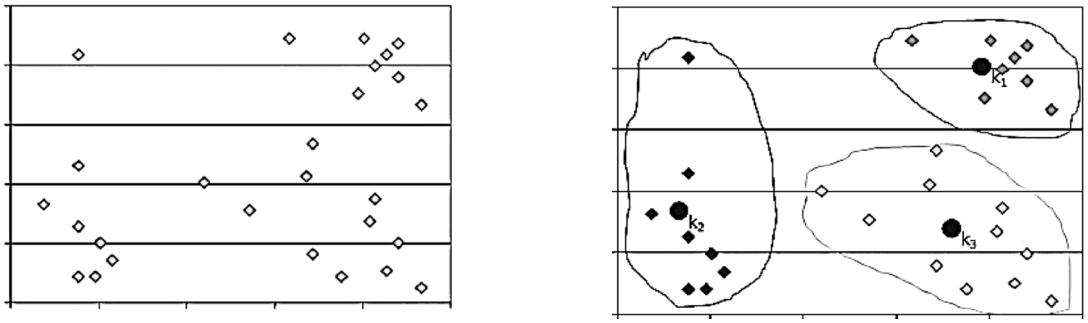
شکل ۱- تفکیک زون مخزنی و غیر مخزنی در دو پارامتر ورودی مدل حد برش (Cut off)

روش حد برش دارای معایبی نیز می‌باشد. به عنوان مثال مرحله‌ای بودن وعدم کنترل روی خروجی‌های آن را می‌توان ذکر کرد. در واقع هیچ معیار مشخصی برای تعیین این حدود برش در مخازن و به خصوص در مخازن گازی وجود ندارد زیرا درمخازن گازی به دست آوردن مقادیر صحیح حدبرش به دلیل ویژگی‌های گاز و همچنین نوع خواص پتروفیزیکی مخازن کربناته، عدم قطعیت بالایی دارد. مثلاً زونی باتخلخل پایین زیر ۵٪ به دلیل شبکه تخلخل خاصی، وجود شکستگی‌ها می‌تواند زون مستعد تولید باشد و یا در زونی با ۱۰٪ شیل خاصیت مخزنی ازبین رود (dispersed shale) درحالی که دریک زون لامینه با شیل لایه‌های با ۵۰-۶۰ ٪، هیدرکربن قابل ملاحظه‌ای تولید می‌شود. ازطرف دیگر اگر بخواهیم عوامل اثرگذار درتولید (نظیرشکستگی‌ها) را درتعیین زون‌های تولیدی منظورکنیم با الگوریتم حدبرش قابل اعمال نیست این درحالی است درروش دوم که روش خوشه‌بندی داده‌های لاگ به نام MRGC می‌باشد و در مطالعهٔ حاضر از این روش استفاده شده است، به راحتی می‌توان خواص شکاف‌ها را نظیر نوع، میزان بازشدگی، طول و جهت‌گیری آن را درمدل وارد کرد. در نتیجه با توجه به قابلیت‌های بالای این روش از جنبه‌های گوناگون، از این روش در ادامه استفاده گردید.

تعیین زون‌های تولیدی به روش خوشه‌بندی (Clustering)

خوشه‌بندی داده‌ها، پایه و اساس الگوریتم‌های مدل‌سازی و دسته‌بندی محسوب می‌شود. هدف از این فرآیند، تعریف گروه‌های طبیعی و اساسی کوچک از یک گروه بزرگ داده‌ها محسوب می‌شود [۱۱]. خوشه‌بندی را می‌توان به عنوان مهمترین مسئله در یادگیری بدون نظارت در نظر گرفت. خوشه به مجموعه‌ایی از داده‌ها گفته می‌شود که با هم شباهت داشته باشند. در خوشه‌بندی سعی می‌شود تا داده‌ها به خوشه‌هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده‌های درون خوشه حداکثر و شباهت بین داده‌های هر خوشه با خوشهٔ دیگر حداقل باشد. شکل ۲ نمونه‌ایی از فرایند خوشه‌بندی را نشان می‌دهد. زمین‌شناسان، پتروفیزیست‌ها و مهندسین مخزن، جهت نشان دادن توصیفی از جزئیات مخزن همراه با چالش‌های آن، باید به شناسایی قابل توجهی از نواحی درون مخزن که بیشترین ویژگی‌های مشابه را با هم دارند، دست یابند [۱۲]. در این میان تجزیه و تحلیل رخساره‌های لاگ برای بیان خصوصیات مخزن بسیار مهم است [۱۳]. روش‌های مختلفی برای خوشه‌بندی داده‌ها وجود دارد که به دو گروه کلی مبتنی بر ناظر و بدون ناظر تقسیم می‌شوند [۱۴]. از گروه اول می‌توان از شبکه‌های عصبی پس انتشار خطا (BPNN)[1] و منطق فازی نام برد و از گروه دوم، به شبکه عصبی خود سامان ده (SOM)[2]، طبقه‌بندی ترتیبی صعودی (AHC)[3]، خوشه‌سازی پویا (DYNCLUST)[4] و خوشه‌سازی گراف پایه با توان تفکیک چند گانه (MRGC) اشاره کرد. ویژگی‌هایی که یک روش مناسب برای انجام عملیات خوشه‌سازی داده‌های لاگ باید داشته باشد شامل: قدرت شناسایی گروه‌های طبیعی داده‌های لاگ، عدم داشتن دانش قبلی در ارتباط با داده‌ها، پیشنهاد بهترین تعداد خوشه‌ها به صورت خودکار، استفاده از دسته داده‌هایی با ترکیبات بسیار پیچیده، استفاده ازکمترین پارامترها و عدم حساسیت به تغییرات آنها و عدم محدودیت در نوع و تعداد داده‌ها و خوشه‌ها می‌باشد [۱۰]. یو و رابیلر [۱۳] روش شناسایی الگوی نقطه‌ایی چند بعدی (MRGC) را که روش جدیدی برای خوشه بندی بود برای آنالیز رخساره‌های الکتریکی پیشنهاد دادند [۱۵] روش MRGC یکی از معدود روش‌های غیر پارامتریک و بسیار مناسب جهت مطالعه و تحلیل خوشه‌ای داده‌های حاصل از لاگ‌ها می‌باشد که ویژگی‌های ذکر شده را دارد. در این روش، داده های لاگ ها توسط دو شاخص NI [5] (پارامتر شاخص همسایگی) که موقعیت نزدیک بودن هر نقطه در یک مجموعه داده را به قله یا قعر تابع چگالی احتمالی داده‌ها مشخص می‌کند و KRI [6] (پارامتر هستهٔ خوشه) که شاخصی است جهت تعیین نقاط مستعد بعنوان هسته یا مرکز خوشه، مشخص می‌شوند. این دو شاخص، نشانه‌های رابطهٔ همسایگی میان داده‌ها هستند. این رابطهٔ همسایگی از روی فاصلهٔ فضایی داده‌ها (لاگ‌ها) محاسبه می‌شود.

1. Back-Propagation Neural Networks
2. Self Organizing Map
3. Ascendant Hierarchical Clustering
4. Dynamic Clustering
5. Neighboring Index
6. Kernel Representative Index



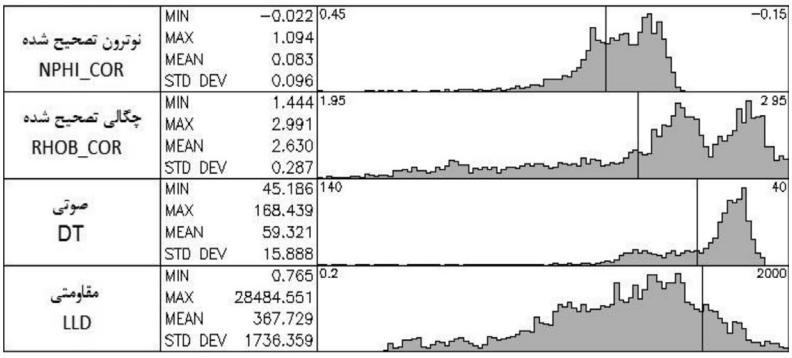
شکل ۲- نمونه‌ایی از اعمال خوشه‌بندی به صورت شماتیک روی مجموعه‌ایی از داده‌ها (ایمانی ۱۳۹۱)

بر اساس این دو شاخص، گروه‌های کوچکی از داده‌ها با نام گروه‌های جذبی شکل می‌گیرند که این گروه ها ممکن است از لحاظ شکل، اندازه، چگالی و نسبت جدایش باهم تفاوت داشته باشند.

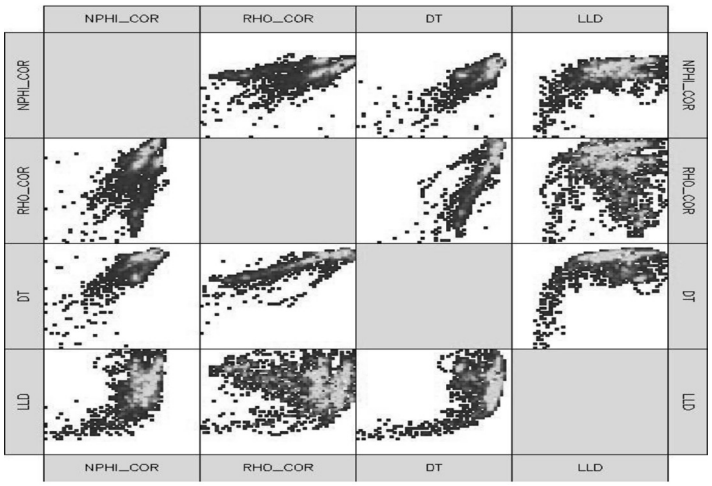
این گروه‌های جذبی به وسیلهٔ مرزهایی از یکدیگر جدا شده و درنهایت در یک فرآیند روبه رشد با یکدیگر ترکیب و گروه‌های بزرگتر که همان رخساره‌های مختلف الکتریکی می‌باشند را تشکیل می‌دهند.

خوشه‌بندی با استفاده از داده‌های خام (Raw Data)

در مطالعهٔ حاضر، که بر مبنای روش MRGC صورت گرفته است، در دو مدل جداگانه، توالی مورد نظر را به دسته‌های مختلف تقسیم نمودیم. در مدل اول، از لاگ‌های خام برای دسته‌بندی و دقت تعیین زون‌های تولیدی استفاده شد. لاگ‌های ورودی مدل نخست شامل لاگ‌های: NPHI_COR، DT، RHOB_COR، و LLD بود. شکل ۳ و ۴ به ترتیب، فراوانی و کراس پلات لاگ‌های ورودی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۳- فراوانی لاگ‌های ورودی



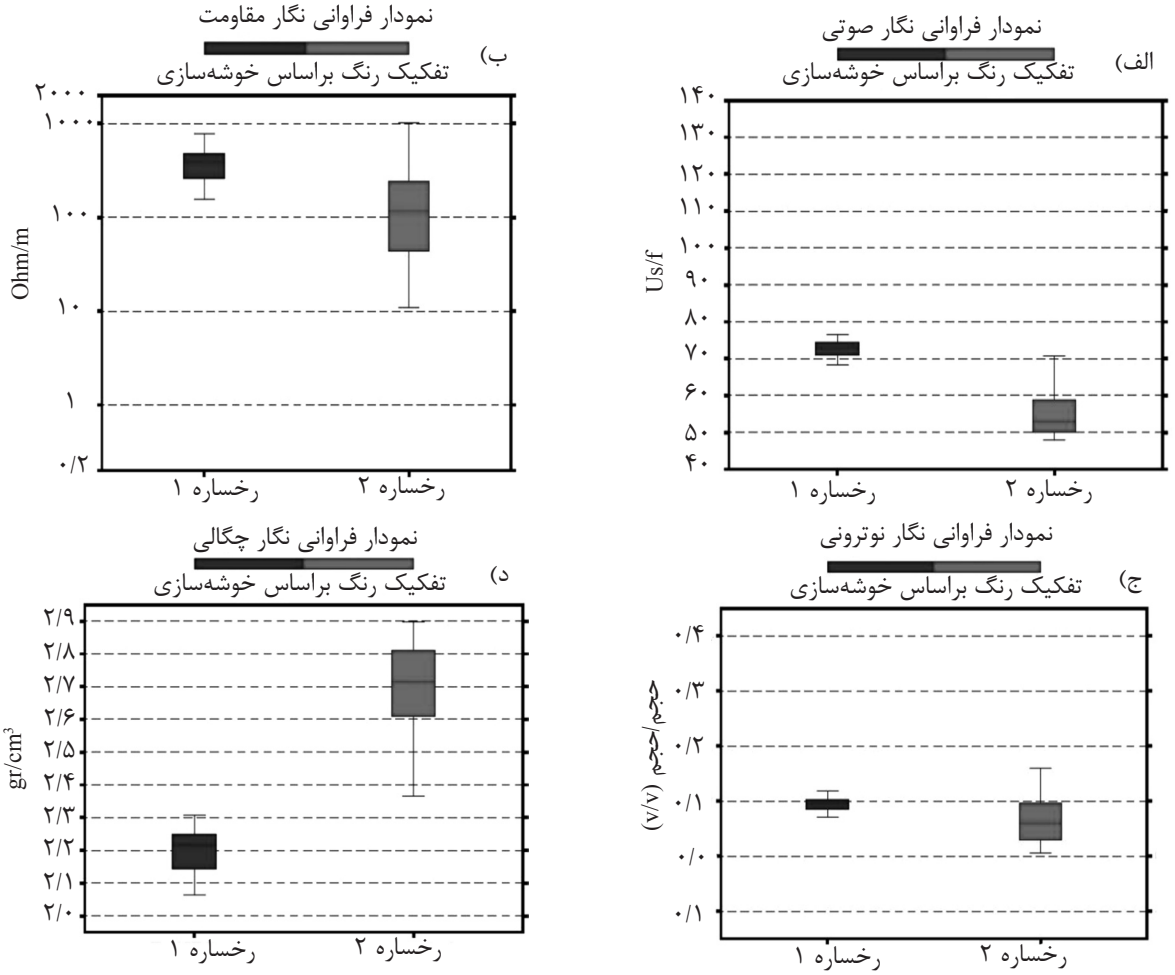
شکل ۴- کراس پلات لاگ‌های ورودی مدل نسبت به هم

با توجه به هدف مطالعهٔ حاضر که مشخص نمودن زون‌های تولیدی در توالی چاه مورد بررسی به صورت دو رخسارهٔ مخزنی و غیرمخزنی بود، حد پایین و بالای دسته‌ها به ترتیب ۲ و ۲۵ با حداقل ۲ مدل بهینه در نظر گرفته شد که در نهایت پس از اجرا به وسیلهٔ نرم‌افزار، دو مدل رخساره‌ای دارای ۲ و ۶ رخساره‌ای حاصل شد که از بین دو مدل به دست آمده، مدل با ۲ رخساره درنظر گرفته شد. شکل ۵ تعداد رخساره‌های الکتریکی دسته‌بندی شده به همراه وزن و نمودارهای فراوانی لاگ‌های ورودی را نشان می‌دهد. در ادامه، مدل ساخته شده به وسیلهٔ نرم‌افزار اجرا گردید و با توجه به دسته‌بندی قرائت لاگ‌های ورودی مدل، تفکیک رخساره‌ایی در چاه به وجود آمد و رخساره‌های مخزنی از غیر مخزنی مشخص شدند. در شکل ۶ نمودار فراوانی لاگ های ورودی مدل در هر دو رخسارهٔ مخزنی و غیر مخزنی رسم شده اند. در شکل ۶ قسمت (الف)، نمودار فراوانی نگار صوتی (DT)، قسمت (ب)، نمودار فراوانی نگار مقاومت (LLD)، قسمت (ج)، نمودار فراوانی نگار نوترون تصحیح شده (NPHI_COR) و قسمت (د)، نمودار فراوانی نگار چگالی تصحیح شده (RHOB_COR) را در هر دو رخساره تفکیک شده نشان می‌دهد.

	FACIES	WEIGHT	NPHI_COR	RHO_COR	DT	LLD
1	1	249	0.10	2.20	72.66	359.93
2	2	3090	0.08	2.66	58.25	73.40

	NAME	COL	PAT	WEIGHT	NPHI_COR	RHO_COR	DT	LLD
1	رخساره (۱)			249				
2	رخساره (۲)			3090				

شکل ۵- دسته‌بندی قرائت لاگ‌ها در ۲ رخسارهٔ متفاوت

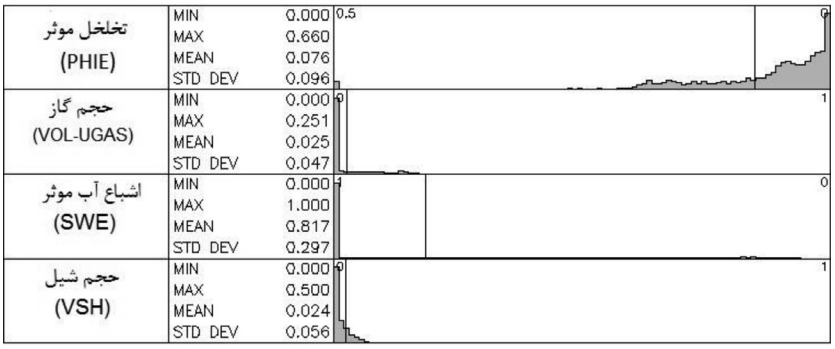


شکل ۶- نمودارهای فراوانی رخساره‌های تفکیک شده در لاگ‌های ورودی مدل

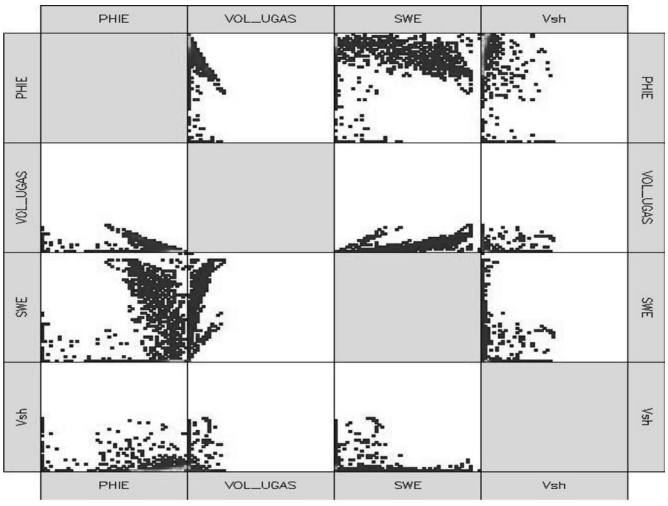
خوشه‌بندی با استفاده از داده‌های ارزیابی شده (Evaluated Data)

در مدل دوم، برای دسته‌بندی توالی در چاه مورد نظر، از پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به عنوان ورودی مدل استفاده شد. این لاگ‌ها شامل: VOL-UGAS، PHIE، SWE، و Vsh بود. شکل ۷ و ۸ نمودار فراوانی و کراس پلات لاگ‌های ورودی مدل را نشان می‌دهند. حد پایین و بالای دسته‌ها همانند مدل اول، به ترتیب ۲ و ۲۵ با حداقل ۲ مدل بهینه در نظر گرفته شد که درنهایت پس از اجرا به وسیلهٔ نرم‌افزار، دو مدل رخساره‌ای دارای ۲ و ۵ رخساره حاصل شد که از بین دو مدل به دست آمده، مدل با ۲ رخساره درنظر گرفته شد. شکل ۹ تعداد رخساره‌های الکتریکی دسته‌بندی شده به همراه وزن و نمودارهای فراوانی لاگ‌های وردی را نشان می‌دهد.

در ادامه، مدل ساخته شده به وسیلهٔ نرم‌افزار اجرا گردید و با توجه به دسته‌بندی قرائت لاگ‌های ورودی مدل، تفکیک رخساره‌ایی در چاه به وجود آمد و رخساره‌های مخزنی از غیر مخزنی مشخص شدند. در شکل ۱۰ قسمت (الف) نمودار فراوانی پارامتر تخلخل موثر (PHIE)، در قسمت (ب) نمودار فراوانی پارامتر اشباع آب موثر (SWE)، در قسمت (ج) نمودار فراوانی حجم گاز (VOL-UGAS) و در قسمت (د) نمودار فراوانی پارامتر حجم شیل (VSH) که میزان بسیار پایینی را دارا می باشد، برای دو رخساره تفکیک شده ترسیم شده است.



شکل ۷- فراوانی لاگ‌های ورودی

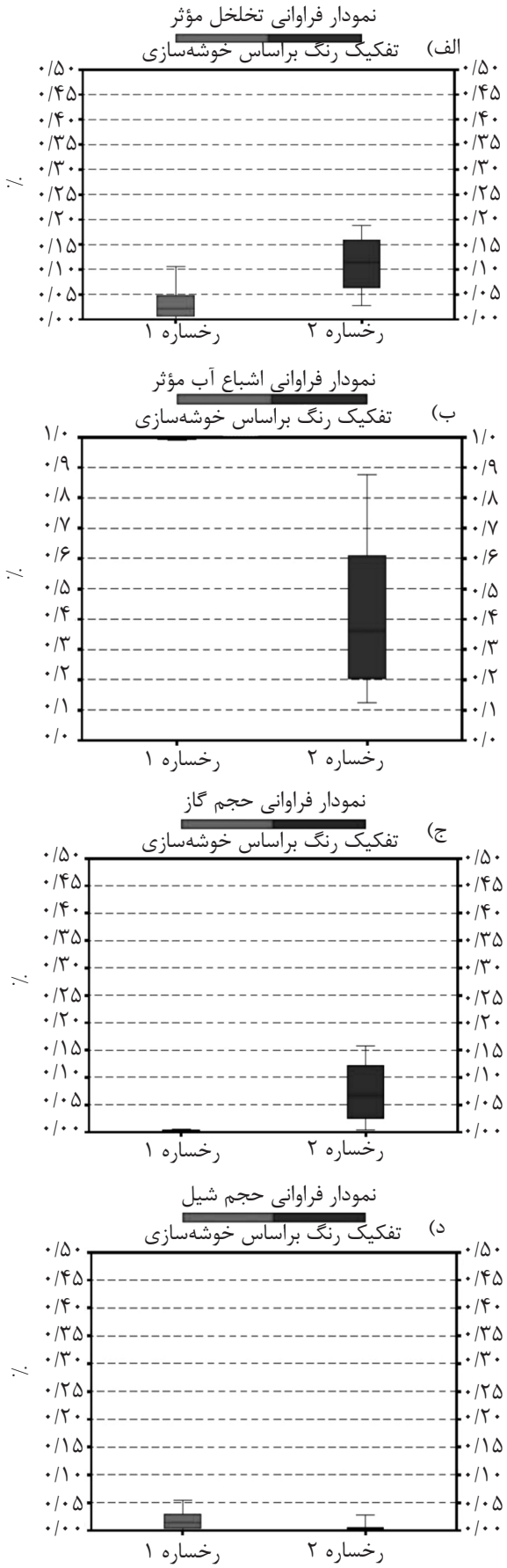


شکل ۸- کراس پلات لاگ‌های ورودی مدل نسبت بهم

	FACIES	WEIGHT	PHIE	VOL_UGAS	SWE	VOL_WCS1
1	1	2312	0.06	0.00	0.99	0.03
2	2	1025	0.11	0.07	0.42	0.01

	NAME	COL	PAT	WEIGHT	PHIE	VOL_UGAS	SWE	VOL_WCS1
1	رخساره (۱)			2312				
2	رخساره (۲)			1025				

شکل ۹- دسته‌بندی قرائت لاگ‌ها در ۲ رخسارهٔ متفاوت



شکل ۱۰- نمودارهای فراوانی رخساره‌های تفکیک شده در لاگ‌های ورودی مدل

در ادامه، دو مدل رخساره‌ایی که توالی چاه مورد نظر را تفکیک نمودند، از لحاظ دقت تفکیک دو رخسارهٔ مخزنی و غیرمخزنی در تجمع هیدروکربن، باهم مقایسه شدند (شکل ۱۱). مقایسهٔ دو مدل نشان می‌دهد که دقت مدلی که از لاگ‌های ارزیابی شده[1] استفاده شده است بهتر از مدل با لاگ‌های خام می‌باشد زیرا در مدلی که از لاگ‌های ارزیابی شده استفاده شد، تجمع هیدروکربن به صورت کامل فقط در رخسارهٔ شمارهٔ ۲ (FACIES_2) که به عنوان رخسارهٔ مخزنی معرفی شد، دیده می‌شود و در رخسارهٔ ۱ (FACIES_1) که بعنوان رخسارهٔ غیر مخزنی معرفی شد، تجمع هیدروکربن تقریباً معادل صفر است. اما در مدلی که از داده‌های خام[2] استفاده شده است، تجمع هیدروکربن در هر دو رخساره دیده می‌شود (هر چند در یکی از رخساره‌ها تجمع هیدروکربن در رخسارهٔ ۲ کمتر و در رخسارهٔ ۱ بیشتر می‌باشد). درنتیجه تفکیک رخسارهٔ مخزنی از غیرمخزنی در مدلی که از داده‌های ارزیابی شده استفاده شد بهتر صورت گرفته است. این رخسارهٔ مخزنی به عنوان زون تولیدی معرفی شد. در ادامه، مدل خوشه‌بندی که از لاگ‌های ارزیابی شده استفاده گردید، مد نظر قرار گرفت.

ارتباط لیتولوژی با رخساره‌های تفکیک شده در مدل MRGC

لیتولوژی در کل توالی مورد ارزیابی که به روش خوشه بندی تفکیک شده است، شامل: ۱۷/۵ درصد انیدریت، ۵۱/۲ درصد کلسیت، ۲۱/۱ درصد دولومیت و ۲/۴ درصد را شیل به خود اختصاص داده است. حجم باقی مانده را نیز که مقدار ۷/۸ درصد می باشد تخلخل به خود اختصاص می دهد. در شکل ۱۲ تفکیک رخسارهٔ مخزنی از غیر مخزنی در هر کدام از لیتولوژی های ذکر شده بر اساس حداکثر میزان فراوانی دو رخسارهٔ تفکیک شده، در چهار لیتولوژی موجود در توالی بررسی شده، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در لیتولوژی آهکی (کلسیت) که درصد بیشتری از لیتولوژی توالی درون مخزن را تشکیل می‌دهد، رخسارهٔ مخزنی بالاترین میزان فراوانی را نشان می‌دهد. درنتیجه علاوه بر تعیین زون تولیدی، بهترین رخسارهٔ مخزنی در چاه مورد ارزیابی رخسارهٔ کلسیت است.

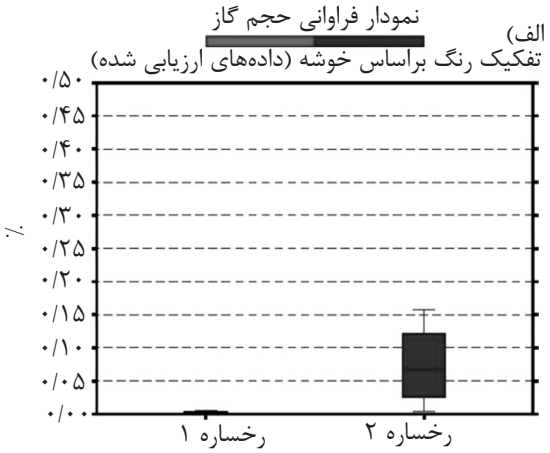
با توجه به شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود که بین رخساره‌های تفکیک شده و لیتولوژی درون چاه نیز ارتباط معنا داری وجود دارد به این صورت که رخسارهٔ شمارهٔ ۲ (FACIES_2) که به عنوان رخسارهٔ مخزنی مشخص شد، در دو لیتولوژی کلسیت و دولومیت (به مقدار بیشتری در کلسیت) فراوانی بیشتری دارد و دو لیتولوژی انیدریت و شیل که درصد کمتری از لیتولوژی توالی مورد ارزیابی را تشکیل داده اند، به مقدار بیشتری دارای رخسارهٔ شمارهٔ ۱ (FACIES_1) که رخسارهٔ غیر مخزنی معرفی شده و جزء لایه‌های غیر مخزنی هستند.

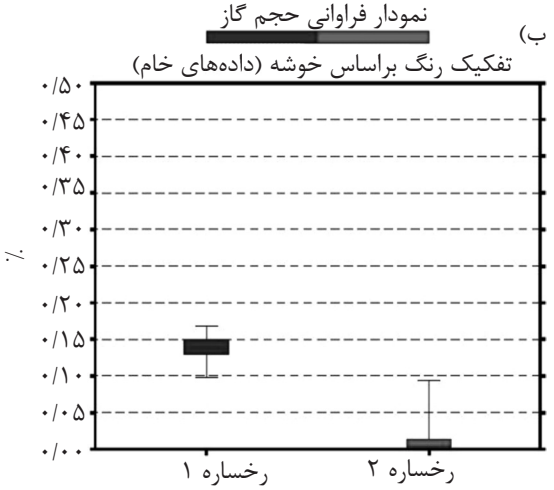
دقت و مقایسهٔ دو روش در تعیین زون‌های تولیدی

پس از تعیین زون‌های تولیدی در روش حد برش و رخساره‌های مخزنی در روش خوشه‌بندی ، دقت دو روش نسبت به تعیین بهترین فواصل مخزنی که دارای تجمع هیدروکربن بودند بررسی شد. در نمودارهای فراوانی شکل ۱۳ (الف و ب)، میزان حجم گاز در فواصل مخزنی نسبت به فواصل غیر مخزنی در هر دو روش مقایسه شده است. مشاهده می‌شود که دقت تعیین فواصل مخزنی نسبت به غیر مخزنی در هر دو روش بسیار بالا بوده و تقریبا تمام حجم هیدروکربن در فواصلی که به عنوان فواصل مخزنی در هر دو روش مشخص شده است (Pay Zone و Reservoir Facies)، وجود دارد و حجم هیدروکربن در فواصل غیر مخزنی در هر دو روش (GrossZone و Non–Reservoir Facies) تقریبا صفر است. با توجه به دقت و مقایسهٔ دو روش در تعیین زون‌های تولیدی می توان نتیجه گرفت حدود برشی که برای دو پارامتر تخلخل موثر و اشباع آب موثر برای تعیین زون‌های تولیدی در نظر گرفته شده قابل قبول است و تفکیک زون‌های مخزنی از غیرمخزنی به خوبی صورت گرفته است.

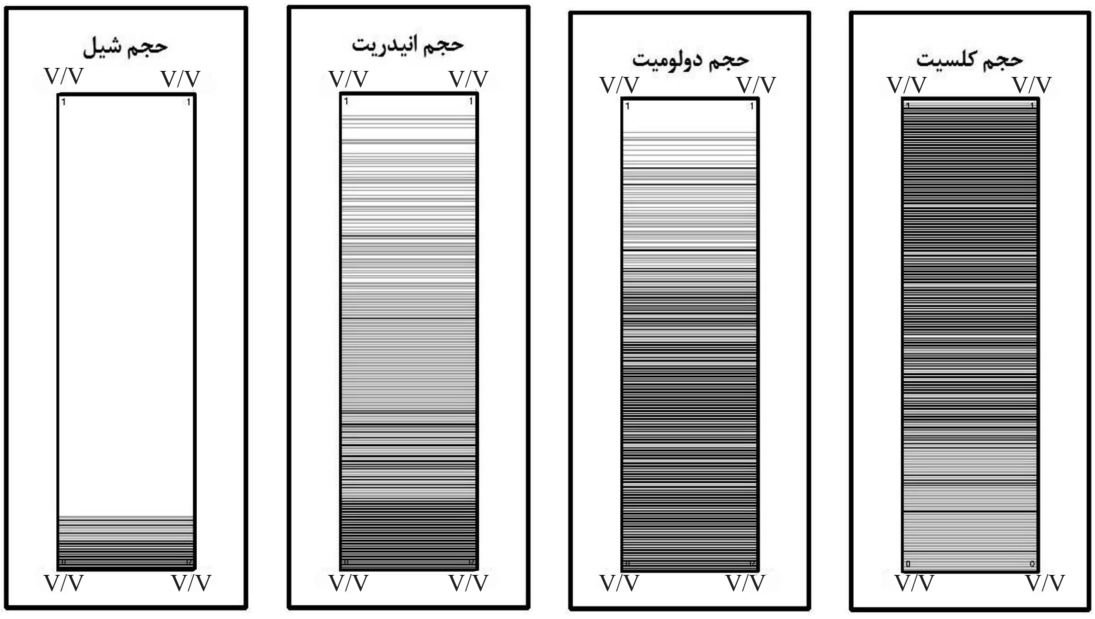
در نتیجه هر دو روش که سازوکاری کاملا متفاوت نسبت به هم داشتند، به خوبی کل توالی مورد ارزیابی را به دو دستهٔ مخزنی و غیرمخزنی تقسیم نمودند. شکل ۱۴تفکیک توالی چاه مورد بررسی را از لحاظ مشخص نمودن زون‌های تولیدی و غیر تولیدی در روش‌های مختلف مورد استفاده در مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد.

1. Evaluated Log
2. Raw Data

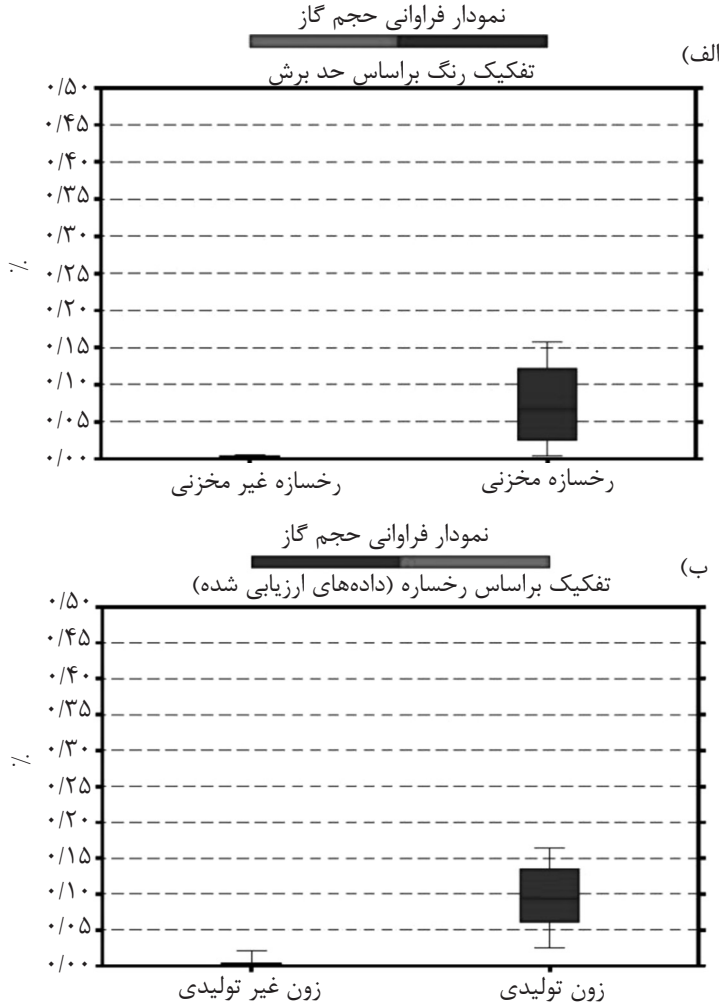




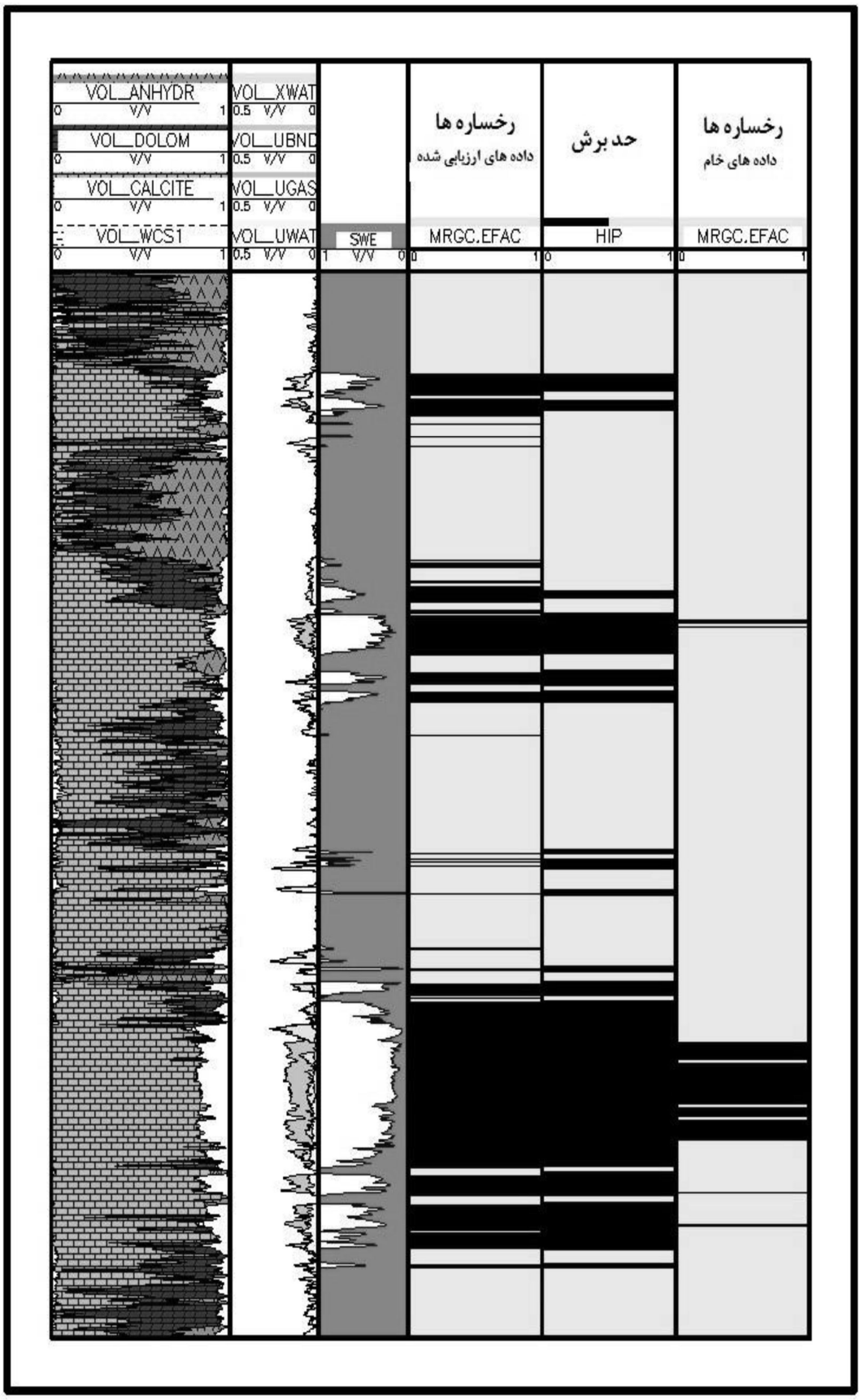
شکل ۱۱- مقایسهٔ دو مدل رخساره‌ایی از لحاظ تجمع هیدروکربن



شکل ۱۲- نمودارهای حداکثر میزان فراوانی رخساره‌های تفکیک شده در هر لیتولوژی



شکل ۱۳- حجم گاز در دو زون‌ها و رخساره‌های تفکیک شده (الف- روش خوشه‌بندی، ب- روش حد برش)



شکل ۱۴- دقت و مقایسهٔ روش‌های مورد استفاده نسبت به تعیین زون‌های تولیدی و نسبت به هم

نتیجه‌گیری

تعیین زون‌های تولیدی در یک چاه، علاوه بر استحصال حجم بالای هیدروکربن و حجم پایین آب همراه، در صرف هزینه‌های جداسازی آب همراه در مراحل تولید و بهره‌برداری تا حد زیادی خواهد کاست. به علاوه، این فواصل در چاه‌هایی که بخش مخزنی آنها لوله جداری گذاشته می‌شود، فواصلی هستند که جهت استحصال هیدروکرین عملیات مشبک کاری صورت می‌گیرد. در مطالعهٔ حاضر، این فواصل با دو روش کاملا متفاوت مشخص شدند و علاوه بر بررسی میزان دقت هر روش در تعیین زون‌های تولیدی، دو روش استفاده شده با هم نیز مقایسه شد. در روش اول که در بیشتر مطالعات و ارزیابی‌های مخزنی مورد استفاده قرار می‌گیرد و روش معمول تعیین زون‌های تولیدی است، بر اساس تعیین حدود برش برای دو پارامتر تخلخل موثر (PHIE) و اشباع آب مؤثر (SWE) زون‌های تولیدی مشخص شدند. دقت تعیین زون‌های تولیدی به نوع پارامتر و حدود برش تعیین شده بستگی دارد که این حدود برش بر اساس عوامل مختلف مانند نوع هیدروکربن مخزن، لیتولوژی مخزن و .... بستگی دارد. در روش دوم با استفاده از روش MRGC که یکی از جمله روش‌های خوشه‌بندی داده‌های لاگ می‌باشد این تفکیک صورت گرفت. در این روش از دو دسته اطلاعات برای تعیین زون‌های تولیدی و بهترین رخسارهٔ مخزنی اسفاده شد. در مدل اول از لاگ‌های خام برداشت شده و در مدل دوم از پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به عنوان ورودی مدل‌های رخساره‌ایی استفاده شد. سپس دو مدل از لحاظ دقت تعیین رخسارهٔ مخزنی با هم مقایسه و مشخص شد مدلی که از پارامترهای پتروفیزیکی بعنوان ورودی استفاده شده است دقت بالاتری در تعیین رخساره‌های مخزنی از غیرمخزنی دارد. در نهایت دو روش نسبت به تعیین زون‌های تولیدی و نسبت به هم مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به اینکه دو روش استفاده شده سازوکاری کاملا متفاوت نسبت به هم داشتند ولی هر دو روش زون‌های تولیدی را با دقت بسیار بالا شناسایی نموده و تطابق بسیار بالایی بین دو روش مشاهده شد. لذا هر دو روش مورد استفاده می‌تواند جهت تعیین بهترین فواصل مخزنی یا زون‌های تولیدی مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

[1]. Masoudi P., Zahedi A., Moradzadeh A., Alirezaei F., and Zamanzadeh S. M., *"Estimation of in place hydrocarbon volume in multilayered reservoirs using deterministic and probabilistic approaches*", Energy Exploration and Exploitation 29(5), pp. 543–558, 2011.

[۲]. موحد ب.، کهنسال قدیم وند ن. و زمان‌نژاد م. ر.، "ارزیابی پتروفیزیکی سازندهای کنگان و دالان فوقانی - چاه Sp.x در میدان گازی پارس جنوبی"، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، ۶ (۲۱)، ۱۸۵- ۱۶۹، ۱۳۹۰.

[3]. Worthington P. F., "*Net pay-what is it? what does it do? how do we quantify it? how do we use it?*", SPE Reservoir Evaluation &Engineering, Vol. 13, pp. pp. 812- 822, 2010.

[4]. Werma A. K., Cheadle B. A., Routray A., Mohanty W. K. and Mansinha L., "*Porosity and permeability estimation using neural network approach from wel log data,GeoConvention*", pp. 1-6, 2012.

[5]. Worthington P. F. and Cosentino L., "*The role of cut-offs in integrated reservoir studies*", SPE Reservoir Evaluation & Engineering, Vol. 8, pp.pp. 276- 290, 2005.

[6] Worthington, P. F., 2008, "The Application of Cutoffs in Integrated Reservoir Studies," SPEReservoir Evaluation & Engineering, Vol. 11, pp. pp. 968- 975.

[7] Masoudi P., Tokhmechi B., Ansari-Jafari M. and Moshiri B., "*Application of fuzzy classifier fusion in determining productive zones in oil wells,* ENERGY EXPLORATION & EXPLOITATION, Vol. 30, Nu. 3, pp. 403–416, 2012.

[8]. Serra O. and H. T. Abbott , "*The contribution of loggingdata to sedimentology and stratigraphic*", SPE 9270,

55th AnnualFall Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas, pp. 19, 1980.

[9]. Kumar B., Kishore M., "*Electrofacies classification – a critical approach",* 6th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, New Delhi, India, pp 822-825, 2006.

[10]. Rabiller P., "*Facies prediction and data modeling for reservoir characterization*", 1st ed., RabillerGeoconsulting, 2005.

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

[12]. Askari A. A. and Behrouz T., "*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, Vol. 45, No. 2, PP. 83-96, 2011.

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

[۱۴]. رحیمی بهار ع. الف. و پرهام س.، "تجزیه و تحلیل رخساره های الکتریکی بر اساس رخساره های رسوبی"، نشریهٔ علمی پژوهشی رخساره های رسوبی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۵ (۱)، ۶۱-۷۴، ۱۳۹۱..

[15]. Khoshbakht F., and Mohammadnia M., "*Assessment of clustering methods for predicting permeability in a heterogeneous carbonate reservoir*", Journal of Petroleum Science and Technology, Vol. 2, No. 2, 50-57, 2012.