

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

حسن باقری^{۱*} و فرهاد خوشبخت^۲

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 مطالعه حاضر که در توالی یک مخزن گازی کربناته صورت گرفت، زون‌های تولیدی با دو روش کاملاً 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 مؤثر و 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 $\text{PHIE} = 3$ و $\text{SWE} = 55$ 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 کاملاً متفاوت داشتند، دقت هر دو روش در تعیین زون‌های تولیدی بسیار بالا مشاهده شد. در نتیجه 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

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.

معمولاً مهندسين مخزن، تمام بازه حفاری شده مخزن را به دو قسمت زون تولیدی^۱ و زون غیر تولیدی^۲ 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

1. Pay Zone
2. Non-pay Zone

h64b@yahoo.com

*مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی

ارائه نمود. مسعودی و همکارانش [۷] با استفاده از ترکیب اطلاعات به روش انتگرال فازی برای تعیین زون‌های تولید نفت مطالعه‌هایی انجام دادند.

در مطالعه حاضر این زون‌های تولیدی به دو روش در توالی یک چاه با لیتولوژی کربناته مشخص شد. ابتدا در روش اول با تعیین حدود برش^۳ برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده، این زون‌ها 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^۴ زون‌های تولیدی رابه عنوان دو رخساره مخزنی و غیرمخزنی از هم تفکیک نمودیم. روش MRGC یکی از روش‌های خوشه‌بندی^۵ داده‌های لاگ و بدون ناظر می‌باشد که عموماً برای تحلیل رخساره‌های الکتریکی^۶ مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصطلاح رخساره الکتریکی به وسیله 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 لایه‌ها می‌شود. رخساره الکتریکی معمولاً به یک یا چند رخساره 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 نشاندهنده رخساره‌های زمین‌شناسی/مخزنی بوده و توزیع آن اساس زون‌بندی چینه‌شناسی را تشکیل می‌دهد [۱۰]. در نهایت مدل رخساره‌ای 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 شده چاه که شامل میزان پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده بود، استفاده گردید.

داشتن اطلاعات کافی از اعماقی که زون‌های تولیدی قرار دارند به جهت برآورد حجم 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 شده چاه، پس از ارزیابی و محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی آن، مشخص نمودن زون‌های تولیدی امری ضروری برای استحصال هیدروکربن می‌باشد. در سال‌های گذشته، تولید در بازه مخزنی بدون پوشش دیواره چاه صورت می‌گرفت و به همراه هیدروکربن، مقادیر بالای آب نیز تولید می‌شد. امروزه بازه مخزنی مورد نظر در چاه‌ها را جداره‌گذاری^۱ 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 می‌شود. پس از شناخت این فواصل و با استفاده از عملیات مشبک کاری لوله جداره، 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 ورتینگتون و کاستینیو [۵] روش‌هایی را که تا آن زمان برای تعیین بهترین فواصل جهت عملیات مشبک کاری^۲ به کار گرفته می‌شد را ارائه نمودند. در سال ۲۰۰۸ ورتینگتون [۶] عیارهای حد دینامیک برای تعیین بهترین زون‌های تجمع و تولید نفت را بررسی کرد. همین محقق در سال ۲۰۱۰ [۳] تعریف جامعی از زون تولیدی و کاربرد آن در مخازن را

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

برای این کار می‌توان با تعیین حدود برش مناسب برای خواص مخزنی، لایه‌های عقیم یا بی‌فایده را جدا نمود. این عملیات به وسیله هر دو اطلاعات لاگ و مغزه^۱ 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^۲ 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

زون‌های تولیدی در چاه مورد مطالعه به دو روش تفکیک شد که ابتدا در روش اول که عموماً 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، DT، RHOB_COR 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 مقایسه دو مدل رخساره‌ایی، 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 رخساره 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 کننده ساده‌ایی هستند که در زمینه مطالعات یکپارچه مخزن، به مقادیر محدود کننده پارامترهای پتروفیزیکی سازند گفته می‌شوند که هدف اصلی از استفاده 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 در حال تغییر است، بدیهی است که این زون تولیدی نیز هدفی انعطاف‌پذیر خواهد بود.

1. Core

2. Gross Zone

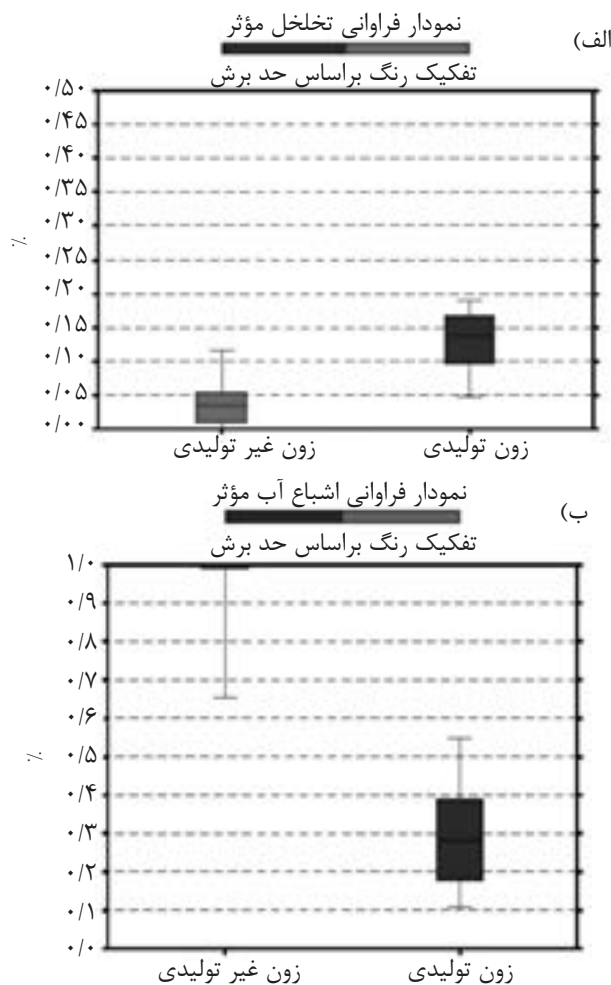
درصد و همچنین اشباع آب موثر کمتر از ۵۵٪ خواهد بود. شکل ۱، نمودار فراوانی دو پارامتر ورودی مدل حد برش را در دو زون مخزنی و غیر مخزنی نشان می‌دهد. شکل ۱ (الف)، نمودار فراوانی تخلخل و شکل ۱ (ب) نمودار فراوانی اشباع آب که بعنوان دو پارامتر ورودی مدل حد برش در نظر گرفته شده اند را در دو زون مخزنی و غیر مخزنی نشان می‌دهد. در واقع توالی چاه مورد ارزیابی ۴۰۶/۵ m می‌باشد که از این مقدار، ۱۰۹/۴ m آن زون تولیدی و مابقی آن زون غیر تولیدی محاسبه شد. نسبت این زون مخزنی به غیرمخزنی (Net/Gross) برابر با ۰/۲۶۹ m/m به دست آمد.

لحاظ کانی‌های رسی (شیل)، و همچنین در دست نداشتن میزان تراوایی مخزن، از این دو پارامتر صرف نظر شد و برای دقت بیشتر در تعیین فواصل مخزنی از دو پارامتر تخلخل مؤثر (PHIE) و اشباع آب مؤثر (SWE) استفاده شد. حدود برش تعیین شده نیز به صورت تجربی در نظر گرفته شد. جدول ۱ حدود برش را برای دو پارامتر پتروفیزیکی مورد نظر نشان می‌دهد.

درحقیقت با تعیین این حدود برش برای دو پارامتر پتروفیزیکی مورد نظر در کل توالی مورد ارزیابی، فواصلی را که هر دو شرط وارد شده در آنها صدق می‌کند، به عنوان زون تولیدی در نظر می‌گیرد به این صورت که در این فواصل تخلخل مؤثر بیشتر از ۳

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)

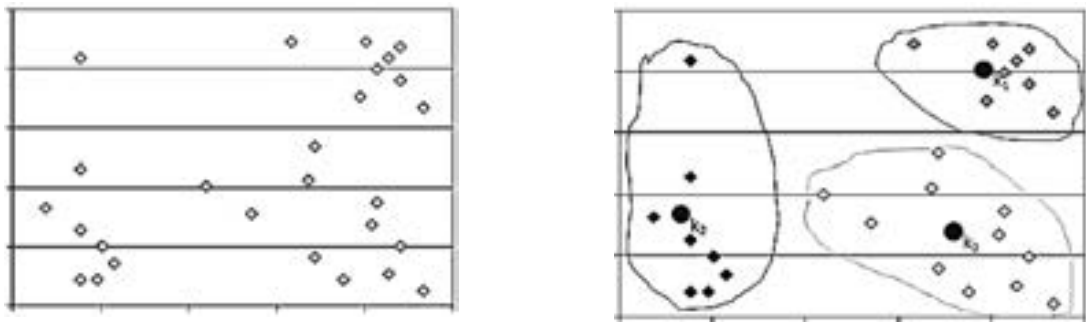
از نواحی درون مخزن که بیشترین ویژگی‌های مشابه را با هم دارند، دست یابند [۱۲]. در این میان تجزیه و تحلیل رخساره‌های لاگ برای بیان خصوصیات مخزن بسیار مهم است [۱۳]. روش‌های مختلفی برای خوشه‌بندی داده‌ها وجود دارد که به دو گروه کلی مبتنی بر ناظر و بدون ناظر تقسیم می‌شوند [۱۴]. از گروه اول می‌توان از شبکه‌های عصبی پس انتشار خطا (BPNN)^۱ و منطق فازی نام برد و از گروه دوم، به شبکه عصبی خود سامان ده (SOM)^۲، طبقه‌بندی تریبی صعودی (AHC)^۳، خوشه‌سازی پویا (DYNCLUST)^۴ 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 از کمترین 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 نقطه‌ای چند بعدی (MRGC) را که روش جدیدی برای خوشه بندی بود برای آنالیز رخساره‌های الکتریکی پیشنهاد دادند [۱۵] روش MRGC یکی از محدود 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، داده‌های لاگ‌ها توسط دو شاخص NI^۵ (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^۶ (پارامتر هسته خوشه) که شاخصی است جهت تعیین نقاط مستعد بعنوان هسته یا مرکز خوشه، مشخص می‌شوند. این دو شاخص، نشانه‌های رابطه همسایگی میان داده‌ها هستند. این رابطه همسایگی از روی فاصله فضایی داده‌ها (لاگ‌ها) محاسبه می‌شود.

روش حد برش دارای معایبی نیز می‌باشد. به عنوان مثال مرحله‌ای بودن و عدم 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 در مخازن گازی به دست آوردن مقادیر صحیح حد برش 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 از بین رود (dispersed shale) در حالی که در یک زون لامینه با شیل لایه‌های با ۵۰-۶۰٪ هیدرکربن قابل ملاحظه‌ای تولید می‌شود. از طرف دیگر اگر بخواهیم عوامل اثرگذار در تولید (نظیر شکستگی‌ها) را در تعیین زون‌های تولیدی منظور کنیم با الگوریتم حد برش قابل اعمال نیست این در حالی است در روش دوم که روش خوشه‌بندی داده‌های لاگ به نام MRGC می‌باشد و در مطالعه حاضر از این روش استفاده شده است، به راحتی می‌توان خواص شکاف‌ها را نظیر نوع، میزان بازشدگی، طول و جهت‌گیری آن را در مدل 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 مجموعه‌ای 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 خوشه دیگر حداقل باشد. شکل ۲ نمونه‌ای از فرایند خوشه‌بندی را نشان می‌دهد. زمین‌شناسان، پتروفیزیک‌ها و مهندسیین مخزن، جهت نشان دادن توصیفی از جزئیات مخزن همراه با چالش‌های آن، باید به شناسایی قابل توجهی

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

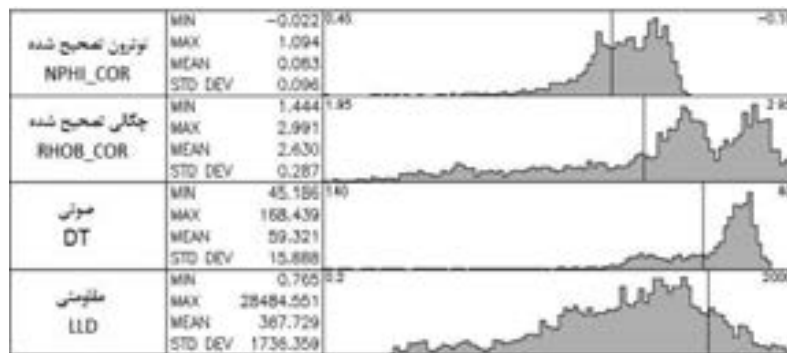


شکل ۲- نمونه‌ایی از اعمال خوشه‌بندی به صورت شماتیک روی مجموعه‌ایی از داده‌ها (ایمانی ۱۳۹۱)

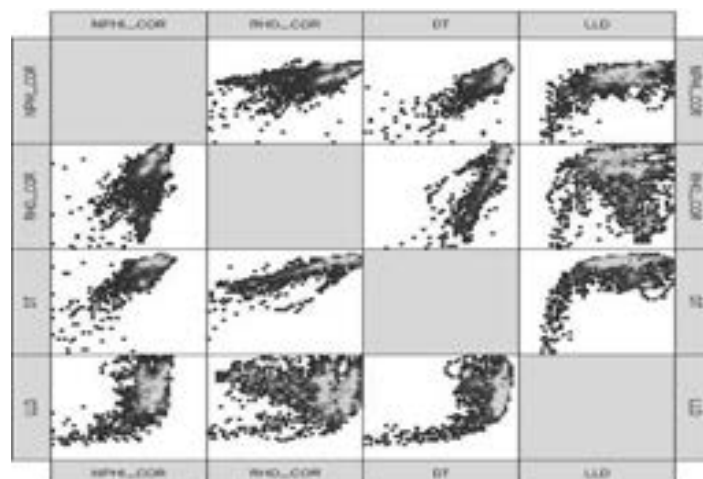
خوشه‌بندی با استفاده از داده‌های خام (Raw Data) در مطالعه حاضر، که بر مبنای روش MRGC صورت گرفته است، در دو مدل جداگانه، توالی مورد نظر را به دسته‌های مختلف تقسیم نمودیم. در مدل اول، از لاگ‌های خام برای دسته‌بندی و دقت تعیین زون‌های تولیدی استفاده شد. لاگ‌های ورودی مدل نخست شامل لاگ‌های: NPHI_COR، DT،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

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

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



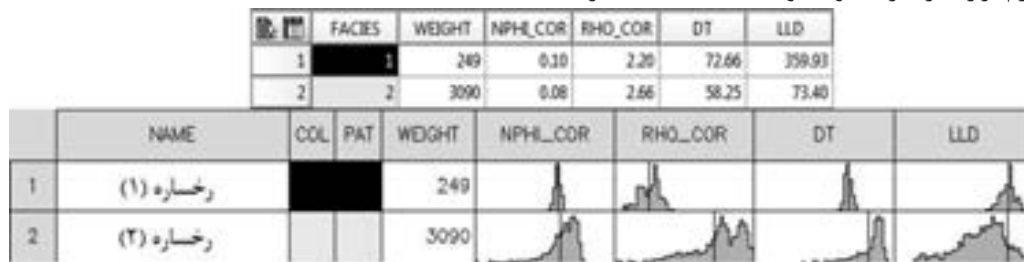
شکل ۳- فراوانی لاگ‌های ورودی



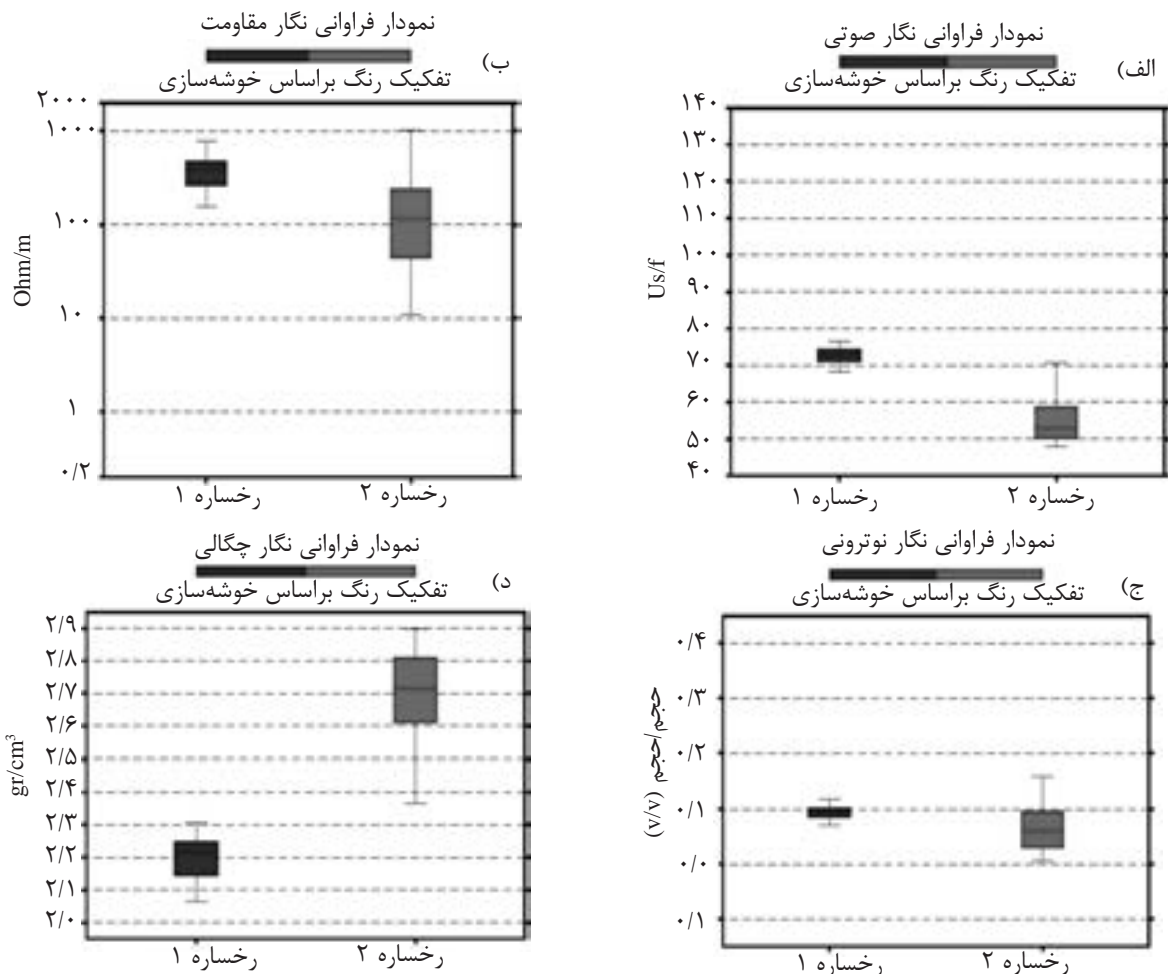
شکل ۴- کراس پلات لاگ‌های ورودی مدل نسبت به هم

لاگ‌های ورودی مدل، تفکیک رخساره‌ایی در چاه به وجود آمد و رخساره‌های مخزنی از غیر مخزنی مشخص شدند. در شکل ۶ نمودار فراوانی لاگ‌های ورودی مدل در هر دو رخساره 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.

با توجه به هدف مطالعه حاضر که مشخص نمودن زون‌های تولیدی در توالی چاه مورد بررسی به صورت دو رخساره 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 وسیله نرم‌افزار، دو مدل رخساره‌ای دارای ۲ و ۶ رخساره‌ای حاصل شد که از بین دو مدل به دست آمده، مدل با ۲ رخساره در نظر 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 وسیله نرم‌افزار اجرا گردید و با توجه به دسته‌بندی قرائت



شکل ۵- دسته‌بندی قرائت لاگ‌ها در ۲ رخساره متفاوت

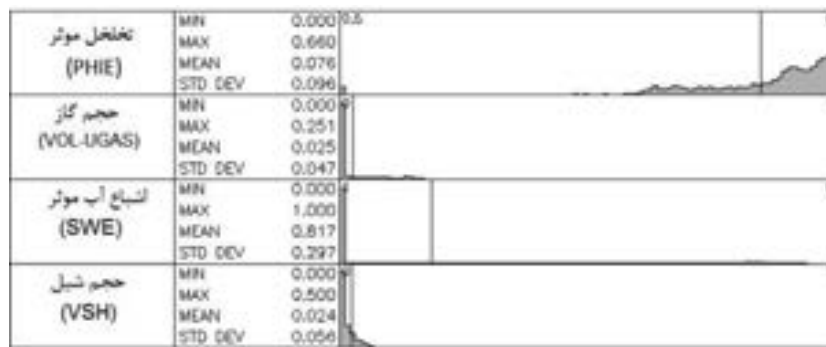


شکل ۶- نمودارهای فراوانی رخساره‌های تفکیک شده در لاگ‌های ورودی مدل

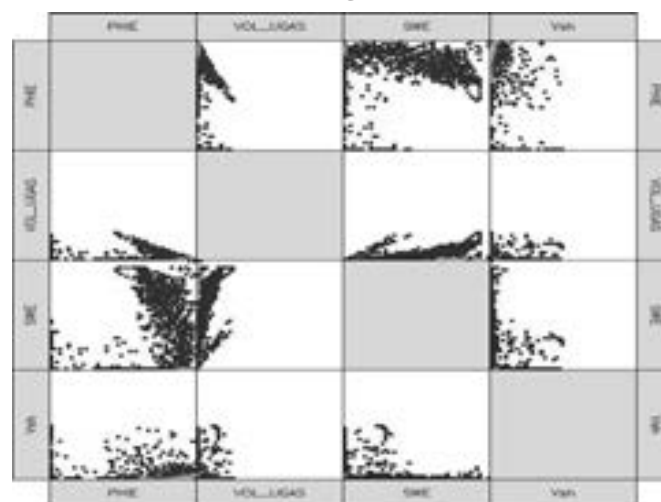
فراوانی لاگ‌های ورودی را نشان می‌دهد.

در ادامه، مدل ساخته شده به وسیله 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.

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: PHIE، VOL-UGAS، 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 در نهایت پس از اجرا به وسیله نرم‌افزار، دو مدل رخساره‌ای دارای ۲ و ۵ رخساره حاصل شد که از بین دو مدل به دست آمده، مدل با ۲ رخساره در نظر گرفته شد. شکل ۹ تعداد رخساره‌های الکتریکی دسته‌بندی شده به همراه وزن و نمودارهای



شکل ۷- فراوانی لاگ‌های ورودی

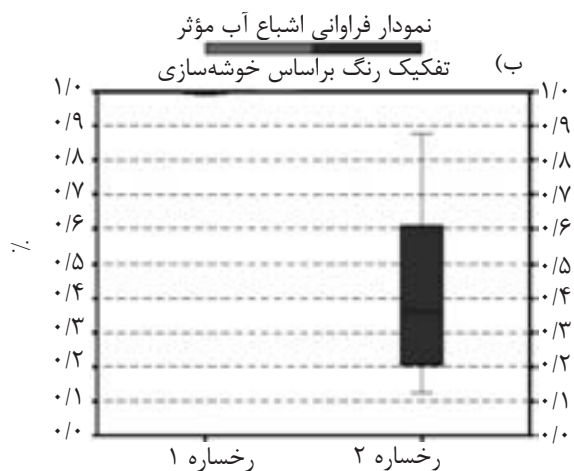
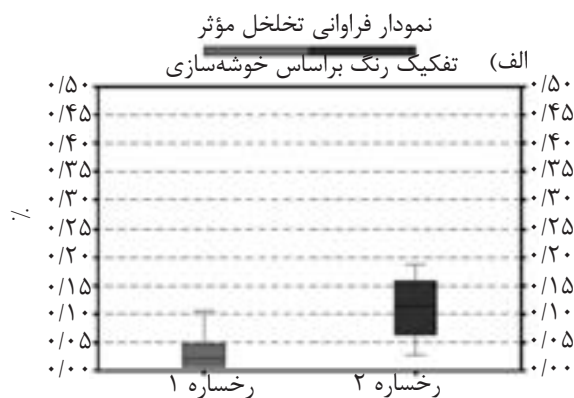


شکل ۸- کراس پلات لاگ‌های ورودی مدل نسبت بهم

	FACES	WEIGHT	PHIE	VOL_UGAS	SWE	VOL_WCS2
1	1	2312	0.06	0.00	0.99	0.01
2		1025	0.11	0.07	0.42	0.09

	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 رخساره متفاوت



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

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 رخساره شماره ۲ (FACIES_2) که به عنوان رخساره 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 رخساره شماره ۱ (FACIES_1) که رخساره غیر مخزنی معرفی شده و جزء لایه‌های غیر مخزنی هستند.

دقت و مقایسه 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 تقریباً 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 (Gross Zone و Non-Reservoir Facies) تقریباً صفر است. با توجه به دقت و مقایسه دو روش در تعیین زون‌های تولیدی می‌توان 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 کاملاً متفاوت نسبت به هم داشتند، به خوبی کل توالی مورد ارزیابی را به دو دسته مخزنی و غیرمخزنی تقسیم نمودند. شکل ۱۴ تفکیک توالی چاه مورد بررسی را از لحاظ مشخص نمودن زون‌های تولیدی و غیر تولیدی در روش‌های مختلف مورد استفاده در مطالعه حاضر نشان می‌دهد.

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

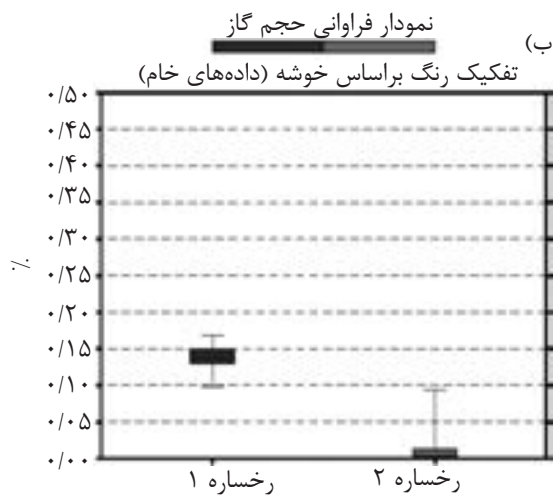
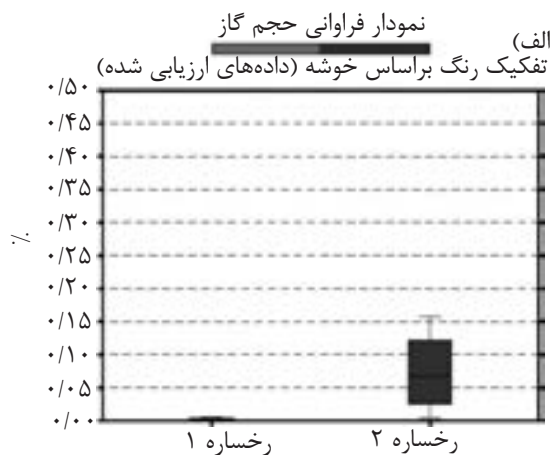
ارتباط لیتولوژی با رخساره‌های تفکیک شده در مدل

MRGC

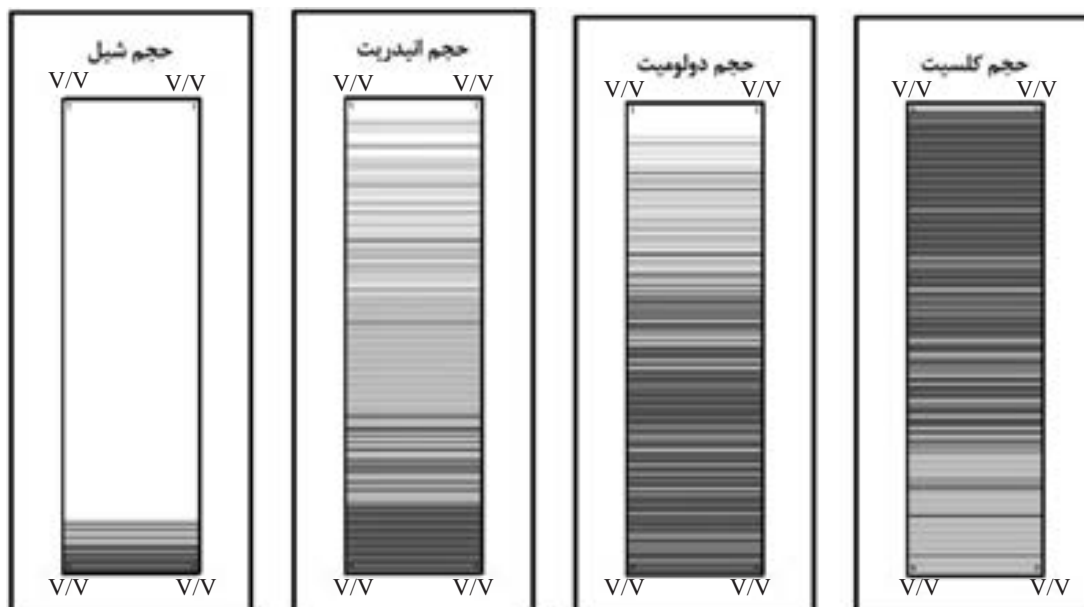
لیتولوژی در کل توالی مورد ارزیابی که به روش خوشه بندی تفکیک شده است، شامل: ۱۷/۵ درصد انیدریت، ۵۱/۲ درصد کلسیت، ۲۱/۱ درصد دولومیت و ۲/۴ درصد را شیل به خود اختصاص داده است. حجم باقی مانده را نیز که مقدار ۷/۸ درصد می‌باشد تخلخل به خود اختصاص می‌دهد. در شکل ۱۲ تفکیک رخساره مخزنی از غیر مخزنی در هر کدام از لیتولوژی‌های ذکر شده بر اساس حداکثر میزان فراوانی دو رخساره 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، رخساره مخزنی بالاترین میزان فراوانی را نشان می‌دهد. در نتیجه علاوه بر تعیین زون تولیدی، بهترین رخساره مخزنی در چاه مورد ارزیابی رخساره کلسیت است.

1. Evaluated Log

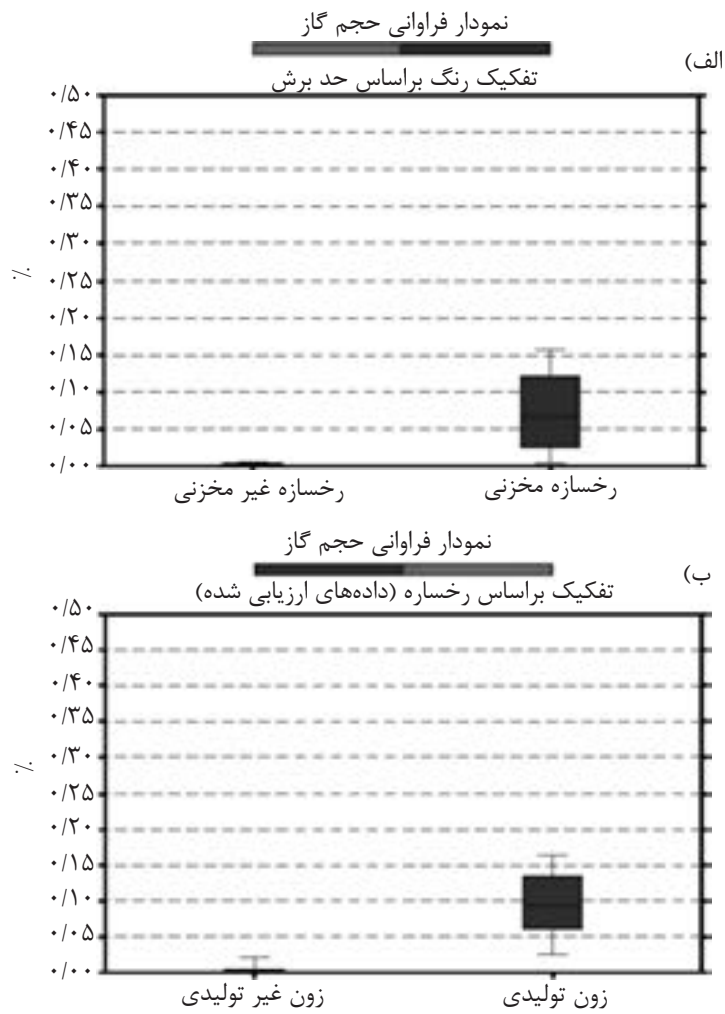
2. Raw Data



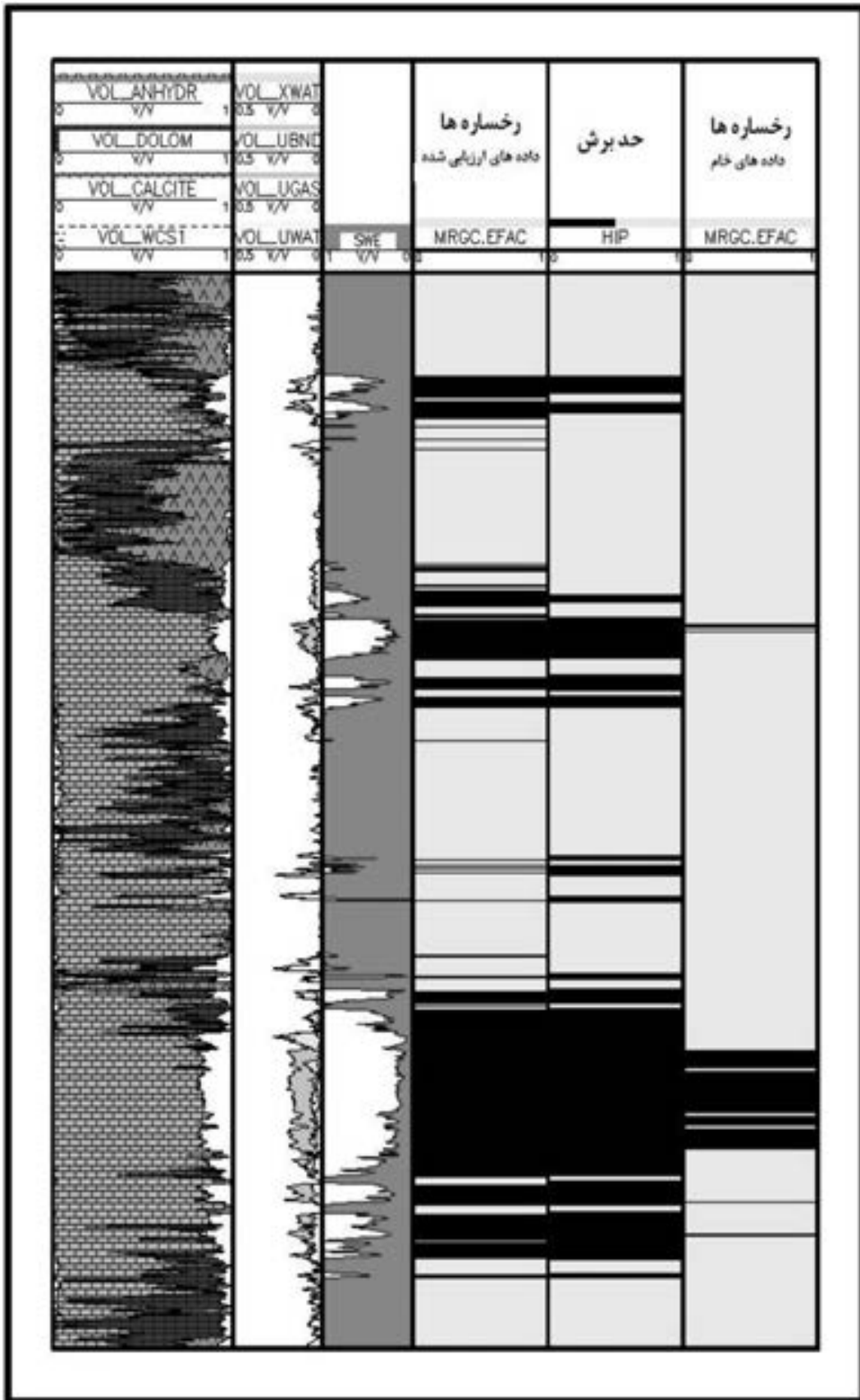
شکل ۱۱- مقایسه دو مدل رخساره‌ایی از لحاظ تجمع هیدروکربن



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 مقایسه روش های مورد استفاده نسبت به تعیین زون های تولیدی و نسبت به هم

نتیجه گیری

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 رخساره مخزنی استفاده شد. در مدل اول از لاگ‌های خام برداشت شده و در مدل دوم از پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به عنوان ورودی مدل‌های رخساره‌ای استفاده شد. سپس دو مدل از لحاظ دقت تعیین رخساره 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 کاملاً 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.

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 جداري گذاشته می‌شود، فواصلی هستند که جهت استحصال هیدروکربن عملیات مشبک کاری صورت می‌گیرد. در مطالعه حاضر، این فواصل با دو روش کاملاً 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

منابع

- [1]. Masoudi P., Zahedi A., Moradzadeh A., Alirezai 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 well 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 logging data to sedimentology and stratigraphic", SPE 9270,

55th Annual Fall 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"، نشریه 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.