

استفاده از خوشه‌سازی (Clustering) لاگ‌ها به منظور زون‌بندی مخزنی سازند فلهیان در یکی از میادین جنوب غرب ایران

حسن باقری^{۱*} و علی‌اکبر رحیمی‌بهار^۲

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

۲- پژوهشکده مطالعات مخزن، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۶

چکیده

سازند آهکی فلهیان متعلق به گروه خامی، یکی از سنگ مخزن‌های نفت و گاز در جنوب باختری ایران است. مطالعه حاضر به دو بخش تقسیم می‌شود. در بخش اول، خصوصیات مخزنی سازند فلهیان در چاه مورد مطالعه، با در نظر گرفتن شرایط ریزشی و تأثیر گاز بر روی قرائت نمودارها محاسبه شد. بر این اساس، لیتولوژی به‌وسیله نمودارهای متقاطع نوترون-چگالی و M-N plot، آهک به همراه مقادیری از کانی دولومیت تشخیص داده شد و میانگین پارامترهای پتروفیزیکی تخلخل مؤثر (PHIE)، اشباع آب مؤثر (SWE) و هیدروکربن در دو منطقه شسته شده (Flashed Zone) و دست نخورده (Virgin Zone) به ترتیب ۲/۱، ۵۶، ۰/۴ و ۱/۱ محاسبه گردید و زون‌های تولیدی (Pay Zone) و میانگین پارامترهای پتروفیزیکی در این زون‌ها با تعیین حد برش (Cut-off) برای دو پارامتر تخلخل مؤثر ($PHIE > 2/2$) و اشباع آب مؤثر ($SWE < 55$) محاسبه شدند. در بخش دوم، رخساره‌های مخزنی و غیرمخزنی در توالی مورد ارزیابی به روش خوشه‌سازی MRGC دسته‌بندی و کل توالی به دو رخساره مخزنی و غیرمخزنی تفکیک گردید و میانگین پارامترهای پتروفیزیکی در این دو رخساره با هم مقایسه شدند. با تطابق بین رخساره مخزنی مشخص شده و زون‌های تولیدی، هم‌خوانی بالایی بین این دو در کل توالی مورد ارزیابی مشاهده شد و قسمت‌های اصلی مخزنی جهت استحصال گاز با دقت بسیار بالا مشخص شدند و زون‌بندی مخزنی در توالی مورد مطالعه صورت گرفت.

کلمات کلیدی: سازند فلهیان، ارزیابی پتروفیزیکی، روش MRGC، زون تولیدی و خوشه‌سازی

مقدمه

قابل قبول از مخزن، قبل از انجام عملیات بهره‌برداری برای تعیین قابلیت تولید سیال از سنگ مخزن و نحوه حرکت سیال درون آن، تعداد چاه‌های مورد نیاز برای تولید و در مجموع داشتن یک دید اقتصادی به‌منظور بهینه‌سازی

در مطالعات مخازن هیدروکربوری ارائه یک مدل دقیق و

*مسئول مکاتبات

این ابزارها خصوصیات مانند ترکیب کانی شناسی، بافت، ساخت‌های رسوبی و خصوصیات پتروفیزیکی (مانند تخلخل و تراوایی) را به صورت مستقیم یا غیر مستقیم نشان می‌دهند. در کنار این اطلاعات می‌توان از تلفیق داده‌های حاصل از مجموعه لاگ‌ها نیز رخساره‌های زمین شناسی یا مخزنی را تأیید نمود. از آنجا که این رخساره‌ها از روی اطلاعات لاگ‌ها استخراج می‌گردد، نام رخساره^۱ لاگ^۲ یا رخساره‌های الکتریکی^۳ برای آنها در نظر گرفته می‌شود [۶].

تحلیل رخساره‌های الکتریکی روشی است برای تقسیم‌بندی نگارها به زیرمجموعه‌هایی که نشان‌دهنده رخساره‌های زمین‌شناسی/ مخزنی بوده و توزیع آنها اساس زون‌بندی چینه‌شناسی را تشکیل می‌دهد [۷]. عنوان رخساره الکتریکی اولین بار توسط سرا پیشنهاد شد. سرا و سولپیس [۸] از واژه رخساره الکتریکی برای معرفی الگوی شکل نگارها که منطبق بر پدیده رسوب‌شناسی است، استفاده کردند. در سال ۱۹۸۲ سرا و ابوت [۹] واژه رخساره‌های الکتریکی را مجدداً به این صورت تعریف کردند: "مجموعه پاسخ نگارها که علاوه بر تعیین مشخصه رسوبات، اجازه تفکیک آنها از یکدیگر را می‌دهد". تعیین رخساره‌ها یکی از مؤلفه‌های اصلی در اکتشاف‌های هیدروکربنی و بیان خصوصیات مخزن می‌باشد [۱۰]. روش‌های متفاوتی برای دسته‌بندی پاسخ نگارها برای تعیین رخساره‌های مختلف وجود دارد که یکی از آنها، استفاده از روشی بر پایه نظریه گراف برای تشخیص جدایش‌های طبیعی انواع داده‌های نگار از جمله داده‌های آرایه‌ای و ناپیوسته است که توسط یو و رابیلر [۱۱] ارائه شده است. در این روش که به روش خوشه‌سازی MRGC معروف است، از راهکار شناخت الگوی نقطه‌ای چند بعدی مبتنی بر اصل

تولید و بهره‌برداری به‌نحوی که علاوه بر صیانت از مخازن هیدروکربوری و بالا بردن ضریب بازیافت از مخزن، جواب مناسبی نیز برای سرمایه‌گذاری انجام شده به‌دست آید و مقرون به‌صرفه باشد، مدنظر است. مدل‌سازی مخزن بر پایه اطلاعات زمین‌شناسی، پتروفیزیکی و ژئوفیزیکی صورت می‌پذیرد و بستگی مستقیم به حجم اطلاعاتی دارد که در دسترس است. روشن است که هر چه میزان اطلاعات از میدان هیدروکربوری بیشتر باشد امکان ساخت یک مدل دقیق‌تر و واقع‌گرایانه‌تری نیز میسر می‌گردد. از آنجایی که در هر چاهی که در یک میدان حفاری می‌گردد حتماً نمودارهای الکتریکی حداقل در سازندهایی که پتانسیل هیدروکربوری دارند رانده می‌شوند، لذا اطلاعات زیاد و قابل استفاده‌ای با هزینه نسبتاً کمی نسبت به سایر روش‌ها در اختیار محققان و مدل‌سازان قرار می‌گیرد که منعکس‌کننده خواص سنگ مخزن هستند. مطالعات زمین‌شناسی نفت و پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری، نقش بسزایی در شناخت پارامترهای کنترل‌کننده خواص مخزنی و تولید دارد [۱]. تفسیر پتروفیزیک، تکنیک‌های آزمایشگاهی ارزیابی داده‌ها و اندازه‌گیری‌های درون چاه برای پی بردن به خصوصیات مخزن از قبیل حجم شیل (Vsh)، تخلخل (Φ)، تراوایی (K)، ضخامت خالص به ناخالص (net/gross) مخزن، اشباع آب (Sw) و مشخص نمودن زون‌های تولیدی می‌باشد [۲]. معمولاً مهندسین مخزن، تمام بازه حفاری شده مخزن را به دو قسمت زون تولیدی^۱ و زون غیر تولیدی^۲ تقسیم‌بندی می‌کنند [۳]. زون تولیدی شاخص مهمی در بررسی کیفیت مخزن به شمار می‌رود [۴] 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 [۵]. لاگ‌ها امروزه یکی از منابع اصلی تهیه اطلاعات زیر سطحی در میدان‌های نفتی و گازی می‌باشند.

1. Pay Zone
2. Non-pay Zone
3. Log Facies
4. Electrofacies

چگالی و M/N مشخص شد. سپس پارامترهای پتروفیزیکی شامل تخلخل، اشباع آب و همچنین اشباع هیدروکربن (گاز) در ناحیه دست نخورده (Virgin Zone (U)) که محفوظ از رخنه فیلتره گل^۲ حفاری به این منطقه مانده است و ناحیه شسته شده (Flashed Zone (X)) که قسمت اعظم این ناحیه به وسیله فیلتره گل حفاری اشغال شده است در توالی مورد ارزیابی سازند فهلیان محاسبه و با استفاده از روش حد برش و میانگین‌گیری پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده، زون‌های تولیدی در توالی مورد ارزیابی مشخص شدند. در مرحله بعد با استفاده از روش خوشه‌سازی MRGC، قرائت‌های سه نگار تخلخل نوترون، چگالی و صوتی در دو دسته مختلف قرار داده شد و رخساره‌های مخزنی از غیر مخزنی تفکیک گردید. در نهایت با تطابق دو روش مورد استفاده، زون‌هایی با بهترین شرایط مخزنی مشخص شد که سبب زون‌بندی مخزنی توالی مورد ارزیابی گردید.

نتایج و بحث

محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی

برای محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی سازند فهلیان، ابتدا لیتولوژی با استفاده از نمودارهای مقاطع تعیین لیتولوژی مشخص شد. برای این منظور از دو نمودار مقاطع نوترون/چگالی (NPHI/RHOB plot) و نمودار مقاطع دو پارامتر M و N (M/N plot) استفاده شد. در نمودار نوترون/چگالی، تأثیر گاز بر روی داده‌ها باعث شده است که پراکندگی داده‌ها در نمودار به طرف بالا باشد و طیف رنگی در این نمودار که براساس میزان اشعه گاما است، در محدوده گامای بسیار پایین قرار دارد و نشان‌دهنده درصد ناچیز شیل و تمیز بودن توالی مورد ارزیابی می‌باشد (شکل ۱-الف). دومین نمودار مقاطع برای تعیین لیتولوژی، نمودار مقاطع دو پارامتر M و N است.

غیر پارامتری "نزدیک‌ترین همسایگی" و نمودار داده‌های معرف استفاده می‌شود [۱۲]. هدف از دسته‌بندی رخساره‌ها و تجزیه و تحلیل آنها، طبقه‌بندی مجموعه داده‌ها در گروه‌هایی است که بالاترین تشابه بین داده‌ها در یک گروه و کمترین تشابه بین داده‌های موجود در دو گروه را دارند.

میدان مورد مطالعه، واقع در زون ساختاری فرفاقتادگی دزفول، تاقدیسی با طول ۷۰ km و عرض ۶ تا ۱۵ km، یکی از میادین بزرگ جنوب غربی ایران می‌باشد. مخازن اصلی این میدان سازند آسماری و گروه بنگستان (ایلام و سروک) می‌باشد که سازند فهلیان به سن بریازین-والانژین^۱ در این میدان، مخزن درجه سوم و حاوی گاز است. با توجه به در دسترس بودن انواع داده‌های نگار در چاه مورد مطالعه، ابتدا از داده‌های نگارهای برای محاسبه پارامترهای مخزنی در توالی سازند فهلیان استفاده شد. سپس بهترین فواصل در بین توالی مورد ارزیابی که دارای بالاترین میزان تخلخل موثر و حجم هیدروکربن بودند مشخص شد. در مرحله بعد با استفاده از قرائت سه لاگ تخلخل نوترون، چگالی و صوتی، محدوده‌های توالی مورد ارزیابی در دسته‌های (خوشه‌های) جداگانه تفکیک شدند که در نهایت با تطابق بین فواصل دارای بالاترین تخلخل و حجم هیدروکربن که زون‌های تولیدی نامیده شد با رخساره‌های تعیین شده، همخوانی بالای این دو مشاهده شد و زون‌بندی مخزنی در توالی مورد ارزیابی صورت گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش علاوه بر دقت و مقایسه فواصل اصلی مخزنی در دو روش متفاوت، قسمت‌های اصلی مخزن را جهت استحصال گاز در توالی مورد ارزیابی مشخص می‌کند.

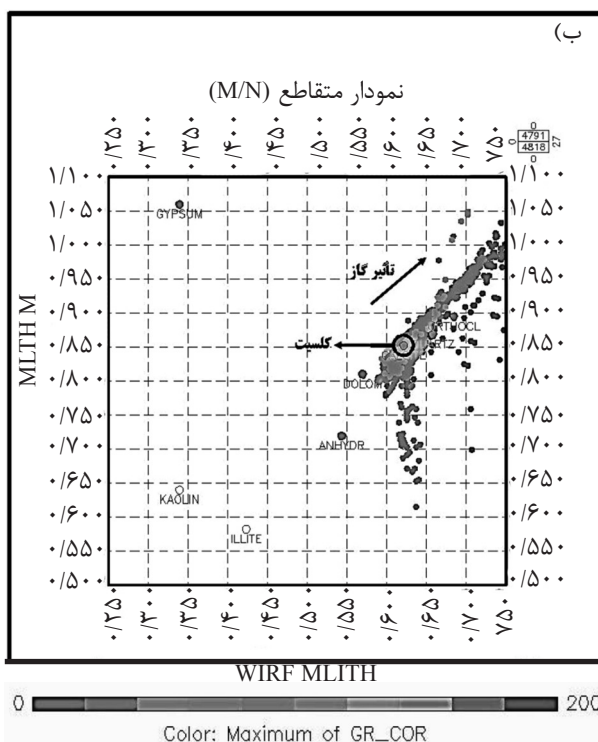
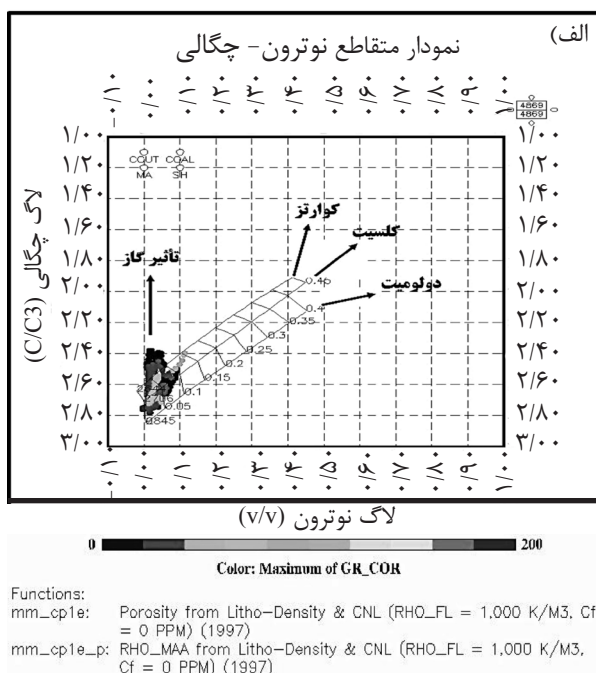
روش مطالعه

با استفاده از نگارهای چاه پیمایی و به کارگیری نرم‌افزار پتروفیزیکی ژئولاگ^۲، پس از بارگذاری داده‌ها در نرم‌افزار و تصحیح آنها، ابتدا لیتولوژی درون چاه با استفاده از نمودارهای مقاطع نوترون/

1. Berriasian-Valanginian
2. Geolog
3. Mud Filtrate

اطراف نقطه مربوط به کانی کلسیت و تا حدودی دولومیت، لیتولوژی را مشخص می‌کند. همچنین تمیز بودن توالی مورد ارزیابی با توجه به طیف رنگی اشعه گاما، کاملاً مشخص است (شکل ۱-ب).

این نمودار مقاطع از داده‌های سه نمودار تخلخل برای ارائه لیتولوژی، وابسته به دو کمیت M و N استفاده می‌کند. تأثیر گاز در این نمودار نیز باعث کشیده شدن داده‌ها به سمت شمال شرقی این نمودار می‌شود. در این نمودار پراکندگی داده‌ها در



شکل ۱- نمودارهای مقاطع تعیین لیتولوژی برای توالی مورد بررسی (الف) نوترون- چگالی، (ب) M/N

کل ضخامت مورد ارزیابی، زون ناخالص (Gross Pay) در نظر گرفته می‌شود، منهای قسمت‌هایی را که با تعیین یکسری حدود برش، آنها را زون تولیدی در نظر می‌گیریم. حدود برشی که برای تعیین زون‌های تولیدی و میانگین‌گیری پارامترهای پتروفیزیکی در نظر گرفته شده است برای دو پارامتر تخلخل مؤثر (PHIE) و اشباع آب مؤثر (SWE) به ترتیب ۲/۲ و ۵۵٪ در نظر گرفته شد که در جدول ۲ ارائه شده‌اند. جدول ۳ نیز میانگین پارامترهای پتروفیزیکی پس از اعمال حدود برش در کل توالی مورد ارزیابی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- حدود برش برای پارامترهای پتروفیزیکی تخلخل مؤثر (PHIE) و اشباع آب مؤثر (SWE)

Cut off Name	Type	(%) Value
PHIE	=<	۲/۲
SWE	=>	۵۵

جدول ۳- میانگین پارامترهای پتروفیزیکی در زون‌های تولیدی در روش حد برش

Parameter	Unit	Value
Depth	(m)	۳۸۷۷/۷ - ۴۰۸۲/۴
Gross	(m)	۲۹۳/۷
Net	(m)	۶۲/۸۴
Net/Gross	(m/m)	۰/۲۱۴
PHIEH	(v/v) _m	۲/۵۷
BVWH	(v/v) _m	۰/۷۷۹
HVOLH	(v/v) _m	۱/۸
PHIE	(v/v)	۰/۰۴۱
SWE	(v/v)	۰/۳
BVW	(v/v)	۰/۰۱۲
HVOL_AV	(v/v)	۰/۰۲۹

تعیین رخساره‌های مخزنی

زمین‌شناسان، پتروفیزیست‌ها و مهندسیین 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

تخلخل و اشباع شدگی (آب و هیدروکربن) از جمله پارامترهای پتروفیزیکی اساسی در یک مخزن هستند که باید تعیین گردند. روش‌های مختلفی جهت محاسبه تخلخل وجود دارد که بستگی به نوع نگارهای موجود دارد. برای محاسبه تخلخل، از نگارهای چگالی، نوترون و صوتی استفاده گردید و این پارامتر در کل توالی مورد ارزیابی، محاسبه شد. اشباع آب نیز به وسیله فرمول آرچی^۱ [۱۳] که پایه فرمول‌های دیگر اشباع شدگی است و برای سازندهای تمیز و عاری از شیل طراحی شده است محاسبه گردید. معادله ۱ فرمول اشباع آرچی را نشان می‌دهد.

$$S_w^n = \frac{aR_w}{\Phi^m R_t} \quad (1)$$

که در آن، S_w اشباع آب ناحیه آغشته نشده، R_w مقاومت آب سازند در دمای سازند، R_t مقاومت حقیقی سازند، Φ تخلخل، a ضریب پیچایی^۲، m توان سیمان شدگی و n توان اشباع شدگی است. جدول ۱ میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در توالی مورد ارزیابی را ارائه می‌دهد.

جدول ۱- پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده سازند فهلین در توالی مورد ارزیابی

	PHIE (%)	SWE (%)	Ugas (%)	Xgas (%)
Average	۲/۱	۵۶	۱/۱	۰/۴

میانگین‌گیری پارامترهای مخزنی و تعیین زون‌های تولیدی (Pay Zone)

زون تولیدی خالص (Net Pay Zone)، شاخص مهمی در بررسی کیفیت مخزن به شمار می‌رود. این ضخامت در واقع بخشی از توالی مورد ارزیابی را شامل می‌شود که شرایط مخزنی و پتروفیزیکی قابل قبولی داشته باشد [۱۴]. زون تولیدی به عنوان ضخامتی از سنگ که تولید از آن به لحاظ اقتصادی نسبت به تکنولوژی، قیمت‌ها و هزینه‌های امروزی مقرون به صرفه باشد تعریف شده است. در واقع این فواصل مورد نظر، زون‌هایی هستند که تمرکز مطالعات مخزنی در آنها صورت می‌گیرد.

1. Archie
2. Tortusity

برای تعیین رخساره‌ها، داده‌ها در مجموعه‌هایی باید قرار گیرند که بیشترین شباهت را با داده‌های موجود در مجموعه، و کمترین شباهت را با داده‌های مجموعه‌های دیگر داشته باشند. در این مطالعه برای مشخص کردن رخساره‌های مخزنی، از سه لاگ تخلخل نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB) و صوتی (DT) استفاده شد که نمودار فراوانی این سه لاگ در شکل ۲ نشان داده شده است.

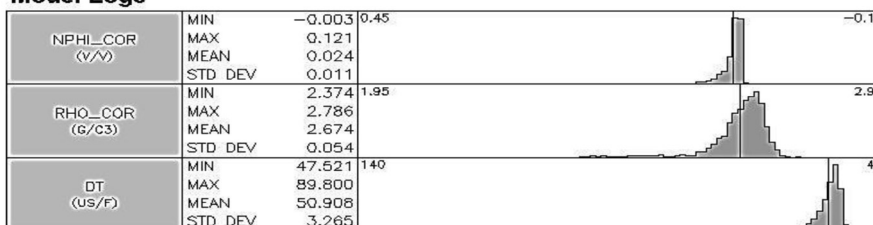
روش MRGC

هدف از خوشه‌سازی داده‌ها، طبقه‌بندی آنها بر اساس بیشترین تشابه درون گروهی و بیشترین اختلاف بین گروهی است. روش‌های مختلفی برای خوشه‌سازی داده‌ها وجود دارد که به دو گروه کلی مبتنی بر ناظر و بدون ناظر تقسیم می‌شوند. از گروه اول می‌توان از شبکه‌های عصبی پس انتشار خطا^۲ و منطق فازی^۳ نام برد و از نوع دوم، به شبکه عصبی خود سامان ده^۴، طبقه‌بندی ترتیبی صعودی^۵، خوشه‌سازی پویا^۶ و خوشه‌سازی گراف پایه با توان تفکیک چند گانه^۷ اشاره کرد. ویژگی‌هایی که یک روش مناسب برای انجام عملیات خوشه‌سازی داده‌های لاگ باید داشته باشد شامل [۱۷]: 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،

را با هم دارند، دست یابند [۱۵] که در این میان تجزیه و تحلیل رخساره‌های لاگ برای بیان خصوصیات مخزن بسیار مهم می‌باشد [۱۱]. رخساره لاگ، عبارت است از مجموعه‌ای از پاسخ لاگ که مشخص کننده یک لایه یا چینه بوده و باعث تفکیک آن از لایه یا چینه‌های دیگر می‌گردد [۱۶]. تعیین رخساره‌های الکتریکی در سازندهای مخزنی، امروزه یکی از رایج ترین مطالعات در این زمینه است. کاربرد فراوان این رخساره‌ها و قابلیت انعطاف آنها جهت تعیین پارامترهای مخزنی خاص، با توجه به نوع داده‌های ورودی، امروزه این روش را به یکی از توانمندترین ابزارها در مطالعات مخزنی تبدیل نموده است. از رخساره‌ها در مواردی مانند تفکیک بخش‌های مخزنی از غیر مخزنی، تطابق سازندی در سطح میدان و افزایش مقیاس^۱ داده‌های لاگ استفاده می‌گردد. اهمیت این داده‌ها به عنوان مغزۀ مجازی نام برده می‌شود [۱۷]. مفهوم الکتروفاسیس، گروه‌بندی مشروط داده‌هایی است که تقسیم‌بندی آنها بر اساس تشابه خصوصیات پتروفیزیکی در واحدهای زمین‌شناسی می‌باشند [۱۷]. رخساره‌های الکتریکی در اصل یک روش قطعی یا تحلیلی برای دسته‌بندی چاه نگارهای پتروفیزیکی است که می‌تواند نشان دهنده تغییر ویژگی‌های زمین‌شناسی یا مخزنی باشد [۱۸]. این عنوان توسط سرا و سوپلیس پیشنهاد شده است.

4819 Samples

Model Logs



شکل ۲- نمودار فراوانی نگرهای ورودی برای مدل رخساره‌ای

1. Upscaling
2. Back-Propagation Neural Networks (BPNN)
3. Fuzzy Logic
4. Self Organizing Map (SOM)
5. Ascendant Hierarchical Clustering (AHC)
6. Dynamic Clustering (DYNCLUST)
7. Multi-Resolution Graph-based Clustering (MRGC)

مخزنی استفاده شد. در نتیجه رخساره‌هایی را که نزدیکترین شباهت را باهم داشتند در یک دسته قرار گرفتند که در نهایت مدلی با دو رخساره متفاوت مد نظر قرار گرفت. در شکل ۳، قرائت سه نگار ورودی مدل رخساره‌ایی در دو دسته متفاوت نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل رخساره‌ها

رخساره غیر مخزنی Non-Reservoir Facies

این رخساره از لحاظ مخزنی دارای تخلخل مؤثر خیلی کم است. فواصل مربوط به این رخساره، دارای میانگین تخلخل مؤثر (PHIE) و حجم گاز ناحیه دست نخورده سازند (UGAS) پایین و میانگین اشباع آب مؤثر (SWE) بیشتری نسبت به رخساره مخزنی هستند. این رخساره دارای ذخیره هیدروکربنی بسیار ناچیز می‌باشد. در نتیجه ارزش اقتصادی ندارد.

رخساره مخزنی Reservoir Facies

این رخساره دارای تخلخل مؤثر بیشتر از رخساره غیرمخزنی می‌باشد و بالاترین حجم هیدروکربن در فواصل مربوط به این رخساره مشاهده می‌شود که دلیل آن بالا بودن میزان خلخل و فرجی هستند که به وسیله هیدروکربن (گاز) پر شده‌اند. میانگین تخلخل مؤثر (PHIE) و حجم گاز ناحیه دست نخورده سازند (UGAS) بالاتر و میانگین اشباع آب مؤثر (SWE) پایین‌تر نسبت به رخساره غیرمخزنی دارد. در نتیجه فواصل دارای رخساره مذکور، قسمت‌های اصلی مخزنی در توالی مورد ارزیابی را شامل می‌شود. میانگین این پارامترها در دو رخساره مخزنی و غیرمخزنی در جدول ۴ ارائه شده است.

استفاده از کمترین پارامترها و عدم حساسیت به تغییرات آنها و عدم محدودیت در نوع و تعداد داده‌ها و خوشه‌ها می‌باشد. 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 داده‌های لاگ‌ها توسط دو شاخص NI^۱ پارامتر شاخص همسایگی که موقعیت نزدیک بودن هر نقطه در در یک مجموعه داده را به قله یا قعر تابع چگالی احتمالی داده‌ها مشخص می‌کند و KRI^۲ پارامتر هسته خوشه، شاخصی است جهت تعیین نقاط مستعد برای نمایندگی به عنوان هسته یا مرکز خوشه، که این دو شاخص نشانه‌های رابطه همسایگی میان داده‌ها هستند، مشخص می‌شوند. این رابطه همسایگی از روی فاصله فضایی داده‌ها (لاگ‌ها) محاسبه می‌شود. 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. در این مطالعه با توجه به دقیق‌تر بودن روش MRGC نسبت به سایر روش‌های موجود دسته‌بندی داده‌ها، که توسط محققان زیادی به اثبات رسیده است [۴، ۱۹ و ۲۰]، از این روش جهت دسته‌بندی رخساره‌های

	NAME	COL	PAT	WEIGHT	NPHI_COR	RHO_COR	DT
1	Non-Reservoir			3203			
2	Reservoir			1616			

شکل ۳- دسته‌بندی قرائت نگارها در دسته‌های (رخساره‌های) جداگانه

جدول ۴- میانگین پارامترهای پتروفیزیکی رخساره مخزنی و غیرمخزنی در روش خوشه‌سازی

Facies	PHIE(%)	SWE(%)	UGAS(%)
Reservoie	۳/۶۵	۳۸/۹	۲/۳۱
Non-Reservoir	۱/۳	۶۵/۳	۰/۵۵

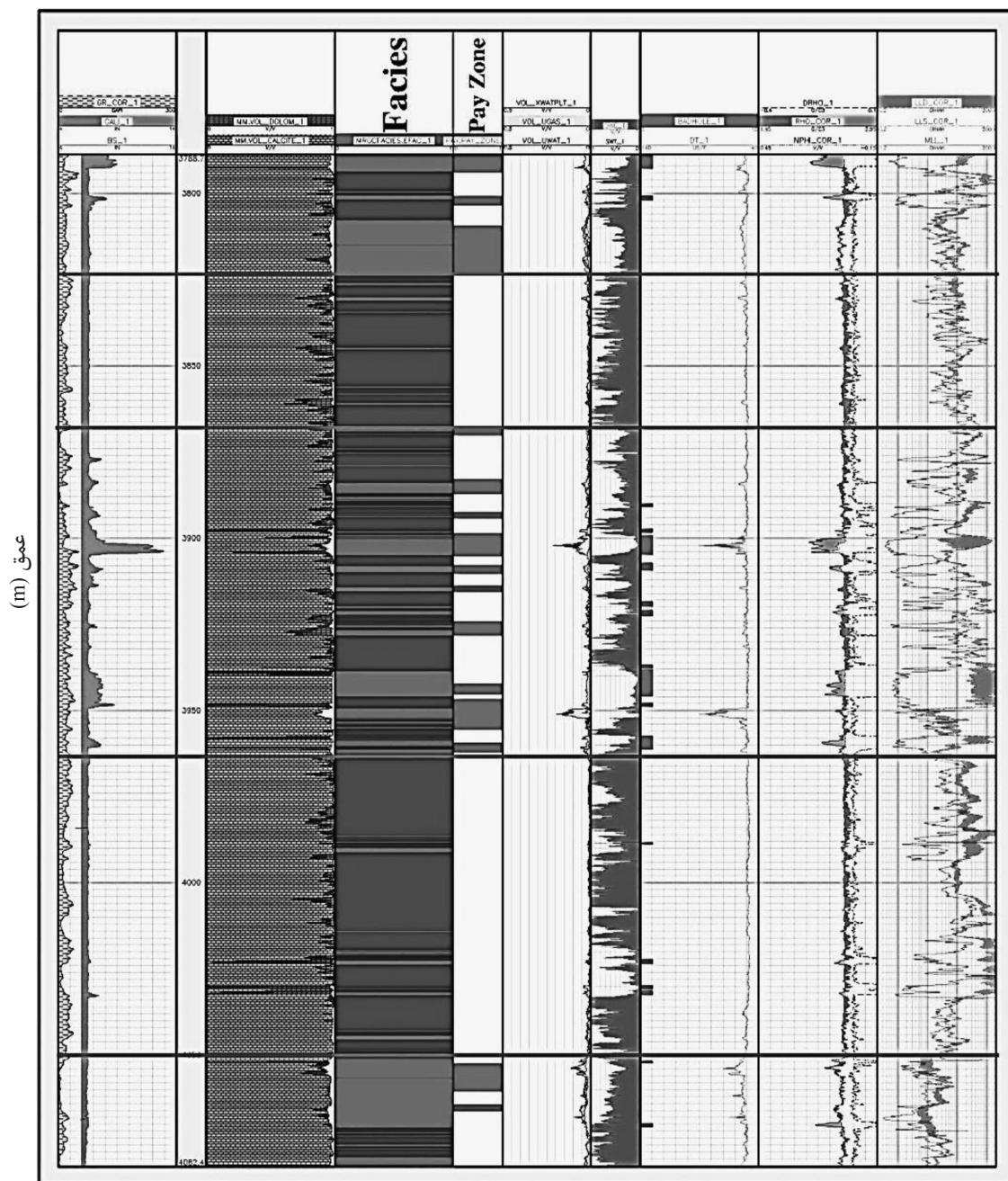
1. Neighboring Index

2. Kernel Representative Index

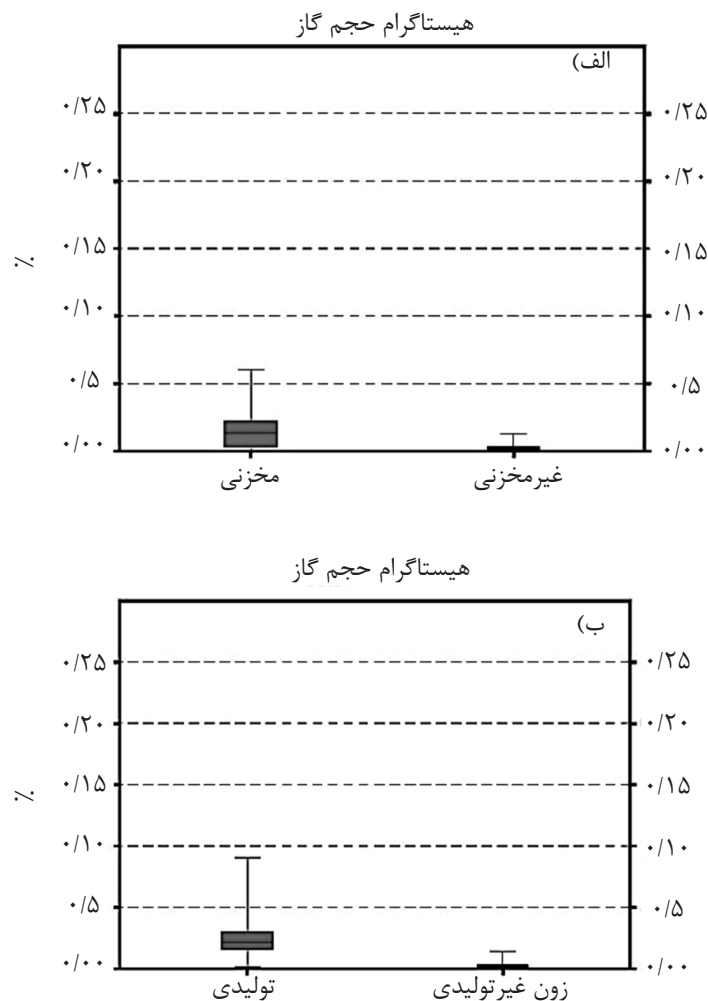
مقایسه رخساره‌های مخزنی با زون‌های تولیدی

با توجه به دسته‌بندی رخساره‌ها و مشخص نمودن رخساره‌های مخزنی و غیرمخزنی که در توالی چاه در شکل ۴ مشخص شده‌اند، همخوانی بالایی بین این رخساره‌ها با زون‌های تولیدی حاصل از میانگین‌گیری پارامترهای پتروفیزیکی مشاهده می‌شود. در نتیجه این فواصل مشترک در هر دو ستون (Facies و Pay zone) دارای بالاترین

تخلخل مؤثر و حجم گاز در مقایسه با کل توالی مورد ارزیابی هستند و زون‌های اصلی مخزنی به شمار می‌روند. فواصلی که در ستون رخساره‌ها (Facies) و ستون زون‌های تولیدی (Pay Zone) مشخص شده‌اند، فواصلی هستند با کیفیت مخزنی خوب که دارای ذخیره گاز قابل ملاحظه می‌باشند. شکل ۵ میزان هیدروکربن را در دو دسته جدا شده در هر دو روش نشان می‌دهد.



شکل ۴- مقایسه رخساره‌های مخزنی (ستون Facies) با زون‌های تولیدی (ستون Pay zone) و زون‌بندی توالی مورد بررسی



شکل ۵- میانگین فراوانی حجم گاز در دو دسته متفاوت (الف) روش خوشه‌بندی، (ب) روش حد برش

توالی مورد ارزیابی به ترتیب ۱/۱ و ۰/۴٪ به دست آمد که این نتایج در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

۳- برای تعیین زون‌های تولیدی با اعمال حدود برش برای تخلخل مؤثر و اشباع آب مؤثر که به ترتیب شامل $(PHIE \geq 0.2/2)$ و $(SWE \leq 0.55)$ بود، فواصل دارای شرایط در نظر گرفته شده در توالی ارزیابی شده مشخص شدند که این فواصل دارای حجم گاز قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در این فواصل (زون‌های تولیدی) در شرح جدول ۳ ارائه شده‌اند.

۴- با استفاده از روش MRGC، کل توالی مورد ارزیابی به دو رخساره مخزنی و غیر مخزنی تقسیم شد. با مقایسه بین پارامترهای پتروفیزیکی در این دو رخساره که در شرح جدول ۴ ارائه شده است، به خوبی این دو رخساره را از یکدیگر تفکیک می‌کند.

ملاحظه می‌شود که تفکیک قسمت‌های مخزنی از غیرمخزنی در هر دو روش به خوبی صورت گرفته است و تقریباً تمام حجم هیدروکربن موجود در توالی مورد بررسی، در قسمت‌های مخزنی مشخص شده در هر دو روش قرار دارد.

نتیجه‌گیری

۱- با استفاده از نمودارهای متقاطع تعیین لیتولوژی (M-N و NPFI-RHOB) لیتولوژی در کل توالی مورد ارزیابی، آهک تمیز به همراه مقادیر کمی از کانی دولومیت مشاهده شد.

۲- میزان تخلخل مؤثر (PHIE) و اشباع آب مؤثر (SWE) در کل توالی مورد ارزیابی به ترتیب ۲/۱ و ۵۶٪ محاسبه شد. همچنین حجم گاز در ناحیه دست نخورده (UGAS) و ناحیه شسته شده (XGAS) در کل

بررسی شد که در هر دو روش دقت بالایی مشاهده گردید. در نتیجه با استفاده از هر دو روش، زون بندی مخزنی در توالی مورد ارزیابی با وجود لیتولوژی تقریباً یکنواخت با دقت بالایی صورت گرفت.

۵- با مقایسه بین زون های تولیدی و رخساره های مشخص شده، همخوانی بالایی بین زون های تولیدی و رخساره مخزنی مشاهده گردید و دقت تفکیک زون های مخزنی و غیرمخزنی نیز در شکل ۴

مراجع

- [۱]. کدخدائی ایلخچی ع، رضائی م، ر، معلمی س. ع. و شیخزاده الف، تخمین گونه های سنگی و تراوایی در میدان گازی پارس جنوبی با استفاده از تکنیک خوشه سازی میان مرکز فازی و مدل سازی فازی، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، صفحات ۶۹۰-۶۷۸، ۱۳۸۴.
- [2] Worthington P. F., "The petrophysics of problematic reservoirs", (SPE) Society of Petroleum Engineers, Vol. 63, No. 12, pp. 88-97, 2011.
- [3]. باقری ح، طباطبایی رئیسی س. ه، فضلی ل. و دولتی ارده جانی ف، «بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ مخزنی سازند شوربچه در یکی از چاه های واقع در حوضه کپه داغ (شمال خاور ایران)»، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۸ شماره ۴، ۱۳۹۱.
- [۴]. سروش نیام، کدخدائی ع. و نوری ب، «بررسی روش های خوشه سازی در تعیین الکتروفاسیس ها و نیز میکروفاسیس های مخزنی و با استفاده از اطلاعات پتروفیزیکی و پتروگرافی در سازند آسماری در یکی از میدین نفتی خلیج فارس»، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۱ - ۱۲ آذر، ۱۳۹۱.
- [۵]. باقری ح. و خوشبخت ف، «تعیین زون تولیدی (Pay Zone) به دو روش حد برش (Cut off) و خوشه بندی (Clustering) داده های لاگ در یک مخزن کربناته»، نشریه علمی پژوهشی پژوهش نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۲.
- [6] Serra O., "Fundamentals of well-log interpretation", Vol 2. The Interpretation of Logging Data, Amsterdam, Elsevier, pp. 684, 1986.
- [7] Rabiller P., *Facies prediction and data modeling for reservoir characterization*, 1st ed. Rabiller Geo-consulting, 2005.
- [8] Serra O. and Sulpice L., *Sedimentological analysis of shale-sand series from well logs*, Transactions of the SPWLA 16th Annual Logging Symposium, 1975.
- [9] Serra O., and Abbott H. T., "The contribution of logging data to sedimentary sedimentology and stratigraphy", Society of Petroleum Engineers Journal, Vol. 22, No. 1, pp. 117-131, 1982.
- [10] Kumar B. and Kishore M., *Electrofacies Classification – A Critical Approach*, 6th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, New Delhi, India, 2006.
- [11] 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.
- [۱۲]. رحیمی بهار. ع. الف و حسین پورصیامی. ح، تفکیک زون های مختلف مخزن هیدروکربنی با کمک رخساره های الکتریکی، نشریه پژوهش نفت ایران، سال ۲۲، شماره ۷۲، ۱۵۳-۱۴۴، ۱۳۹۱.
- [13]. Archie G. E., "The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics", Transactions

AIME, Vol. 146, pp. 54-62, 1942.

[۱۴]. موحد ب.، کهنسال قدیم‌وند 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 شماره ۲۱، ۱۸۵-۱۶۹، ۱۳۹۰.

[15]. 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.

[۱۶]. نصیری ع. م.، موحد ب.، باقری ع. م.، محدودی الف. و وفائی م. ر.، «مقایسه روش‌های مختلف خوشه‌سازی جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی در یکی از میادین گازی ایران»، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، ۱۴ - ۱۶ شهریور، ۱۳۹۱.

[17] Ye S. J. and Rabiller Ph., "Automated Electrofacies Ordering, Petrophysics", Vol. 46, No. 6, pp. 409-423, 2005.

[۱۸]. رحیمی بهار ع. الف. و پرهام س.، «تجزیه و تحلیل رخساره‌های الکتریکی بر اساس رخساره‌های رسوبی»، نشریه علمی پژوهشی رخساره‌های رسوبی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۵ شماره ۱، ۶۱-۷۴، ۱۳۹۱.

[19]. Baldwin J. L., *Using simulated bidirectional associative neural network memory with incomplete prototype memories to identify facies from intermittent logging data acquired in siliciclastic depositional sequence*, Paper presented at the 1991 Annual Technical Conference and Exhibition, Oct. 6-9, Dalas, Texas, 1991.

[20]. Sutadiwirya Y., "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, pp. 2-12, 2008.