

# ارزیابی گونه‌های سنگ مخزن آسماری میدان گچساران با استفاده از روش آنالیز خوشه‌ای به کمک شبکه عصبی مصنوعی نگاشت خود سازمان یافته (SOM)

مهدی فرش‌ی، سیدرضا موسوی حرمی<sup>۱\*</sup>، اسد الله محبوبی<sup>۱</sup>، محمد خانه باد<sup>۱</sup> و کیارش قنواتی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۵

## چکیده

شناسایی تغییرات ویژگی‌های زمین‌شناسی و مخزنی در غالب گونه‌های سنگی از طریق مشخص کردن رخساره‌های لاگ و تایید آنها با داده‌های مغزه امکان‌پذیر است. در این مقاله ابتدا سازند آسماری با استفاده از مقاطع نازک مغزه، میکروفاسیس‌ها و فرایندهای دیاژنزی مورد مطالعه قرار گرفت. سپس با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی خود سازمان یافته و روش آنالیز خوشه‌ای، داده‌های نمودارهای چاه‌پیمایی متعلق به ۵ چاه مغزه‌گیری شده مخزن آسماری در میدان گچساران خوشه‌بندی شده و تعداد ۵ رخساره لاگ به عنوان مدل رخساره لاگ انتخاب شدند. با بررسی این مدل و مقایسه آن با داده‌های مغزه (تخلخل، تراوایی و منحنی فشار موئینه) و پتروگرافی به طور قابل قبولی رخساره‌های لاگ تایید شده، و به عنوان گونه سنگی معرفی شدند. با توجه به نتیجه خوب آن در تفکیک بخش‌های مخزنی، این مدل به سایر چاه‌های فاقد مغزه که فقط داده‌های نمودارهای چاه‌پیمایی آنها در دسترس بود انتشار داده شد و روند تغییرات گونه‌های سنگ در طول میدان مورد بررسی قرار گرفت.

**کلمات کلیدی:** گونه سنگ، رخساره لاگ، آنالیز خوشه‌ای، شبکه عصبی نگاشت خود سازمان یافته، میکروفاسیس

## مقدمه

را از جنبه‌های توصیف ویژگی‌های زمین‌شناختی و قواعد مهندسی حاکم بر جریان سیال در محیط متخلخل می‌طلبید. یکی از اساسی‌ترین نتایج حاصله از این مطالعات نزدیک شدن به سرشت نمایی و مدل‌سازی سه بعدی مخازن از طریق شناسایی گونه‌های مختلف سنگ مخزنی و در نتیجه شناسایی زون‌های تولیدی از غیر تولیدی است [۱]. توصیف

مدیریت و سیانت از مخازن هیدروکربنی (برنامه‌ریزی کارآمد برای توسعه و تولید) از لحاظ اقتصادی و پیشرفت علمی ضروری است و برای نزدیک شدن به این مهم، روش‌های مطالعاتی مختلف و گسترده‌ای

کار بردن روش مطالعاتی آنالیز خوشه‌ای با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی نگاشت خود سازمان یافته<sup>۴</sup> (SOM) بر روی داده‌های نمودارهای چاه پیمایی ۵ چاه مدل شده مخزن آسماری میدان گچساران و تفکیک رخساره‌های لاگ مربوطه و سپس کالیبره کردن این رخساره‌ها با تفاسیر نمودار، داده‌های تخلخل، تراوایی، منحنی‌های فشار موئینه مغزه برای تشخیص مناسب گونه‌های سنگی مخزن و در نهایت انتشار مدل رخساره لاگ برای چاه‌های دیگر فاقد مغزه است. لازم به ذکر است که در انتخاب چاه‌های مدل، چاه‌هایی انتخاب شد که طول روند شمال غرب - جنوب شرق میدان و هر دو یال تاقدیس را پوشش داده و نیز دارای داده‌های مغزه باشند. شکل ۱ موقعیت چاه‌های مدل (چاه‌های ۰۲۵، ۰۳۱، ۰۳۲، ۰۳۷ و ۲۸۷) و چاه‌های فاقد مغزه (۰۴۳، ۰۹۹، D و ۲۹۸) را نشان می‌دهد.

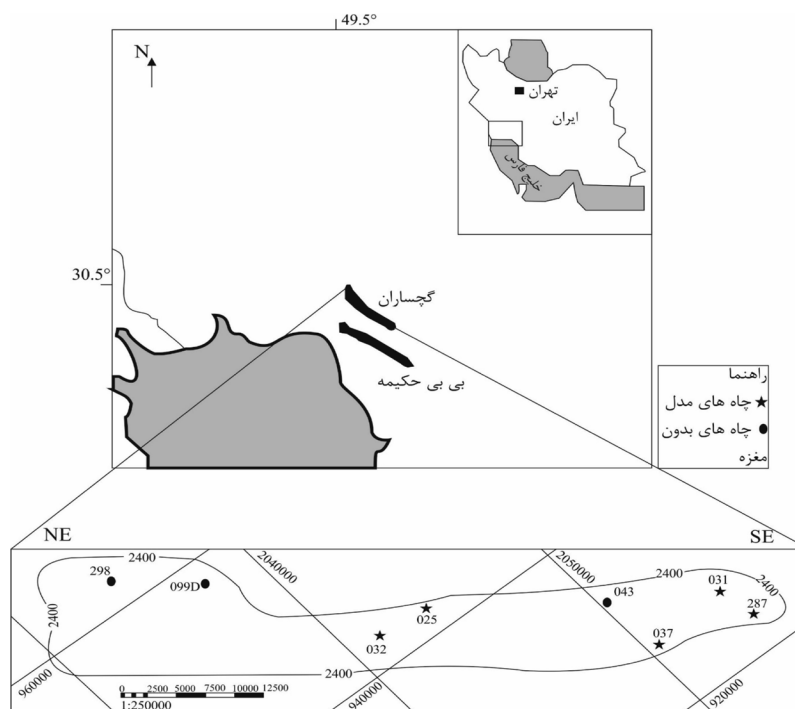
### روش کار

#### انتخاب داده‌ها

در بخش مطالعات پتروگرافی و بررسی شرایط محیطی و دیاژنزی تعداد ۴۷۸ مقطع نازک تهیه شده از مغزه‌های متعلق به چاه‌های ۰۲۵، ۰۳۱ و ۰۳۲ مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که برای تعیین رخساره‌های لاگ، شبکه نیازمند مجموعه‌ای از داده‌ها است که متناسب با ویژگی‌های زمین‌شناسی و مخزنی باشد. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل نمودارهای چاه پیمایی پرتو گاما<sup>۵</sup> (GR)، نوترون<sup>۶</sup> (NPHI)، صوتی<sup>۷</sup> (DT)، اشباع آب<sup>۸</sup> (SW)، تخلخل موثر ارزیابی شده<sup>۹</sup> (PHIE) و نیز داده‌های تخلخل، تراوایی و منحنی فشار موئینه<sup>۱۰</sup> (PC) مغزه مربوط به ۸ چاه مخزن آسماری در میدان گچساران است که در محیط نرم‌افزار Paradigm™ Geolog مورد استفاده قرار گرفت.

1. Rock Typing
3. Log Facies
4. Electrofacies
5. Self Organizing Map
6. Gamma Ray
7. Neutron Porosity
8. Delta-T
9. Water Saturation
10. Effective Porosity
11. Capillary Pressure

ویژگی‌های زمین‌شناختی، مستقیماً وابسته به مطالعات بر روی نوع و تنوع فرآیندهای محیط رسوب‌گذاری، وقایع دیاژنزی و تکتونیک پس از رسوب‌گذاری، آنالیزهای ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در مقیاس‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی است. قواعد حاکم بر جریان سیال در محیط متخلخل نیز نیازمند محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی کنترل کننده جریان سیال نظیر تخلخل، تراوایی، اشباع سیال، فشار موئینه و ... است. از آنجایی که مقدار و چگونگی توزیع پارامترهای پتروفیزیکی بستگی به ساختار زمین‌شناسی فضاها خالی موجود در سنگ دارد و این ساختار نیز خود وابسته به ویژگی‌های زمین‌شناختی است، لذا انطباق اطلاعات توصیفی و پتروفیزیکی [۲]، به منظور دستیابی به نتیجه مذکور امری ضروری است. گونه سنگی<sup>۱</sup> بسته به هدف از مطالعه و داده‌های در دسترس تعاریف متفاوتی دارد. برای مثال چنانچه فقط از داده‌های پتروگرافی استفاده شود مفهوم گونه سنگی همان میکروفاسیس‌های کربناته یا پتروفاسیس‌های آواری است [۳]. در مواردی که در کنار پارامترهای زمین‌شناسی از داده‌های پتروفیزیکی ناشی از آزمایشات معمولی و ویژه مغزه (تخلخل، تراوایی، اشباع سیال، فشار موئینه و ...) نیز استفاده شود، واحدهای مجزا را تحت عنوان گونه‌های سنگی پتروفیزیکی می‌نامند [۴، ۵ و ۶]. بنابراین از دید مخزنی می‌توان گفت، گونه سنگی مخزن عبارت است از واحدهایی از یک یا چند رخساره رسوبی مشابه یا متفاوت، که شرایط محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی و تکتونیک پس از رسوب‌گذاری به گونه‌ای بر آنها اعمال شود که ویژگی‌های پتروفیزیکی کنترل کننده جریان سیال در هر یک از آنها مشابه و محدوده‌ای از تخلخل و تراوایی مخصوص به خود را داشته باشند. در مطالعات اخیر مخازن کربناته، گونه‌های سنگی را از طریق آنالیز خوشه‌ای داده‌های نمودارهای چاه پیمایی تحت عنوان رخساره‌های لاگ<sup>۲</sup> رخساره‌های الکتریکی<sup>۳</sup> مشخص می‌کنند [۷، ۸ و ۹]. اهداف اصلی این مطالعه، به



شکل ۱ موقعیت میدان نفتی گچساران و چاه های مورد مطالعه.

### آنالیز خوشه‌ای

گونه‌های سنگی مخزن با روش‌های مستقیم مطالعاتی بر روی داده‌های مغزه (برای مثال روش مشخص کردن واحدهای جریان‌ی)، قابل تفکیک است. علیرغم نتایج قابل قبول حاصله از این روش‌ها، محدودیت دسترسی به مغزه‌ها به دلایلی همچون گران بودن عملیات مغزه‌گیری و صددرصد نبودن بازیابی مغزه‌ها ناشی از خطاهای انسانی و یا لیتولوژی ناپایدار مخزن، وقت‌گیر بودن توصیف تعداد زیادی از مقاطع نازک و انجام آزمایشات معمولی و ویژه بر روی مغزه‌ها، از جمله مشکلات پیش روی محققین است [۱۰]. امروزه روش آنالیز خوشه‌ای داده‌ها<sup>۱</sup> می‌تواند از لحاظ اقتصادی با صرفه و نیز درجه اطمینان نتایج حاصله از آن برای تعیین گونه‌های سنگی، حداقل در حد درجه اطمینان نتایج حاصله از مطالعات مغزه باشد. این روش ویژگی‌های مشابه و متفاوت بین داده‌های بزرگ و پیچیده را (مثلاً داده‌های نمودارهای چاه پیمایی) بر اساس معیاری به نام فاصله مشخص کرده و آنها را به خوشه‌هایی با نام رخساره‌های لاگ که داده‌های موجود در هر خوشه حداکثر

شبهات (نزدیکترین فاصله) را با یکدیگر و حداکثر تفاوت (دورترین فاصله) را با داده‌های خوشه‌های دیگر داشته باشند، تقسیم می‌کند [۱۱، ۱۲]. کاربرد این روش زمانی منطقی است که رخساره‌های لاگ حداکثر انطباق را با گونه‌های سنگ به دست آمده از مطالعات مغزه داشته باشند. به عبارتی دیگر شواهد پتروگرافی و نیز تفاسیر نمودارها و پارامترهای پتروفیریکی حاصل از آزمایشات مغزه، همه با هم رخساره‌های لاگ را به عنوان یک گونه سنگی مخزنی تصدیق کنند در چنین حالتی می‌توان رخساره‌های لاگ را به منظور زون‌بندی چینه‌شناسی مخزنی برای مدل‌سازی سه بعدی مخازن به کار برد [۱۳]. اگرچه واژه رخساره لاگ در ابتدا توسط سرا و سوپلیس [۱۴] به صورت الگویی خاص از شکل نمودارهای چاه پیمایی که منطبق بر یک واحد رسوبی باشد و بعدها توسط سرا و ابوت [۱۵] به صورت پاسخ نمودارهای چاه پیمایی که علاوه بر تعیین مشخصات رسوب‌شناسی قادر به تفکیک آنها از هم نیز باشد تعریف شد، اما برای یک رخساره لاگ که مفهوم گونه سنگی مخزنی را

1. Data Clustering Analysis

می‌شود. در حالت نظارتی پس از تعلیم شبکه، داده‌های ورودی (مثلاً داده‌های نمودارهای چاه پیمایی) وارد شبکه شده و خروجی حاصله (مثلاً تخلخل) با خروجی حاصل از آزمایشات تجربی (مثلاً تخلخل حاصل از مغزه) مقایسه می‌شود. چنانچه خروجی شبکه تفاوت غیر قابل اغمازی با خروجی تجربی داشته باشد، خطای موجود با اصلاح ورودی‌ها به صورت مداوم تا رسیدن به خروجی مطلوب تصحیح می‌گردد. در حالت غیر نظارتی، شبکه به طور مداوم عملکرد خود را به صورت درون‌گرا با ایجاد نظم و روندی منطقی بین داده‌های ورودی تا رسیدن به نتیجه مطلوب بهینه می‌کند. یکی از مهمترین شبکه‌های عصبی مصنوعی غیر نظارتی، شبکه عصبی نگاشت خود سازمان یافته SOM است و کاربردهای زیادی در مسائلی همچون انگشت‌نگاری، پزشکی و گفتار درمانی، جغرافیا، آب و هواشناسی و زمین‌شناسی دارد [۲۰، ۲۱]. در این شبکه خوشه‌بندی داده‌های ورودی با ابعاد زیاد، به صورت یک نگاشت دو بعدی که در داخل آن نرون‌هایی به هم متصل هستند انجام می‌پذیرد [۲۲]. انجام خوشه‌بندی بستگی به میزان جزئی‌نگری، دقت و دانش پژوهشگر (مثلاً دانش زمین‌شناسی و پتروفیزیکی) از هدف خوشه‌بندی داده‌های ورودی داشته، بدین گونه که نگاشت‌های دوبعدی بزرگتر تعداد خوشه‌های بیشتر با ساختار جزئی‌تر و نگاشت‌های دوبعدی کوچک‌تر تعداد خوشه‌های کمتر با ساختار کلی‌تری را فراهم می‌کنند. در واقع تصمیم برای تعیین میزان حد شباهت لازم و کافی در داده‌های ورودی موجود در هر خوشه، برعهده پژوهشگر و هدف او از خوشه‌بندی داده‌ها دارد.

داشته باشد بدین گونه تعریف می‌شود: مجموعه‌ای از پاسخ‌های مشابه داده‌های نمودارهای چاه پیمایی متعلق به یک یا چند رخساره رسوبی مشابه یا متفاوت که تحت شرایط محیط رسوبی و دیاژنزی خاص قرار داشته و از لحاظ خواص پتروفیزیکی مشابه به هم باشند [۱۶]. انجام آنالیز خوشه‌بندی با الگوریتم‌های متفاوتی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی نگاشت خود سازمان یافته SOM و پس از انتشار خطا<sup>۱</sup> (BPNN)، منطبق فازی، خوشه‌سازی پویا<sup>۲</sup> (DYNCLYST)، خوشه‌سازی گراف پایه با توان تفکیک‌پذیری چندگانه<sup>۳</sup> (MRGC) و خوشه‌سازی ترتیبی صعودی<sup>۴</sup> (AHC) که هر کدام محاسن و معایبی دارند قابل اجرا است [۱۷]. در این الگوریتم‌ها یک مشکل عمومی مشترک است و آن هم این است که در نقاطی از چاه که داده‌های آن در نمودارهای چاه پیمایی از لحاظ تفسیر به هم شبیه هستند و الگوریتم مربوطه آنها را در یک خوشه قرار می‌دهد ممکن است از لحاظ واقعیت‌های زمین‌شناسی کاملاً با هم متفاوت باشند [۱۸]. به عنوان مثال دو نقطه‌ای که میزان گامای بالایی را نشان می‌دهند، ممکن است یکی از آنها مربوط به عناصر پتاسیم و توریوم لایه‌های شیلی بوده و دیگری مربوط به دولومیت یا مواد آلی موجود در لایه‌های کربناته باشد. از این رو شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی توالی‌های مخزن در کنار روش‌های نرم‌افزاری مبتنی بر آمار و ریاضیات همچون آنالیز خوشه‌ای بسیار حائز اهمیت است.

### شبکه عصبی مصنوعی

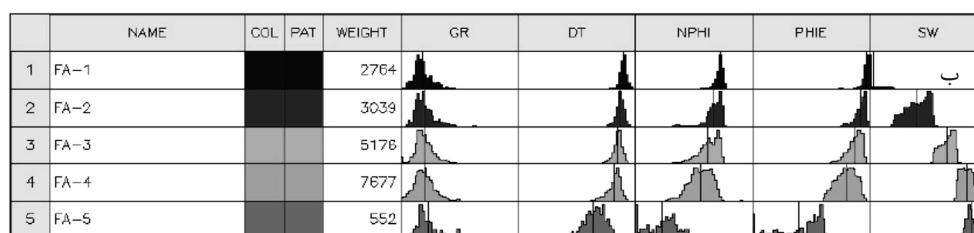
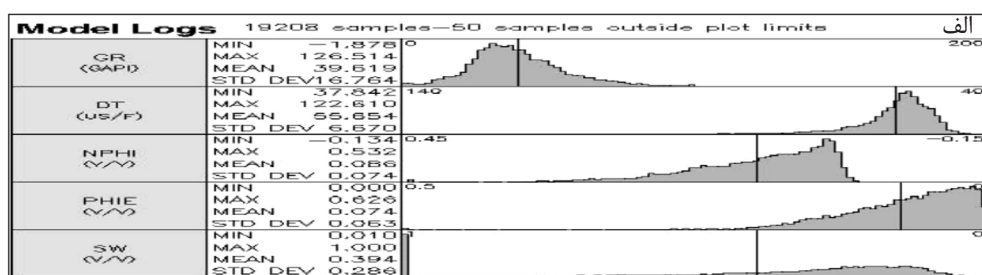
شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از الگوریتم‌های مورد استفاده در خوشه‌بندی داده‌هایی با ابعاد زیاد است که با تقلید و الهام از ساختار عملکرد مغز انسان طراحی شده است [۱۹]. ساختار شبکه متشکل از نرون‌ها، مکان‌شناسی شبکه و الگوهای یادگیری است. شبکه بر اساس الگوهای یادگیری به دو دسته نظارت شده<sup>۵</sup> و غیر نظارتی<sup>۶</sup> تقسیم‌بندی

1. Back-Propagation Neural Networks
2. Dynamic Clustering
3. Multi Regression Graph Base Clustering
4. Ascendant Hierarchical Clustering
5. Supervised
6. Unsupervised

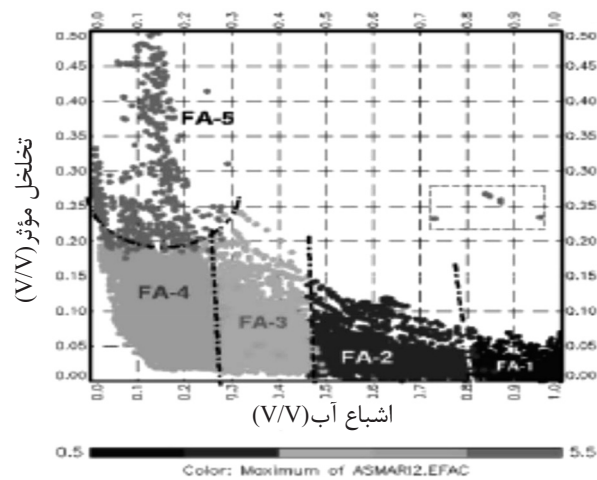
به دو دسته  $PHIE > 20\%$  و  $PHIE < 20\%$  خوشه‌بندی شدند. همچنین از آنجایی که تراوی و وابسته به هیچ نوع نمودار چاه پیمایی نیست و عموماً از طریق محاسبات ریاضی و آزمایشات تجربی به دست می‌آید لذا از نمودار اشباع آب ارزیابی شده  $SW$  که به گونه‌ای ارتباط با تراوی دارد برای ادامه کار خوشه‌بندی استفاده شد. داده‌ها بر اساس این نمودار به چهار خوشه با ویژگی‌های  $SW < 30\%$ ،  $30\% < SW < 50\%$ ،  $50\% < SW < 80\%$  و  $SW > 80\%$  تقسیم‌بندی شدند و سپس خوشه‌های به دست آمده مورد نام‌گذاری و رنگ‌آمیزی قرار گرفتند. نمایی از این مدل با تعداد ۵ رخساره لاگ رنگ‌آمیزی شده به همراه داده‌های ورودی به نرم‌افزار در شکل ۲ و نمایی از خوشه‌بندی داده‌های نمودارهای چاه پیمایی چاه‌های مدل بر اساس داده‌های نمودارهای تخلخل موثر ارزیابی و اشباع آب ارزیابی شده در شکل ۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در شکل ۳ قسمتی از داده‌ها که در داخل کادر مستطیل مشخص شده‌اند مربوط به بخش‌های آب گرفته مخزن با تخلخل بالا می‌باشند.

### آموزش شبکه برای مدل‌سازی رخساره‌های

در این مطالعه از ۸ چاه، ۵ چاه را به عنوان چاه‌های مدل انتخاب شد (شکل ۱). تهیه مدل بهینه‌ای از رخساره‌های لاگ براساس مفهوم ارائه شده برای گونه سنگ مخزن که در مقدمه این گفتار ذکر شد انجام پذیرفته است. همان طور که اشاره شد گونه سنگ مخزن صرف نظر از نوع رخساره رسوبی تشکیل دهنده، دارای یک محدوده‌ای از تخلخل (به عنوان شاخصی برای ظرفیت ذخیره‌سازی هیدروکربور) و تراوی (به عنوان شاخصی برای تولید هیدروکربور) مخصوص به خود است. بنابراین اساس کار را در تهیه مدل بهینه، بازه‌هایی از تخلخل و تراوی قرار داده شد. با توجه به اینکه نمودارهای نوترون، چگالی و صوتی علاوه بر نوع سنگ به تخلخل نیز پاسخ می‌دهند و می‌توان تخلخل را از طریق این نمودارها با معرفی نموداری با نام تخخل موثر ارزیابی شده به دست آورد، لذا به کمک الگوریتم شبکه عصبی نگاشت خود سازمان یافته SOM در محیط نرم‌افزار Paradigm™ Geolog، تعداد ۱۹۲۰۸ داده نمودارهای چاه پیمایی چاه‌های مدل با انتخاب نمودار تخلخل موثر ارزیابی شده،



شکل ۲ الف- داده‌های ورودی مدل، ب- مدل بهینه رخساره‌های لاگ، FA-1 (رخساره لاگ ۱)، FA-2 (رخساره لاگ ۲)، FA-3 (رخساره لاگ ۳)، FA-4 (رخساره لاگ ۴) و FA-5 (رخساره لاگ ۵)



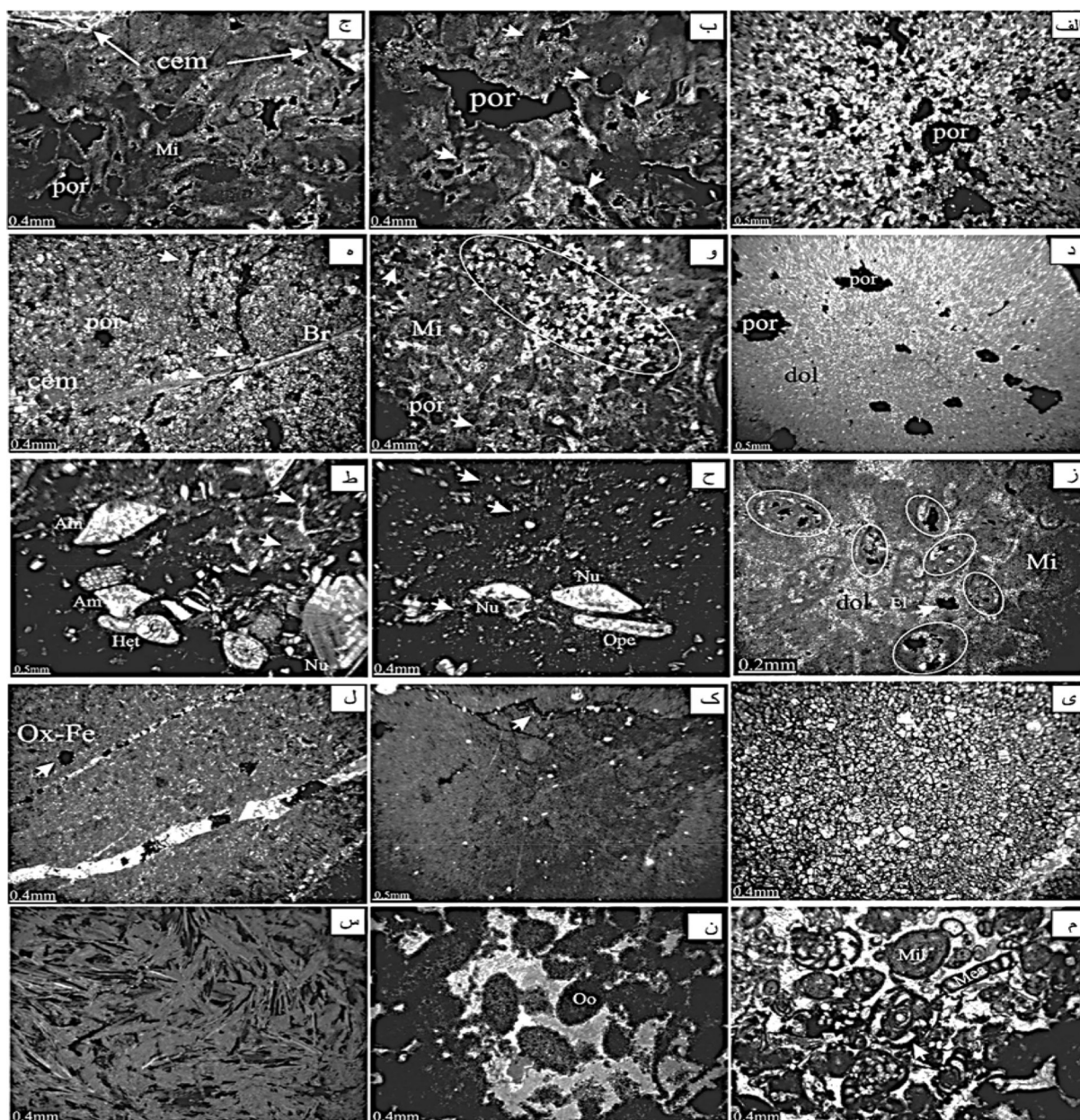
شکل ۳ نمودار متقاطع داده‌های چاه پیمایی تخلخل موثر ارزیابی و اشباع آب ارزیابی شده و خوشه‌بندی آنها به ۵ رخساره لاگ.

## نتایج و بحث

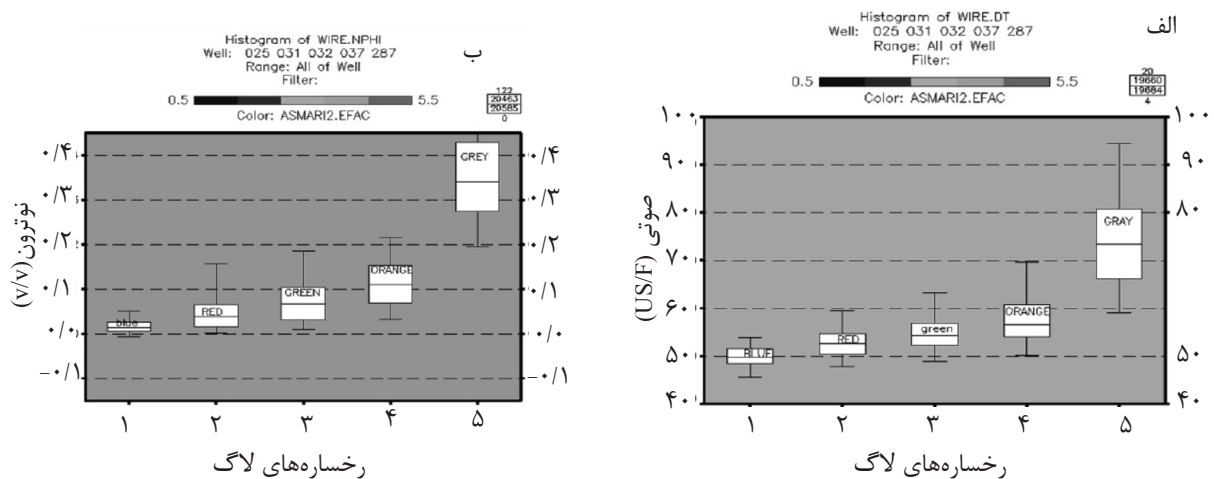
ایجاد تخلخل حفره‌ای و گاه‌ها شکستگی‌ها نسبت به سایر فرایندهای دیاژنزی اثرگذارتر بوده است. بنابراین مطالعات پتروگرافی شرایط نسبتاً خوب این رخساره‌ها را از لحاظ کیفیت مخزنی نمایان ساخت. بررسی مقاطع میکروسکوپی متناظر با رخساره‌های لاگ ۱، ۲ و ۳ موارد متنوعی از مادستون، دولومادستون، وکستون، پکستون و گرینستون‌های سیمانی شده را شامل می‌شوند که فرایندهای دیاژنزی دولومیتی شدن بیش از حد و سیمانی شدن بیشترین نقش را در کاهش کیفیت مخزنی نسبت به تراکم فیزیکی و انحلال فشاری و تشکیل استیلولیت‌ها داشته است (شکل ۴).

در مورد تفسیر داده‌های ورودی، خوشه‌بندی انجام شده تاثیر قابل قبولی را بر روی داده‌های نمودارهای نوترون و صوتی گذاشته است بدین صورت که با توجه به نمودارهای جعبه‌ای شکل ۵ از رخساره لاگ ۱ (FA-1) به سمت رخساره لاگ ۵ (FA-5) مقادیر میانگین نمودارهای نوترون و صوتی افزایش یافته و در نتیجه افزایش در کیفیت مخزنی را نشان می‌دهد. در استفاده از داده‌های مغزه، این داده‌ها در مدل‌سازی و تعیین رخساره‌های لاگ مورد استفاده قرار نگرفت بلکه بررسی تاثیر مدل بر روی آنها مدنظر بود تا بتوان اعتبار مدل را ارزیابی کرد.

برای اعتبار سنجی مدل رخساره‌های لاگ به دست آمده از روش خوشه‌بندی مذکور و معرفی آنها تحت عنوان گونه‌های سنگ مخزن، از تفسیر داده‌های ورودی و داده‌های آزمایش مغزه (تخلخل، تراوایی و منحنی فشار موینه) و تطبیق آنها با مقاطع نازک میکروسکوپی استفاده شده است. در بخش مطالعات پتروگرافی، محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی اثرگذار بر کیفیت مخزنی مورد مطالعه قرار گرفت. از آنجایی که در این مقاله بیان تفصیلی این مطالعات از قبیل انواع میکروفاسیس‌ها، محیط رسوبی مخزن آسماری، انواع بافت سیمان‌ها، دولومیت و شرایط تشکیل آنها و غیره مورد نظر نمی‌باشد، بنابراین تنها به مواردی اشاره می‌شود که رخساره لاگ رابه عنوان گونه‌های سنگی متفاوت تایید کند. از این رو در انتخاب ۴۷۸ مقطع میکروسکوپی اولاً از هر رخساره لاگ به دست آمده از آنالیز خوشه‌ای تعداد تقریباً ۱۰۰ مقطع انتخاب و ثانیاً انتخاب به گونه‌ای صورت گرفت که کل زون‌بندی مخزن را پوشش بدهند. به طور کلی مخزن آسماری در میدان گچساران از دولومیت، سنگ آهک دولومیتی و سنگ آهک متراکم تشکیل شده است. مقاطع متناظر با رخساره‌های لاگ ۴ و ۵ بیشتر از نوع دولومیت بوده که فرایندهای دولومیتی شدن، انحلال و



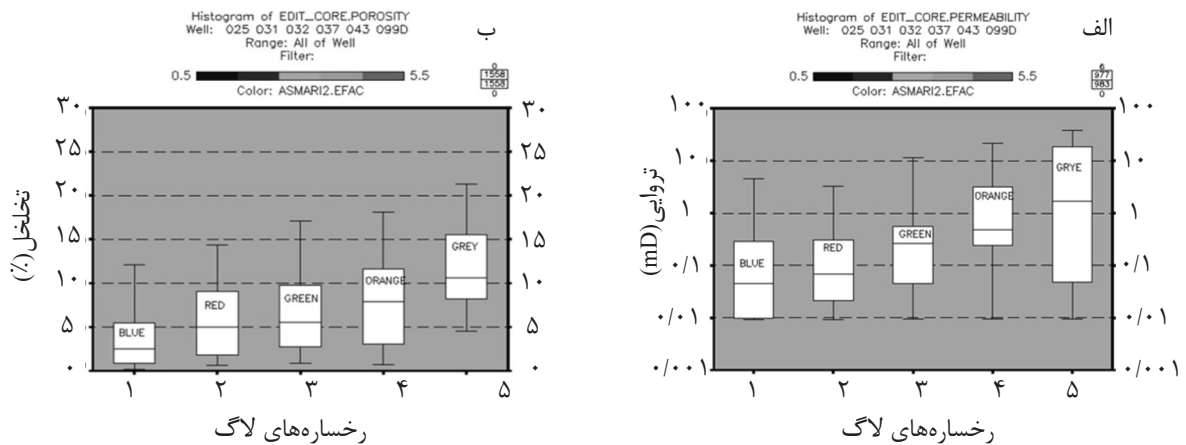
شکل ۴ تصاویر پتروگرافی از مقاطع نازک: الف و ب- میکروفاسیس‌های رخساره الکتریکی ۵ (Por: تخلخل) (نور XPL)، الف- دولستون با تخلخل حفره‌ای به هم مرتبط و ب- وکستون دولومیتی شده با تخلخل حفره‌ای به هم مرتبط (نوک پیکان‌ها)، ج و د- میکروفاسیس‌های رخساره الکتریکی ۴ (cem: سیمان و dol: دولومیت) (نور XPL)، ج- وکستون دولومیتی شده با تخلخل حفره‌ای به هم مرتبط و سیمان اندریتی (نوک پیکان‌ها)، د- دولومادستون با تخلخل حفره‌ای، و، ه و ز- میکروفاسیس‌های رخساره الکتریکی ۳ (Mi: میکریٹ، Br: براکیوپود و El: الفیدیوم) (نور XPL)، و) وکستون دولومیتی شده (نوک پیکان و محدوده مشخص شده که طی دولومیتی شدن تخلخل بین بلوری در زمینه میکریتی تشکیل شده است)، ه- دولومیت ریز بلور، هم اندازه و Planar-s، با سیمان اندریتی، شکستگی که باعث تخلخل شکستگی در فسیل نیز شده است (نوک پیکان‌ها، ز- پکستون تا گرینستون بیوکلاست دار دولومیتی شده با تخلخل قالبی (محدوده‌های مشخص شده) و تخلخل در زمینه (نوک پیکان)، ح تا ل- میکروفاسیس‌های رخساره الکتریکی ۲ (Opr: اپرکولینا، Nu: نومولیتس، Am: آمفیستزینا، Het: هتروستزینا و Ox-Fe: اکسید آهن) (نور XPL)، ح) وکستون بیوکلاست دار با تخلخل قالبی در خرده‌های ریز (نوک پیکان‌ها)، د- پکستون دولومیتی شده با تخلخل قالبی در خرده‌ها ریز (نوک پیکان‌ها)، ی) دولومیتی شدن بیش از حد، Planar-s (نور PPI)، ک- مادستون کوارتز دار با استیلولیت که از اکسید آهن پر شده است (نوک پیکان) (نور PPL، ل) مادستون دولومیتی شده که تمام شکستگی‌ها توسط سیمان پر شده است، م تا س) میکروفاسیس‌های رخساره الکتریکی ۱ (Mil: میلیولید، Mea: ماندریتا و Oo: اووئید) (نور XPL)، م- گرینستون میلیولیدار که زمینه و تمام فضاهای خالی توسط سیمان کلسیتی پر شده است (نوک پیکان)، ن- گرینستون اووئیدی که اووئیدها دولومیتی و بین دانه‌ها سیمان اندریتی پر شده است، س- اندریت.



شکل ۵ نمودارهای جعبه‌ای داده‌های نوترون و صوتی مربوط به رخساره‌های لاگ، الف- داده‌های صوتی و ب- داده‌های.

اندازه میکرون با هم در ارتباط است و فشاری که باعث حرکت سیال ترکننده در کانال‌ها می‌شود را فشار موئینه گویند [۲۳]. این منحنی‌ها از جمله داده‌های قدرتمندی هستند که شکل آنها وابسته به ویژگی‌های بافتی و هندسه خلل و فرج سنگ است و لذا ارتباط بین تراوایی و اشباع آب در نمونه سنگ قابل تفسیر است. هر چقدر تراوایی کمتر باشد کانال‌های موئینه باریک‌تر بوده و در نتیجه نیروی موئین برای حرکت فاز ترکننده بیشتر است و نهایتاً اشباع آب به عنوان فاز ترکننده مخزن افزایش می‌یابد [۲۳]. با توجه به توضیحات مختصر داده شده، تعداد ۸ منحنی فشار موئینه را در محیط نرم‌افزار ژئولاگ بارگذاری کرده و سپس مدل مذکور بر روی آنها اعمال شد.

بنابراین در ابتدا داده‌های تخلخل و تراوایی ۵ چاه که از لحاظ عمق متناظر با اعماق رخساره‌های لاگ بودند را در محیط نرم‌افزار بارگذاری کرده و سپس بر اساس مدل رخساره‌های لاگ، مورد رنگ‌آمیزی قرار گرفت. نتایج رنگ‌آمیزی صحت رخساره‌های لاگ را به طور محسوسی نشان داد. با توجه به شکل ۶ و نمودارهای جعبه‌ای، میانگین تخلخل و تراوایی متناظر با رخساره لاگ با کیفیت مخزنی (رخساره ۱) به سمت رخساره لاگ با بیشترین کیفیت مخزنی (رخساره ۵) افزایش می‌یابد. در ادامه مطالعه از منحنی‌های فشار موئینه چاه‌های ۲۵ و ۲۸۷ برای اعتبارسنجی مدل رخساره لاگ استفاده شد. خلل و فرج موجود در سنگ توسط کانال‌های موئینه پرپیچ و خم با گلوگاه‌هایی در



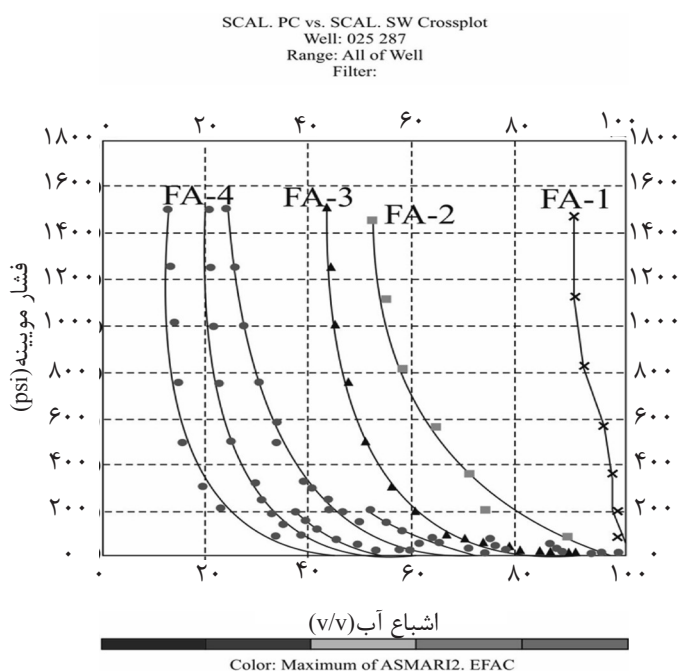
شکل ۶ نمودارهای جعبه‌ای داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه متناظر با رخساره‌های لاگ، الف- داده‌های تراوایی و ب- داده‌های تخلخل.



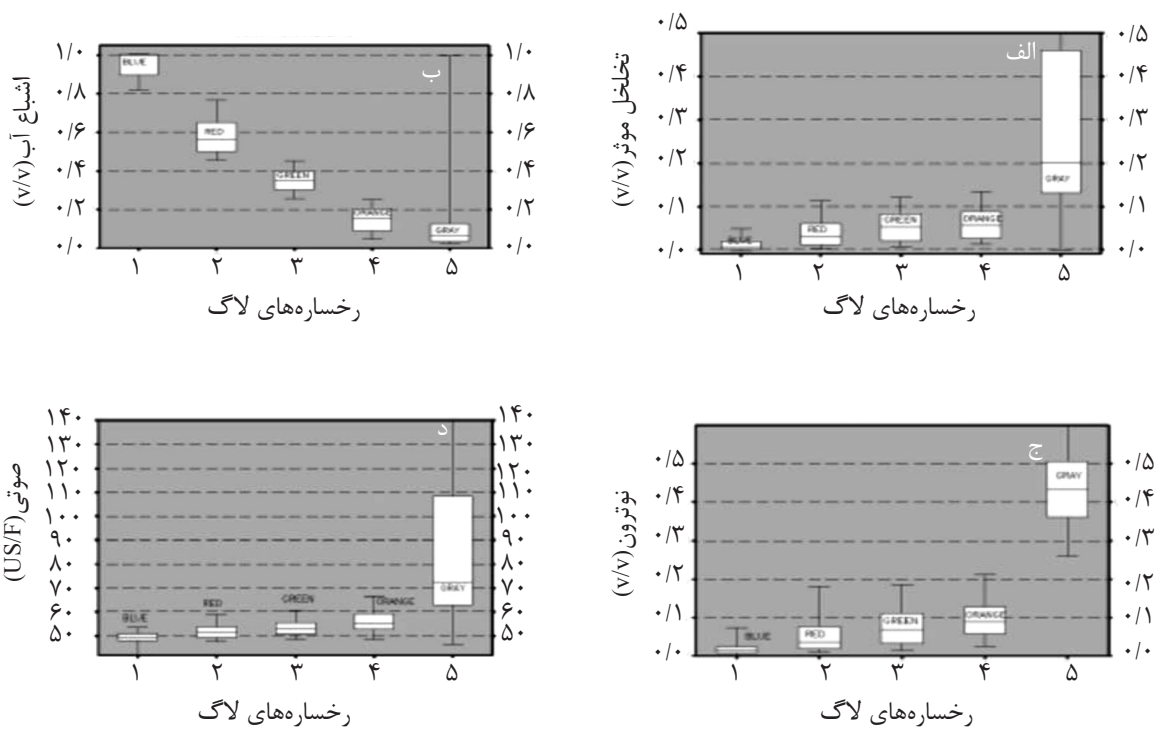
رنگ خاکستری که نمایانگر رخساره ۵ باشد دیده نمی‌شود.

پس از استفاده از داده‌های مغزه و اطمینان حاصل شدن از اعتبار نسبتاً قابل قبول مدل رخساره لاگ، عملکرد این مدل بر روی داده‌های چاه پیمایی چاه‌های دیگر (داده‌هایی که در آنالیز خوشه‌ای مورد استفاده قرار نگرفت) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور در نرم‌افزار ژئولاگ مدل مربوطه برای این چاه‌ها انتشار داده شد. با توجه به شکل ۸ روند مقادیر میانگین داده‌های تخلخل ارزیابی شده PHIE، صوتی DT، نوترون NPHI، از رخساره لاگ ۱ (آبی رنگ) به سمت رخساره لاگ ۵ (خاکستری رنگ) به صورت صعودی و برای اشباع آب ارزیابی شده SW این روند نزولی است. بنابراین این مدل توانسته است برای چاه‌هایی که هیچ نقشی در مدل‌سازی نداشته اند کارآمد باشد.

با توجه به شکل ۷ منحنی فشار موئینه‌ای که مربوط به یک سنگی با تراوایی پایین و اشباع زیادی از آب است پس از رنگ‌آمیزی توسط مدل، به رنگ آبی (متناظر با FA-1) و نیز از آنجایی که منحنی‌های فشار موئینه خیلی نزدیک به هم مربوط به سنگ‌هایی با ویژگی‌های بافتی و هندسه خلل و فرج تقریباً یکسانی هستند لذا سه منحنی فشار موئینه‌ای که مربوط به یک سنگی با تراوایی نسبتاً بالا و اشباع کمی از آب است به رنگ نارنجی (متناظر با FA-4) درآمد و برای سایر منحنی‌ها نیز نتایج رنگ‌آمیزی تا حد قابل قبولی صحت رخساره‌های لاگ را به عنوان گونه‌های سنگی متفاوت نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به عمق داده‌های فشار موئینه، داده‌ای که متناظر با رخساره لاگ ۵ باشد وجود نداشت لذا در رنگ‌آمیزی منحنی‌های فشار موئینه اثری از



شکل ۷ نمودارهای منحنی فشار موئینه متناظر با رخساره‌های لاگ. FA-1 (رخساره آبی رنگ)، FA-2 (رخساره قرمز رنگ)، FA-3 (رخساره سبز رنگ) و FA-4 (رخساره نارنجی رنگ).



شکل ۸ نمودارهای جعبه‌ای داده‌های چاه پیمایی چاه‌های غیر مدل، الف- داده‌های تخلخل موثر ارزیابی شده، ب- داده‌های اشباع ارزیابی شده، ج- داده‌های نوترون و د- داده‌های صوتی.

### نتیجه‌گیری

نگاشت خود سازمان یافته در محیط نرم‌افزار ژئولاگ به ۵ خوشه تحت عنوان رخساره‌های لاگ، خوشه‌بندی شدند. بررسی پارامترهای پتروفیزیکی نشان داد که کیفیت مخزنی از رخساره‌های لاگی با کمترین مقدار میانگین سرعت صوت و تخلخل نوترونی به سمت رخساره‌های لاگی با بیشترین این مقادیر در حال افزایش است. به منظور اعتبارسنجی مدل و معرفی رخساره‌های لاگ به عنوان گونه‌های سنگی مجزا، داده‌های تخلخل، تراوایی و منحنی‌های فشار موئینه متناظر با رخساره‌های لاگ، در مدل اعمال شد. نتایج نشان داد که از رخساره لاگ با کمترین کیفیت مخزنی به سمت رخساره لاگی با بیشترین میزان کیفیت مخزنی مقادیر میانگین تخلخل و تراوایی متناظر با آنها نیز در حال افزایش است. همچنین منحنی فشار موئینه سنگی با تراوایی پایین و اشباع زیاد آب متناظر با رخساره‌های لاگی با کمترین کیفیت مخزنی و منحنی فشار موئینه سنگی با تراوایی بالا

بررسی و درک توام ویژگی‌های زمین‌شناختی (رسوبی، دیاژنزی و تکتونیک) و پتروفیزیکی (تخلخل، تراوایی، اشباع آب و فشار موئینه) منجر به شناسایی انواع گونه‌های سنگ از دیدگاه کیفیت مخزنی می‌شود و از این طریق می‌توان به سرشت نمایی و مدل‌سازی سه بعدی مخازن هیدروکربنی پی برد. گرچه دقیق‌ترین راه برای تعیین گونه‌های سنگی مطالعه مستقیم بر روی داده‌های مغزه است اما می‌توان از طریق مطالعه غیر مستقیم بر روی داده‌های چاه‌پیمایی گونه‌های سنگی را تعیین کرد. در این مقاله پس از مطالعه مقاطع نازک مغزه سه چاه و بررسی شرایط محیطی و دیاژنزی حاکم بر مخزن آسماری میدان گچساران، مجموعه‌ای مناسب از داده‌های چاه‌پیمایی ۵ چاه به عنوان چاه‌های مدل که منعکس کننده ویژگی‌های زمین‌شناختی و پتروفیزیکی است انتخاب شد و سپس با استفاده از آنالیز خوشه‌ای به کمک الگوریتم شبکه عصبی

قبول از اعتبار مدل رخساره به دست آمده از آنالیز خوشه‌ای، این مدل برای چاه‌های فاقد مغزه نیز تعمیم داده شد.

### تشکر و قدردانی

لازم است از اداره مطالعات زمین شناسی مناطق نفت خیز جنوب و پژوهشگاه صنعت نفت تشکر و قدر دانی شود.

و اشباع کم آب متناظر با رخساره‌ای لاگی با بیشترین کیفیت مخزن است. قطعاً مطالعات پتروگرافی در کنار تخلخل و تراوایی مغزه اساس تعیین کننده و تایید کننده گونه‌های سنگی مختلف است که در این مطالعه برای تایید مدل مورد استفاده قرار گرفت و شواهد آن به شکل قابل قبولی با نتایج به دست آمده از مدل مطابقت داشت در مراحل پایانی مطالعه پس از اطمینان تقریباً قابل

### مراجع

- [1] Izadi M. and Ghalambor A., "A new approach in permeability and hydraulic flow unit determination," SPE Reservoir Evaluation & Engineering, Vol. 16, No. 3, pp. 257-264, 2013.
- [2]. Lucia F. J., "Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization," AAPG Bulletin., Vol. 79, No. 9, pp. 1275-1300, 1995.
- [3]. Davies K. K., Williams B. P. J. and Vessell R. K., "Reservoir geometry and internal permeability distribution in fluvial," Tight Gas Sandstones, Travis Peak Formation, Texas, Paper SPE 21850 Presented at the Rock Mountain Regional Meeting and Low Permeability Reservoirs Symposium, Denver, CO., pp. 15-17, 1991.
- [4]. Ali-Nandalal J. and Gunter G., "Characterizing reservoir performance for the mahogany 20 gas sand based on petrophysical and rock typing methods," Paper SPE 81048 Presented at the SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Port-of-Spain, Trinidad, West Indies., pp. 27-30, 2003.
- [5]. Acosta L., "Reservoir study V9 of El furrial field," Venezuela, Paper SPE 95047 Presented at the SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 20-23, 2005.
- [6]. Shenawi S. H., "Permeability and water saturation distribution by lithologic facies and hydraulic units: A reservoir simulation study," Paper SPE 105273 Presented at the 15<sup>th</sup> SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference, Kingdom of Bahrain, pp. 11-14, 2005.
- [7]. Perez H. H., Datta-Gupta A. and Mishra S., "The role of electrofacies, lithofacies and hydraulic flow units in permeability prediction from well logs," SPE Reservoir Evaluation & Engineering., Vol. 8, pp. 143-155, 2005.
- [8]. Lee S. H., Kharghoria A. and Datta-Gupta A., "Electrofacies characterization and permeability predictions in complex reservoirs," SPE Reservoir Evaluation & Engineering., pp. 237-248, 2002.
- [9]. Mathisen T., Lee S. H. and Datta-Gupta A., "Improved permeability estimates in carbonate reservoirs using electrofacies characterization: A case study of the North Robertson Unit, West Texas," SPE 70034 Presented at the SPE Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, Midland, TX, May 15-16, 2001.
- [10]. Antelo R. and Aguirre O., "Permeability calculations from clustering electrofacies technique for the petrophysical evaluation in La Pena and Tundy oil fields," SPE 69400-MS, 2001.
- [11]. Lin G. F. and Chen L. H., "Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map," Journal of Hydrology, Vol. 324, pp. 1-9, 2006.

- [12]. Kumar B. and Kishore M., "Electrofacies classification a critical approach," 6<sup>th</sup> International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics", New Delhi, India, pp. 822-825, 2006.
- [13]. Rabiller P., "Facies prediction and data modeling for reservoir characterization," 1<sup>st</sup> ed., Rabiller Geo Consulting, 2005.
- [14]. Serra O. and Sulpice L., "Sedimentological analysis of shale-sand series from well logs," Transactions of the SPWLA 16<sup>th</sup> Annual Logging Symposium, 1975.
- [15]. 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.
- [16]. Hector H., Perez, Akhil Datta-Gupta, Mishra S., "The role of electrofacies, lithofacies, and hydraulic flow units in permeability predictions from well logs: A comparative analysis using classification trees", Society of Petroleum Engineers, 2003.
- [۱۷]. آقچه لو م، همتی آهویی ح. ر، نبی بیدهندی م. و رحیمی بهار ع. ا، "تعیین رخساره‌های سنگی با استفاده از خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC) نمودارهای پتروفیزیکی چاه: بررسی یکی از میدان‌های خلیج فارس"، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۷، شماره ۴، صفحه ۱۱-۱۳، ۱۳۹۲.
- [۱۸]. رحیمی بهار ع. ا. و پرهام س، "تجزیه و تحلیل رخساره‌های الکتریکی براساس رخساره‌های رسوبی"، نشریه علمی پژوهشی رخساره‌های رسوبی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۵ (۱)، صفحه ۶۱-۷۴، ۱۳۹۱.
- [19]. Dayhoff J. E., "Neural network architectures-An introduction," New York: Nostrand Reinhold., 1990.
- [20]. Kaski S., Kangas J. and Kohonen T., "Bibliography of self-organizing map (SOM) papers: 1981-1997," Neural Computing Surveys, Vol. 1, pp. 102-350, 1998.
- [21]. Hewiston B. C. and Crane R. G., "Self-organizing maps: Applications to synoptic climatology," Climate Research, Vol. 22, pp. 13-26, 2002.
- [22]. Kohonen T., "Self-organizing maps," Springer, Berlin., 1995.
- [23]. Serra O., "Fundamentals of well log interpretation," 3<sup>rd</sup>, Elsevier Science Publishers, p. 423, 1988.