

تعیین رخساره‌های لاگ سازند ایلام در میدان منصوری با استفاده از روش‌های مختلف خوشه‌بندی و ارزیابی روش‌های مورد استفاده

علی دشتی^{۱*}، عبدالحسین امینی^۲، ابراهیم سفیداری^۳، محمد یزدانی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

۲- استاد زمین شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

۳- دانشجوی دکتری زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

۴- کارشناس زمین شناسی، شرکت ملی نفت مناطق نفت‌خیز جنوب

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۹/۱۲

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۸

چکیده

رخساره لاگ به مجموعه واحدهای رسوبی گفته می‌شود که بر اساس مشخصات قابل ثبت در نمودارهای چاه-نگاری از هم تفکیک شده‌اند. جهت تعیین رخساره‌های لاگ در سازند ایلام میدان منصوری از نمودارهای چاه‌نگاری سرعت صوت، تخلخل نوترون، چگالی و فوتوالکتریک به عنوان ورودی روش‌های شبکه عصبی خودسازمانده، k میانگین و آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی استفاده شده است. از میان این روش‌ها، روش شبکه خودسازمانده بعنوان روش بهینه شناخته شد و نتایج آن برای ارزیابی کیفیت مخزنی سازند مذکور مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این روش و در نظر گرفتن مولفه‌های مخزنی (تخلخل و تراوایی)، چهار رخساره لاگ (به شماره ۱ تا ۴) با ویژگی‌های متفاوت برای سازند مورد مطالعه معرفی شدند. صحت رخساره‌های انتخاب شده و روش بهینه با استفاده از روش ارزیابی سیلوتته مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ارزیابی کیفیت مخزنی رخساره‌های لاگ ذکر شده مشخص شد که رخساره لاگ ۱ دارای کیفیت مخزنی خوب و رخساره لاگ ۲ فاقد کیفیت مخزنی هستند. رخساره لاگ ۴ دارای کیفیت مخزنی بین رخساره‌های ۱ و ۲ و رخساره لاگ ۳ دارای بهترین کیفیت مخزنی است. رخساره لاگ ۳ دارای کمترین گسترش در میدان مورد مطالعه است که با فراوانی شکستگی مشخص است. توزیع رخساره‌ها در افق‌های مخزنی سازند ایلام نشان داد که حداکثر گسترش رخساره لاگ‌های با کیفیت مخزنی مناسب (رخساره لاگ ۱ و ۴) در بخش‌های مخزنی ۲/۱ و ۲/۲ این سازند دیده می‌شود. افق‌های ۱ و ۳ با گسترش بسیار محدود رخساره لاگ ۳ و گسترش قابل توجه رخساره لاگ ۲ مشخص هستند.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی سیلوتته، رخساره لاگ، سازند ایلام، کیفیت مخزنی، میدان منصوری

مقدمه

سازند ایلام متشکل از سنگ‌های کربناته به سن سانتونین-کامپانین، سومین سنگ مخزن مهم در مناطق نفتی جنوب غرب ایران به حساب می‌آید (مطیعی، ۱۳۷۲؛ جیمز و وایند، ۱۹۶۵). سازند ایلام و معادل‌های آن دارای اهمیت بسیار مهمی از لحاظ مخزنی در کل منطقه خاورمیانه هستند (آدابی و اسدی مهماندوستی، ۲۰۰۸؛ مهرابی و همکاران، ۲۰۱۳؛ غبیشاوی و همکاران، ۲۰۰۹). این سازند به همراه سازند سروک (سنومانین-ترونین میانی) میزبان حدود یک سوم از کل ذخائر هیدروکربنی ایران ذکر شده است (مطیعی، ۱۳۷۲).

نمودارهای چاه‌نگاری منبع اصلی اطلاعات زمین‌شناسی زیرسطحی هستند که اطلاعات مهمی از قبیل ترکیب کانی‌شناسی، بافت، ساختارهای رسوبی و خصوصیات پتروفیزیکی شامل تخلخل و تراوایی را فراهم می‌کنند. با داشتن این نمودارها می‌توان واحدهای رسوبی مختلف را با مقایسه خصوصیات نمودارها از هم جدا کرد. واحدهای رسوبی جدا شده با این روش را الکتروفاسیس یا رخساره لاگ می‌نامند (سرا، ۱۹۸۶). برای تعیین این رخساره‌ها از خوشه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود و روش‌های مختلفی برای دسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. خوشه‌بندی به معنای توزیع داده‌ها در گروه‌های متعدد است به گونه‌ای که شباهت داده‌های یک گروه به هم بیشتر از شباهت آنها با داده‌های گروه‌های دیگر است. میزان شباهت محاسبه شده برای داده‌ها وابسته به نحوه توصیف و معرفی داده‌هاست. اگر از داده‌های عددی استفاده شود می‌توان از روش‌های خوشه‌بندی براساس شباهت عددی (میزان به هم نزدیک بودن اعداد) نیز استفاده کرد (اندربرگ، ۱۹۷۳؛ جین و همکاران، ۱۹۹۹). از متداول‌ترین

روش‌های خوشه‌بندی می‌توان روش شبکه عصبی خودسازمانده، روش چند تفکیکی گرافیکی، آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، خوشه‌بندی فازی و روش k میانگین را نام برد. ارزیابی روش انجام شده اهمیت زیادی در تجزیه و تحلیل داده‌ها دارد که دلیل اصلی این اهمیت در مرحله انتخاب تعداد خوشه‌های مناسب برای داده‌های ورودی است (تان و همکاران، ۲۰۰۶). روش اعتبار سنجی سیلوتی و روش اندیس C از مهمترین روش‌های تعیین اعتبار خوشه‌بندی است (سفیداری و همکاران، ۲۰۱۲) که در اینجا مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف اصلی این مطالعه تعیین رخساره‌های لاگ با استفاده از روش‌های متعدد خوشه‌بندی و تعیین میزان اعتبار این روش‌ها و خوشه‌های معرفی شده به منظور انتخاب روش و تعداد خوشه (رخساره لاگ) بهینه است. بررسی نحوه توزیع و کیفیت مخزنی رخساره‌های لاگ تعیین شده در چاه‌های موردنظر از دیگر اهداف این مطالعه است.

موقعیت زمین‌شناسی

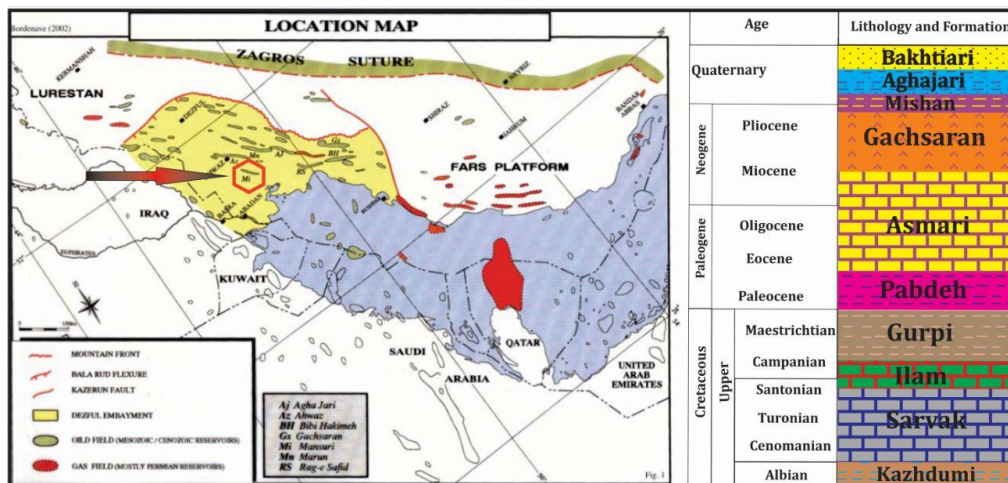
میدان منصوری در ۴۵ کیلومتری جنوب شرق اهواز و در امتداد میدادین آب تیمور و سوسنگرد قرار دارد. این میدان دارای مخازن آسماری، بنگستان و خامی است که به لحاظ اهمیت تولید، مخزن آسماری اهمیت بیشتری نسبت به دو مخزن دیگر دارد (شکل ۱).

سازند ایلام به سن سانتونین-کامپانین به مگاسکانس شماره ۹ و سکانس شماره ۱۷۰ حوضه زاگرس نسبت داده شده است (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱). مرز پائینی و بالایی این مگاسکانس به ترتیب با پایین افتادگی سطح آب دریا در ترونین میانی و آخرین مرحله فرارانش بین صفحات ایران و عربی منطبق است (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ بیدون، ۱۹۹۳). سازند ایلام بخشی از توالی ضخیم

کژدمی، سروک و ایلام در این میدان) را نشان می‌دهد (شکل ۱).

ویژگی‌های پتروفیزیکی، چینه‌شناسی و محیط رسوبی مخزن ایلام در میدان منصوری در حد کلی مورد مطالعه پیشینیان قرار گرفته است (حیدری چهارلنگ، ۱۳۸۱؛ اشجعی و سلیمانی، ۱۳۸۳؛ شیرمحمدی و همکاران، ۱۹۸۰) لیکن در خصوص تعیین رخساره لاگ در آن کمتر سخن رفته است.

کرتاسه در حوضه زاگرس است که توزیع جانبی و ضخامت‌های متفاوتی در گستره حوضه دارد. این ضخامت زیاد در توالی کرتاسه عمدتاً به عمیق بودن حوضه نسبت داده شد است (هولیس، ۲۰۰۱؛ الشرحان و نرین، ۱۹۹۷ و ۱۹۹۳). مشخصات چینه‌شناسی این میدان نیز مشابه توالی‌های دیگر توصیف شده از آن در بخش‌های دیگر زاگرس است (بوردیناف، ۲۰۰۲). آغاز تشکیل این توالی به زمان آلبین نسبت داده می‌شود که شروع نهشت مخزن بنگستان (سازندهای



شکل ۱: موقعیت زمین‌شناسی میدان منصوری (چپ) و ستون چینه‌نگاری آن در بازه کرتاسه-کواترناری (نقل از بوردیناف، ۲۰۰۲)

ارزیابی و تعیین دقت خوشه‌های معرفی شده، استفاده شده است که در زیر به اختصار ذکر شده-اند:

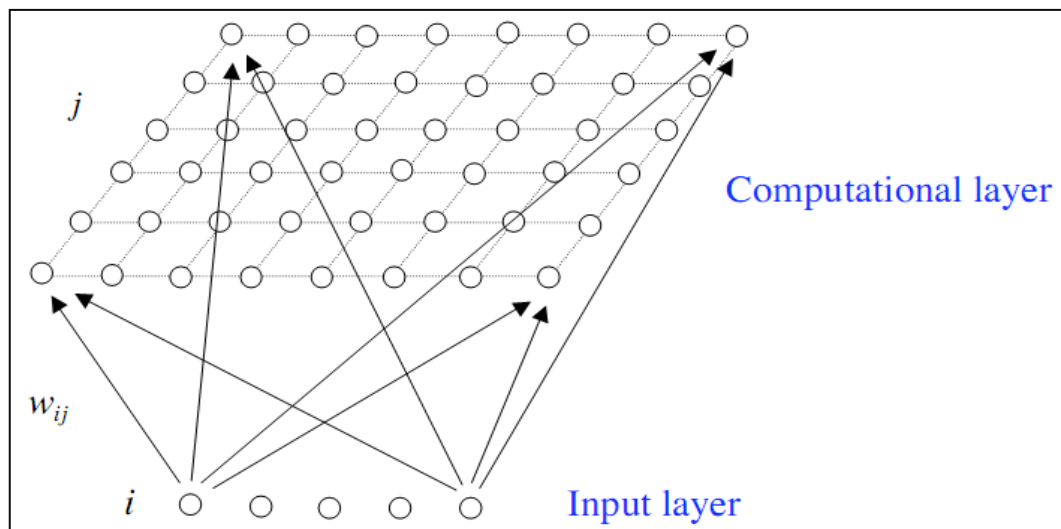
شبکه‌های خودسازمانده: در شبکه خودسازمانده، از روش یادگیری رقابتی برای آموزش استفاده شده است و واحدهای پردازشگر در گروه‌های یک شبکه یک بعدی، دو بعدی یا بیشتر قرار گرفته‌اند. واحدها در یک فرآیند یادگیری رقابتی نسبت به الگوهای ورودی منظم شده و محل واحدهای تنظیم شده در شبکه به‌گونه‌ای نظم یافته که برای ویژگی‌های ورودی یک دستگاه مختصات معنی‌دار

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تمامی چاه‌نگارهای در دسترس از سازند ایلام در پنج چاه اصلی میدان منصوری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین از اطلاعات تخلخل و تراوایی دو چاه اصلی نیز استفاده شده است. بعد از بررسی داده‌های در دسترس، چاه نگارهای تخلخل نوترون، چگالی، زمان گذر صوت و فوتوالکتریک برای انجام خوشه‌بندی انتخاب شدند. روش‌های شبکه‌های خودسازمانده، k میانگین و آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی برای انجام خوشه‌بندی و روش ارزیابی سیلوتی جهت

سازمان یافته در یک شبکه منظم هستند. هر نورون با نورون‌های مجاور به وسیله رابطه همسایگی که توپولوژی یا نقشه‌های ساختمانی کوهن نامیده می‌شود، در ارتباط است (شکل ۲). الگوریتم آموزشی ساختار گره‌های نقشه خود سازمانده برای نمایش کل مجموعه داده‌ها و وزن‌های مربوط به آنها، بهینه‌سازی در طی هر مرحله از تکرار می‌باشد. در هر مرحله یک بردار ورودی x از مجموعه داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده و فاصله بین آن و همه بردارهای وزنی شبکه، با استفاده از بعضی اندازه‌گیری‌های خاص محاسبه می‌شود. بنابراین یک توپولوژی مطلوب به دست خواهد آمد (کوهن، ۲۰۰۱).

روی شبکه ایجاد شود. بر این اساس یک نقشه خود سازمانده، یک نقشه توپوگرافیک از الگوهای ورودی را تشکیل می‌دهد که در آن، محل قرار گرفتن واحدها، متناظر ویژگی‌های ذاتی الگوهای ورودی است (کوهن، ۲۰۰۱). یادگیری رقابتی که در این قبیل شبکه‌ها بکار گرفته می‌شود بگونه‌ای است که در هر قدم یادگیری، واحدها برای فعال شدن با یکدیگر به رقابت می‌پردازند، در پایان یک مرحله رقابت تنها یک واحد برنده می‌شود، که وزن‌های آن نسبت به وزن‌های سایر واحدها به شکل متفاوتی تغییر داده می‌شود. این نوع از یادگیری را یادگیری بی نظارت می‌نامند (موکرجی، ۱۹۹۷). این شبکه‌ها خود شامل نورون‌های



شکل ۲: الگوی شبکه عصبی خودسازمانده متشکل از لایه‌های ورودی و رقابتی (سفیداری و همکاران، ۲۰۱۲)

خوشه‌ها، حداکثر تفاوت را داشته باشند. معادله رابطه ۳ نشان دهنده نحوه کمینه کردن فاصله بین داده‌های یک خوشه با میانگین آن خوشه است:

$$J(C_k) = \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه، C_k تعداد خوشه مورد نظر کاربر، x_i داده ورودی μ_k هم مقدار میانگین خوشه حاوی ورودی x_i است. حال شبکه از این رابطه استفاده کرده و ورودی‌ها را به گونه‌ای تقسیم‌بندی می‌کند که در هر تعداد خوشه‌ای که انتخاب شده باشد، کمینه فاصله را از مرکز خوشه داشته باشند. معادله رابطه ۴ گویای این عمل کلی و جامع الگوریتم در قبال هر تعداد (یا عبارت دیگر k تعداد) خوشه انتخابی است (جین، ۲۰۱۰):

$$J(C) = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad \text{رابطه ۴}$$

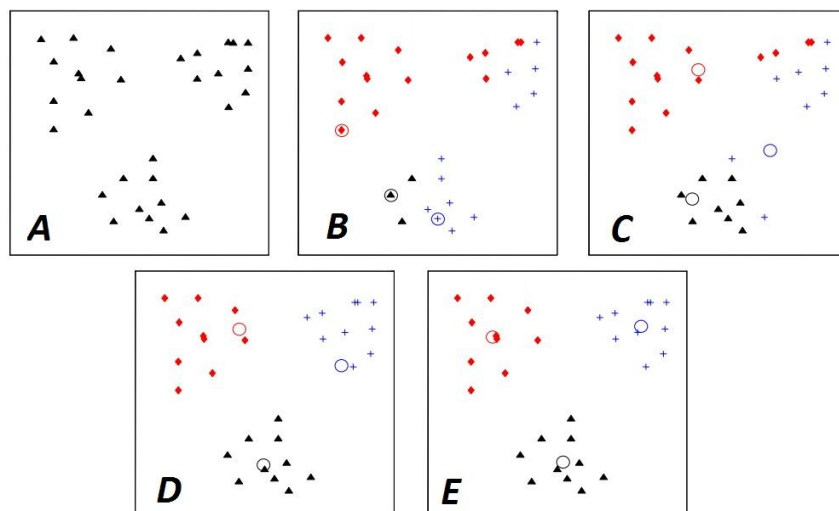
شکل ۳ مراحل انجام کار این الگوریتم را بخوبی نشان می‌دهد.

روش k میانگین: در این روش ابتدا تعداد خوشه مورد نظر توسط کاربر انتخاب شده و سپس الگوریتم مورد استفاده در این روش به خوشه‌بندی داده‌ها در تعداد دسته مورد نظر کاربر می‌پردازد. الگوریتم باید همان اصل اولیه برای خوشه‌بندی را رعایت کند که در آن گفته شد داده‌ها بگونه‌ای در تعداد دسته مورد نظر کاربر قرار گیرند که تفاوت مقداری داده‌های هر دسته با میانگین آن دسته حداقل باشد (سفیداری و همکاران، ۲۰۱۲) (رابطه ۱ و ۲).

$$X = \{x_i, i = 1, \dots, n\} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$C = \{c_k, k = 1, \dots, K\} \quad \text{رابطه ۲}$$

رابطه ۱ نشان‌دهنده داده‌های ورودی و مورد خوشه‌بندی و رابطه ۲ گویای تعداد خوشه‌های مورد نظر کاربر است. همانطور که ذکر شد الگوریتم به صورت خودکار داده‌ها را به گونه‌ای در خوشه‌های مورد نظر توزیع می‌کند که با هم حداکثر شباهت و در عین حال با داده‌های دیگر



شکل ۳: (A) داده‌های ورودی، (B) دسته‌بندی اولیه داده‌ها در سه خوشه و ارتباط میانگین هر سه خوشه با داده‌های آنها، (C و D) کاهش فاصله بین میانگین خوشه‌ها و داده‌ها، (E) دستیابی الگوریتم به بهترین پاسخ ممکن برای حالتی که کاربر سه خوشه را تعیین کرده است (جین، ۲۰۱۰)

نمودار شاخه درختی نشان می‌دهد که دارای دو محور است. محور افقی نمودار نشان‌دهنده تعداد کلاس‌ها یا مشاهدات و در محور عمودی فاصله دوری و نزدیکی کلاس‌ها به همدیگر وجود دارد.

ارزیابی سیلوته: روش ارزیابی سیلوته مقدار این پارامتر را برای هر نمونه، هر کلاس و مجموعه داده‌ها محاسبه می‌کند (روسو، ۱۹۸۷). برای انجام این روش اعتبارسنجی به خوشه‌های تعریف شده و میزان فاصله بین مشاهدات موجود در خوشه‌ها نیاز است و برای هر مشاهده (i) یک مقدار سیلوته ($s(i)$) تعیین و سپس ترسیم می‌شود (شکل ۴). براساس شکل، سه خوشه دارای مشاهدات مختلف تعریف شده است. حال می‌توان میزان فاصله‌ها را محاسبه کرد:

$a(i)$: متوسط فاصله مشاهده i از تمام مشاهدات خوشه A

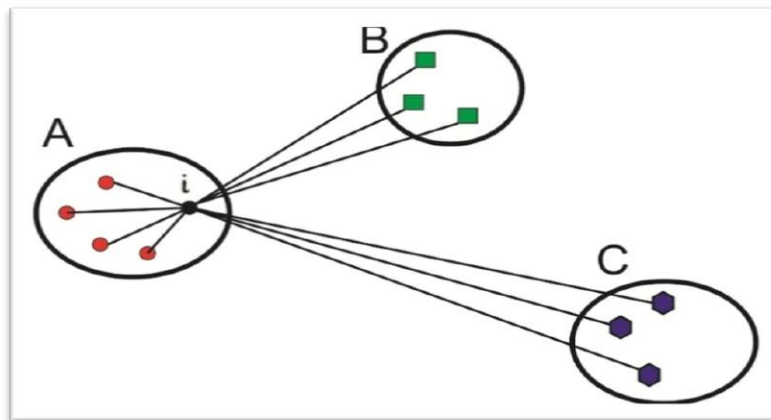
حال باید این محاسبه فاصله از i را برای خوشه C نیز انجام داد:

$d(i,C)$: متوسط فاصله مشاهده i از تمام مشاهدات خوشه C

آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی: روش آنالیز خوشه-ای سلسله مراتبی به لحاظ مفهومی از ساده‌ترین روش‌های موجود برای انجام خوشه‌بندی بوده و اساس کار آن نیز بر پایه فاصله موجود بین داده‌های ورودی است (پیترز و مارتینلی، ۱۹۸۹). برای انجام خوشه‌بندی سلسله مراتبی مراحل زیر انجام شده است:

-یافتن شباهت و عدم شباهت موجود بین هر جفت از داده‌های موجود: در این مرحله فاصله بین جفت داده‌ها با استفاده از مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری فاصله محاسبه می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه فاصله بین داده‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به فاصله‌های اقلیدوسی و منهنن اشاره کرد.

-اتصال کلاس‌ها به همدیگر با مقایسه نتایج مرحله اول: در این مرحله کلاس‌هایی که بیشترین شباهت یا فاصله را با همدیگر دارند به همدیگر وصل می‌شوند، علاوه براین از هر اتصال و تشکیل کلاس جدید فاصله‌ها دوباره جدید می‌شوند (سفیداری و همکاران، ۲۰۱۲). این روش در نهایت خوشه‌های تعیین شده را به شکل یک



شکل ۴: نحوه محاسبه مقدار سیلوته (با تغییر از روسو، ۱۹۸۷)

کمترین فاصله انتخاب می‌شود. بر این اساس خوشه B با در نظر نگرفتن خود خوشه A، کمترین

مقدار $d(i,C)$ نیز برابر با طول متوسط خطوطی است که از محل مشاهده i به C می‌روند. حال این محاسبه برای تمامی خوشه‌ها انجام شده و

توان ابزارهای مناسبی برای تعیین تخلخل دانست با این تفاوت که نمودار نوترون عمدتاً تخلخل کل را نشان می‌دهد ولی نمودار صوتی گویای تخلخل اولیه بوده و کاربرد بسیار مهمی هم در تعیین بخش‌های دارای شکستگی دارد. از نمودار فوتوالکتریک هم بدلیل توان بالای آن در تفکیک لیتولوژی‌های مختلف استفاده شد. در روش خوشه‌بندی شبکه خودسازمانده فاصله همسایگی نرون‌های شبکه خوشه‌های تعیین شده پارامتر موثری در خوشه‌بندی است (شکل ۵). در این روش هرچه فاصله بین دو نرون از هم بیشتر باشد رنگ بین آن دو نرون به سمت رنگ‌های روشن‌تر (زرد) می‌رود که در واقع تفکیک و جدایش بالای بین کلاس را نشان می‌دهد. شکل ۶ نشان دهنده ارتباط بین ورودی‌ها و خوشه‌های تعیین شده است. این شکل گویای نحوه ارتباط ورودی‌ها در خوشه‌های تعیین شده و همچنین دامنه تغییرات داده‌های ورودی است. طبق شکل، انطباق بسیار خوبی بین نمودارهای سرعت صوت و تخلخل نوترون و همچنین بین نمودارهای فوتوالکتریک و نمودارهای چگالی دیده می‌شود. در روش k میانگین ارتباط بین پارامترهای ورودی خوشه-بندی و خوشه‌های تعریف شده نشان داده می‌شود (شکل ۷). در این روش از تعداد پنج خوشه استفاده شده است که ارتباط و مشخصه‌های آنها در شکل ۷ ارائه شده است. بر اساس نتایج این روش رخساره لاگ ۳ دارای حداکثر کیفیت مخزنی، یعنی حداکثر تخلخل نوترون و سرعت صوت و حداقل چگالی است. از لحاظ کیفیت مخزنی می‌توان رخساره لاگ ۵ را پس از رخساره لاگ ۳ قرار داد که پس از آن نیز به ترتیب رخساره لاگ‌های ۲، ۱ و ۴ قرار دارند.

فاصله را از مشاهده i دارد و طبق معادله رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$b(i) = \text{minimum } d(i, C) \quad (\text{رابطه ۵})$$

همانطور که ذکر شد همان خوشه‌ای که مشاهده i از آن انتخاب شده را نباید در نظر گرفت ($C \neq A$). سپس با استفاده از میزان فاصله‌های تعریف شده می‌توان سه حالت را برای مقادیر و نحوه محاسبه مقدار سیلوته در نظر گرفت:

(۱) اگر $b(i)$ بیشتر از $a(i)$ باشد:

$$s(i) = 1 - a(i)/b(i)$$

(۲) اگر $b(i)$ برابر با $a(i)$ باشد:

$$s(i) = \cdot$$

(۳) اگر $b(i)$ کمتر از $a(i)$ باشد:

$$s(i) = a(i)/b(i) - 1$$

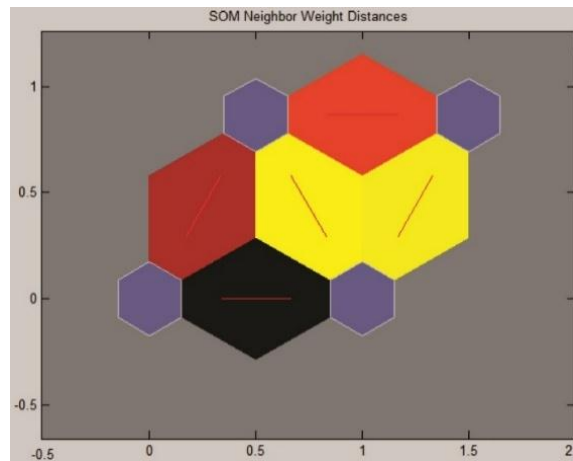
حال با استفاده از این شروط می‌توان معادله ۶ را استنباط کرد (روسو، ۱۹۸۷):

$$s(i) = \frac{(b(i)-a(i))}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

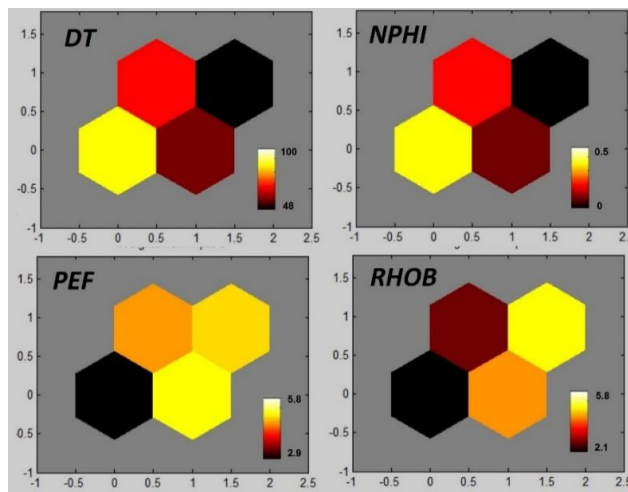
طبق اصول گفته شده مقدار $s(i)$ بین ۱- و ۱+ قرار دارد. اگر $s(i)$ به ۱+ نزدیکتر باشد گویای این است که خوشه‌بندی نمونه خوب صورت گرفته و خوشه پیشنهاد شده برای نمونه مورد نظر مناسب می‌باشد، ولی اگر $s(i)$ به ۱- نزدیکتر باشد به این معنی است که خوشه‌بندی نمونه مناسب صورت نگرفته است و خوشه پیشنهاد شده برای داده مورد نظر نامناسب است (سفیداری، ۱۳۹۱).

نتایج

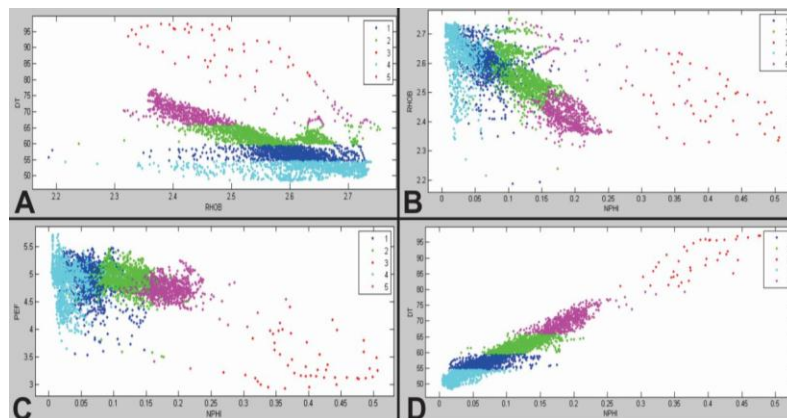
خوشه‌بندی: چاه‌نگارهای چگالی، زمان گذر صوت، تخلخل نوترون و فوتوالکتریک به عنوان لایه ورودی برای خوشه‌بندی در تعیین رخساره‌های لاگ استفاده شدند. نمودار چگالی ابزار قدرتمندی برای تشخیص لیتولوژی و همچنین تعیین بخش-های انیدریتی و متراکم (فاقد کیفیت) مخزن است. هر دو نمودار سرعت صوت و نوترون را می-



شکل ۵: فاصله کلاس‌های مجاور از هم (U-Matrix)



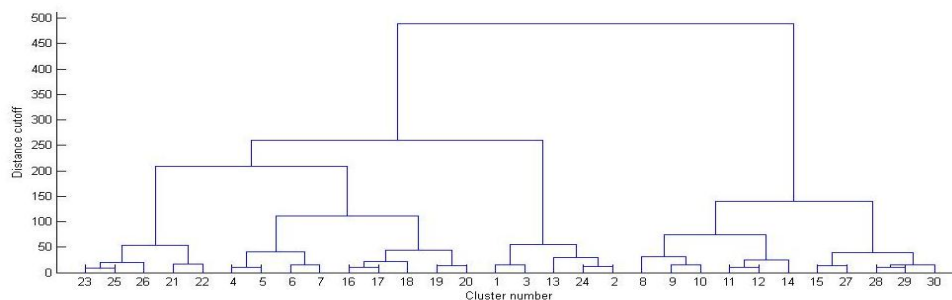
شکل ۶: ارتباط بین داده‌های ورودی در خوشه‌بندی و دامنه تغییرات هر ورودی



شکل ۷: (A) ارتباط بین لاگ‌های سرعت صوت و چگالی، (B) ارتباط بین لاگ‌های تخلخل نوترون و چگالی، (C) ارتباط بین لاگ‌های فتوالکتریک و تخلخل نوترون، (D) ارتباط بین لاگ‌های سرعت صوت و تخلخل نوترون

کاهش تعداد خوشه‌ها) انجام می‌دهد و با تشکیل درخت خوشه‌بندی، انتخاب تعداد مناسب خوشه را به عهده کاربر می‌گذارد (شکل ۸).

در روش آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی، فاصله بین زوج‌های داده‌های ورودی سنجیده شده و الگوریتم آن خوشه‌بندی را به صورت یک روند رو به جلو

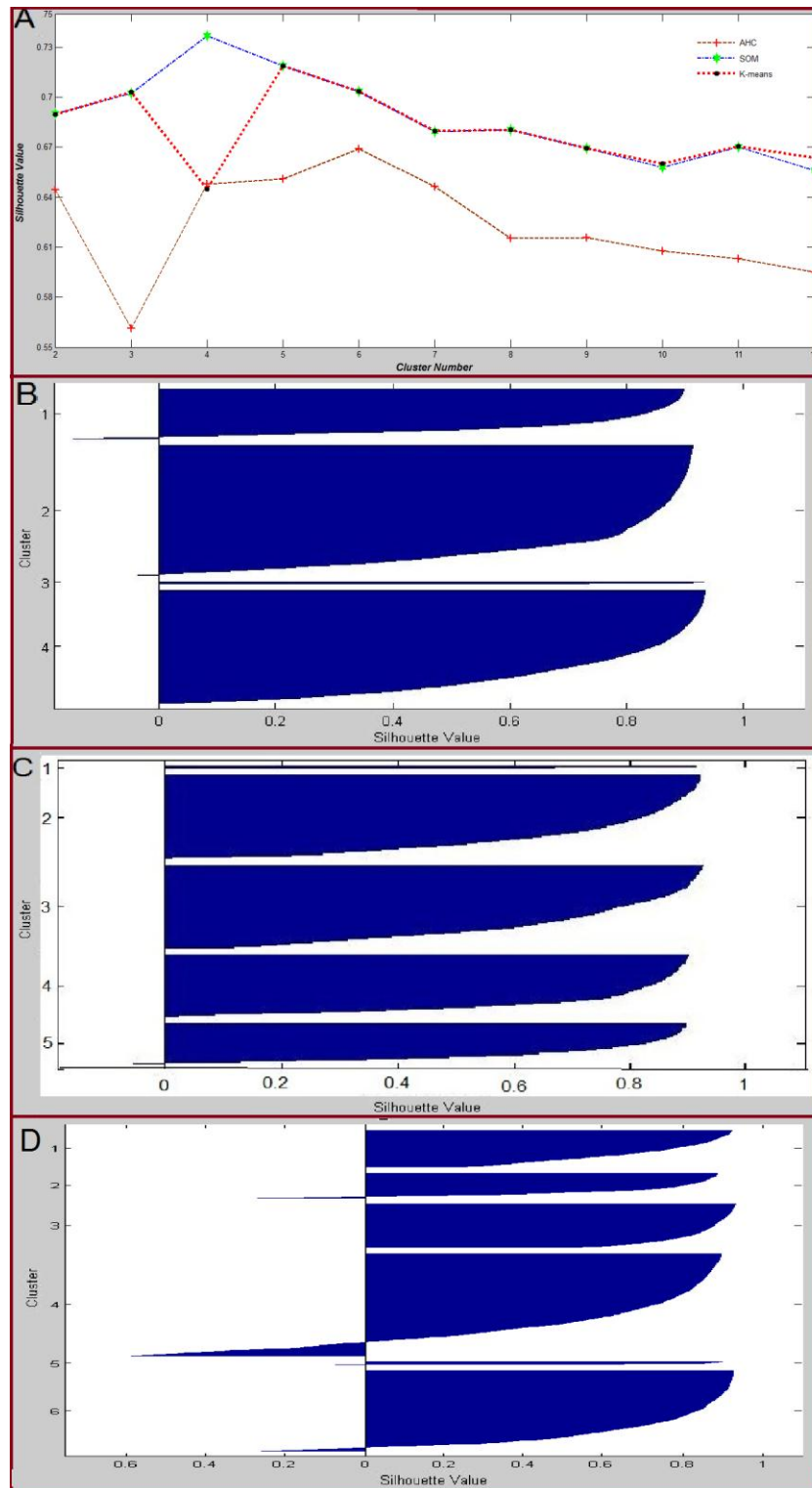


شکل ۸: درخت خوشه‌بندی محاسبه شده در این مطالعه

خوشه برای داده‌های ورودی است ولی در دو روش دیگر تعداد پنج خوشه (برای روش k میانگین) و شش خوشه (برای روش آنالیز خوشه‌ای مرتبه‌ای) بعنوان بهترین حالت مشخص شده‌اند (شکل ۹). با توجه به مقادیر سیلوتی بدست آمده برای هر خوشه مشخص می‌گردد که هرچه میزان سیلوتی هر خوشه به عدد $+1$ نزدیک‌تر باشد، میزان دقت خوشه‌های بهینه تعریف شده در آن روش نیز بهتر می‌شود. از این رو روش‌های شبکه خودسازمانده و k میانگین دارای نتایج بهتری نسبت به روش آنالیز خوشه‌ای مرتبه‌ای هستند (شکل ۹).

ارزیابی نتایج

روش ارزیابی سیلوتی می‌تواند علاوه بر میزان اعتبار خوشه‌بندی، تعداد خوشه‌های بهینه را هم ارائه دهد. نتایج بدست آمده از اعمال این روش در اعتبار سنجی نتایج این مطالعه و تعیین روش بهینه در شکل ۹ ارائه شده است. بر اساس این نتایج روش خوشه‌بندی شبکه خودسازمانده بهترین نتایج و مقادیر سیلوتی را داراست و پس از آن روش k میانگین نتایج مناسبی را ارائه می‌دهد. در روش خوشه‌بندی شبکه خودسازمانده در حالت چهار خوشه‌ای میزان میانگین عدد سیلوتی حداکثر بوده و گویای مناسب بودن تعداد چهار



شکل ۹: (A) مقادیر سیلوتیه هر روش خوشه‌بندی، (B) مقادیر سیلوتیه خوشه‌های بهینه در روش شبکه عصبی خودسازمانده، (C) مقادیر سیلوتیه خوشه‌های بهینه در روش k میانگین، (D) مقادیر سیلوتیه خوشه‌های بهینه در روش آنالیز خوشه‌ای مرتبه‌ای

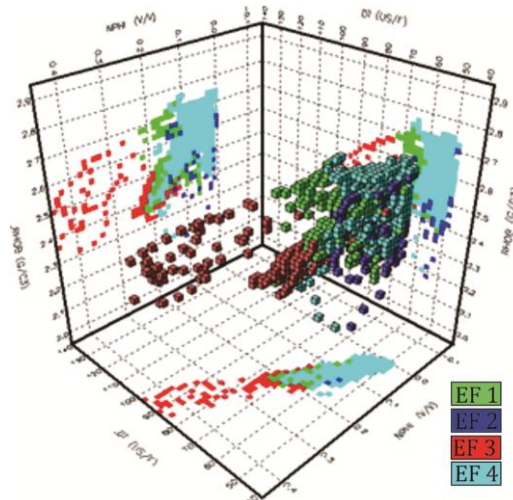
بر اساس نتایج این بررسی روش ارزیابی سیلوته روش بسیار مناسبی برای تعیین میزان دقت و صحت خوشه‌بندی تشخیص داده شد. روش خوشه‌بندی شبکه خودسازمانده دارای دقت بالاتری از سایر روش‌ها بوده است و در همین روش هم تعداد چهار خوشه دارای حداکثر دقت است. پس از تعیین ارجحیت روش خودسازمانده بر سایر روش‌ها، ادامه روند کار براساس نتایج این روش پیگیری شده است. پس از تعیین روش بهینه خوشه‌بندی از نتایج این روش برای بررسی کیفیت مخزنی و نحوه توزیع رخساره لاگ‌های معرفی شده در پنج چاه از چاه‌های میدان منصوری پرداخته شد.

کیفیت مخزنی رخساره های لاگ: پس از انجام خوشه‌بندی و ارزیابی آنها، تغییرات تخلخل و تراوایی هر رخساره لاگ بررسی شد (جدول ۱ و شکل ۱۰). بر اساس این نتایج خوشه (رخساره لاگ) ۳ دارای بهترین کیفیت مخزنی بوده و دارای حداکثر تخلخل و تراوایی است. تراوایی بسیار بالای این رخساره گویای وجود شکستگی‌های فراوان است. از طرفی، رخساره لاگ ۱ نیز دارای مقادیر بالایی از تخلخل و تراوایی بوده و رخساره با کیفیت مخزنی بالا تشخیص داده شد. رخساره لاگ ۲ دارای حداقل کیفیت مخزنی، یا به عبارت

دیگر کمینه تخلخل و تراوایی است. طبق این جدول می‌توان رخساره لاگ ۴ را به لحاظ کیفیت مخزنی حدواسط رخساره لاگ‌های ۱ و ۲ دانست. همانطور که گفته شد تراوایی‌های موجود در رخساره ۳ بسیار بالا هستند و می‌توانند گویای این باشند که رخساره لاگ ۳ نماینده بخش‌های دارای شکستگی است. بدلیل کم بودن داده‌های تخلخل و تراوایی موجود در رخساره ۳ نمی‌توان صرفاً با استفاده از داده‌های مغزه این نتیجه‌گیری را با قطعیت بیان کرد ولی می‌توان با محاسبه و بررسی خصوصیات آماری رخساره‌های لاگ تعریف شده به نتایج قطعی‌تری دست یافت. براساس تفاوت بسیار زیاد بین سرعت صوت رخساره لاگ ۳ و سایر رخساره‌ها و همچنین مقادیر بسیار بالای تراوایی این رخساره، می‌توان به وجود شکستگی‌ها در این رخساره پی‌برد (جدول ۱). در شکل ۱۰ همچنین نحوه توزیع سه پارامتر شاخص کیفیت مخزنی (تخلخل نوترون، چگالی و سرعت صوت) براساس رخساره لاگ‌های معرفی شده است. براساس این شکل نیز می‌توان رخساره لاگ‌ها را از بهترین به بدترین کیفیت مخزنی بدینصورت رده-بندی کرد: رخساره لاگ ۳، رخساره لاگ ۱، رخساره لاگ ۴ و رخساره لاگ ۲.

جدول ۱: خصوصیات آماری رخساره‌های لاگ تعریف شده

| Mean Permeability | Mean Porosity | Mean RHOB | Mean PEF | Mean NPHI | Mean DT | رخساره لاگ |
|-------------------|---------------|-----------|----------|-----------|---------|------------|
| ۲۰۶/۲۲ | ۱۹/۶ | ۲/۴۵ | ۴/۷۳ | ۰/۱۸ | ۶۶/۲۲ | یک |
| ۲/۴ | ۲/۹۵ | ۲/۶۲ | ۴/۸۱ | ۰/۰۴ | ۵۴/۰۶ | دو |
| ۱۳۷۸/۸ | ۲۳/۱۳ | ۲/۴۷ | ۳/۴۲ | ۰/۴۰ | ۹۰/۳۹ | سه |
| ۱۲/۰۵ | ۱۶/۱۴ | ۲/۵۷ | ۴/۹ | ۰/۱۱ | ۶۵/۲۱ | چهار |

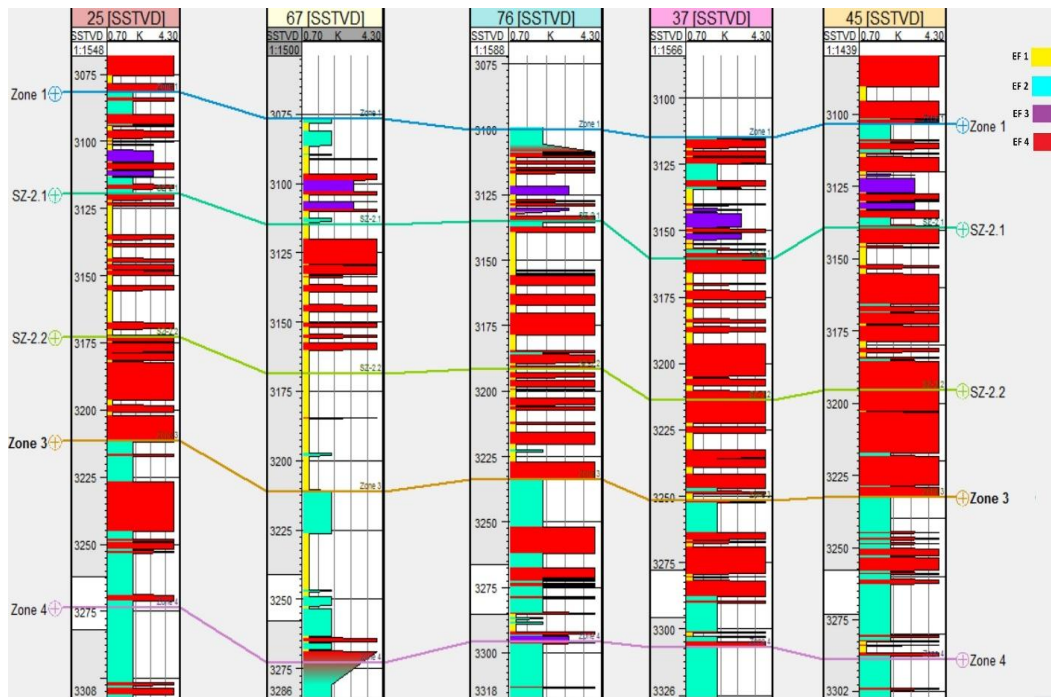


شکل ۱۰: توزیع خواص پتروفیزیکی در رخساره لاگ‌های معرفی شده (رخساره لاگ ۱ رنگ سبز، رخساره لاگ ۲ رنگ آبی پررنگ، رخساره لاگ ۳ رنگ قرمز و رخساره لاگ ۴ رنگ آبی کم‌رنگ)

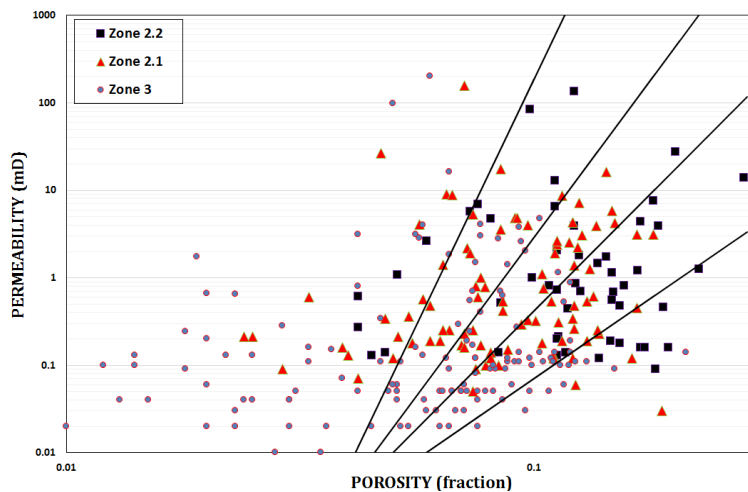
با استفاده از این نحوه توزیع رخساره لاگ‌های معرفی شده می‌توان به خوبی شرایط کیفیت مخزنی افق‌های معرفی شده برای سازند ایلام در میدان منصوری را مورد بررسی قرار داد. بدین صورت که وجود رخساره لاگ‌های با کیفیت مخزنی خوب در افق‌های ۲/۱ و ۲/۲ موجب افزایش کیفیت مخزنی این بخش و حضور چشمگیر رخساره لاگ ۲ در افق ۳ موجب کاهش کیفیت مخزنی آنها شده است. در افق ۱ نیز وجود رخساره لاگ نماینده شکستگی‌ها می‌تواند گویای افزایش کیفیت مخزنی در مقاطع محدودی از این افق باشد.

همچنین نحوه توزیع تخلخل و تراوایی در سه افق از سازند ایلام در یکی از چاه‌های این میدان مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱۲). بر اساس این نتایج بهترین کیفیت مخزنی (تخلخل و تراوایی) را می‌توان به ترتیب در افق‌های ۲/۱، ۲/۲ و در نهایت افق فاقد کیفیت مخزنی ۳ مشاهده کرد.

پس از تعیین کیفیت مخزنی هر خوشه (رخساره لاگ) نحوه توزیع این خوشه‌ها در چاه‌های مختلف میدان مورد مطالعه قرار گرفت. نحوه توزیع جانبی و قائم این رخساره‌های لاگ در بخش‌های مخزنی سازند ایلام در پنج چاه اصلی میدان منصوری در شکل ۱۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی، رخساره لاگ ۱ با کیفیت مخزنی بالا و رخساره لاگ ۳ با کیفیت متوسط عمدتاً در افق‌های ۲/۱ و ۲/۲ سازند ایلام قرار گرفته‌اند. همچنین گسترش عمده رخساره لاگ ۲ (بدترین کیفیت مخزنی) در افق ۳ سازند ایلام بوده و گویای کیفیت پائین این بخش از لحاظ ذخیره و تولید هیدروکربن است. گسترش رخساره لاگ ۳ بسیار محدود بوده و عمدتاً منحصر به افق ۱ مخزن می‌شود، هرچند که این رخساره بهترین کیفیت مخزنی را دارد ولی دارای گسترش محدود بوده و نمی‌تواند به تنهایی موجب افزایش چشمگیر کیفیت مخزنی در افق ۱ شود.



شکل ۱۱: توزیع جانبی و قائم رخساره‌های لاگ در پنج چاه اصلی میدان



شکل ۱۲: توزیع تخلخل و تراوایی در سه افق سازند ایلام

نتیجه‌گیری

با استفاده از روش سیلوته نیز موفقیت آمیز بود. با بررسی کیفیت مخزنی هر رخساره لاگ و نحوه توزیع آن مشخص گردید که رخساره لاگ ۱ دارای کیفیت مخزنی مناسب بوده و گسترش زیادی در افق‌های مخزنی ۲/۱ و ۲/۲ سازند ایلام دارد. رخساره لاگ ۲ دارای حداقل کیفیت مخزنی بوده و عمدتاً در بخش‌های غیرمخزنی (افق‌های ۱

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد استفاده از تعیین رخساره‌های لاگ کاربرد مطلوبی در بررسی کیفیت مخزنی واحدهای مخزنی دارد. از مجموع سه روش خوشه‌بندی در تعیین رخساره‌های لاگ روش شبکه‌های عصبی خودسازمانده دقیقتر از سایر روش‌ها شناخته شد. ارزیابی این خوشه‌بندی

و ۳) حضور دارد. رخساره لاگ ۴ به لحاظ کیفیت مخزنی حدواسط رخساره لاگ‌های ۱ و ۲ است که دارای توزیع یکنواختی در مخزن است. مهمترین ویژگی رخساره لاگ ۳ فراوانی شکستگی در آن تعیین شد که این شکستگی‌ها موجب ایجاد بهترین کیفیت مخزنی شده‌اند اگرچه این رخساره دارای گسترش بسیار محدود (فقط در افق ۱) است.

تقدیر و تشکر

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند که از اداره زمین-شناسی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب جهت اجازه دسترسی به اطلاعات و اجازه انتشار نتایج این مطالعه کمال سپاسگذاری را داشته باشند. از معاونت علمی پردیس علوم و معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به دلیل مساعدت‌هایشان در انجام مطالعه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

-اشجعی، ع. و سلیمانی، خ.، ۱۳۸۳. نقش محیط رسوبی و سیالات کانی‌ساز در کیفیت مخزنی افق-های ماسه سنگی تولیدی سازند آسماری میدان منصوری، دوازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ص ۵۴۰-۵۴۷.

-حیدری چهارلنگ، خ.، ۱۳۸۱. مطالعه جامع زمین شناسی مخزن آسماری میدان منصوری،

رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز.

-سفیداری، ا.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی هوشمند ژئوشیمیایی و پتروفیزیکی میدان گازی پارس جنوبی در قالب چینه نگاری سکانشی، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

-مطیعی، ه.، ۱۳۷۲. چینه شناسی زاگرس، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۵۸۹ ص.

-Adabi, M.H. and Asadi-Mehmandosti, E., 2008. Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-E Rashid area, Izeh, SW Iran: Journal of Asian Earth Science, v. 33, p. 267-277.

-Al-sharhan, A.S. and Nairn, A.E.M., 1993. Carbonate platform models of Arabian Cretaceous reservoirs. In: Simo J.A.T., Scott R.W., Masse J.P. (eds) Cretaceous carbonate platforms: American Association of Petroleum Geologist Memembers, v. 56, p.173-148.

-Alsharhan, A.S. and Nairn, A.E.M., 1997. Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East: 843 p.

-Anderberg, M.R., 1973. Cluster analysis for applications, No. o-TR-73-9. Office of the assistant for study support Kirtland AFB N MEX.

-Beydoun, Z.R., 1993. Evolution of the Northern Arabian Plate Margin and Shelf: Hydrocarbon Habitat and Conceptual Future Potential: Revue de l'institut Francais du Petrole, v. 48, p. 311-345.

-Bordenave, M.L., 2002. The Middle Cretaceous to Early Miocene Petroleum System in the Zagros Domain of Iran, and its prospect evaluation: American Association of Petroleum Geologists Annual Meeting, March 10-13, Houston, Texas.

-Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H. and Taheri A., 2009. Facies distribution and sequence stratigraphy of the Coniacian-Santonian succession of the Bangestan Palaeo-high in the Bangestan Anticline, SW Iran: Facies, v. 55, p. 243-257.

- Hollis, C., 2011. Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian–Turonian of the Arabian Plate: *Petroleum Geosciences*, v. 17(3), p. 223–241.
- Jain, A.K., 2010. Data clustering: 50 years beyond K-means: *Pattern Recognition Letters*, v. 31(8), p. 651–666.
- Jain, A.K., Murty, M.N. and Flynn, P.J., 1999. Data clustering: a review: *ACM computing surveys (CSUR)*, v. 31.3, p. 264–323.
- James, G.A. and Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium, agreement area: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 49, p. 2118-2245.
- Kohonen, T., 2001. *Self-Organizing Maps: Springer series in Information Sciences*, New York, Springer Verlag, v. 30, 501 p.
- Mehrabi, A., Rahimpour-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A.H. and Navidtalab, A., 2013. Depositional environment and sequence stratigraphy of the Upper Cretaceous Ilam Formation in central and southern parts of the Dezful Embayment, SW Iran, v. 29(3), p. 263-278.
- Mukherjee, A., 1997. Self-organizing neural network for identification of natural modes: *The Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 11 (1) p. 74–77.
- Peeters, J.P. and Martinelli, J. A. 1989. Hierarchical cluster analysis as a tool to manage variation in germplasm collections: *Theoretical and Applied Genetics*, v. 78(1), p. 42-48.
- Rousseeuw, P.J., 1987. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis: *Journal of Computational and Applied Mathematics*, v. 20, p. 53-65.
- Serra, O., 1986. *Fundamentals of well log interpretation, Vol. 2: The interpretation of logging data*, *Developments in Petroleum Science*, 15B. Amsterdam, v. 15, p. 11-60.
- Sfidari, E., Kadkhodaie-Ilkhchi, A. and Najjari, S., 2012. Comparison of intelligent and statistical clustering approaches to predicting total organic carbon using intelligent systems: *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 86-87, p. 190-205.
- Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D. and Simmons, M.D., 2001. *Arabian Plate Sequence Stratigraphy: GeoArabia Special Publication*, v. 2, 371 p.
- Shirmohammadi, N.H., 1980. Geological study of Asmari reservoir in Mansuri field, , National Iranian Oil Company, Ahwaz, rep. no. p. 3703.
- Tan, P.N., Steinbach, M. and Kumar, V., 2006. *Introduction to Data Mining*, Pearson Addison Wesley, 769 p.