

ارزیابی زمین‌شناسی و ویژگی مخزنی سازند سروک با استفاده از روش عصبی - فازی تطبیقی در یکی از میادین هیدروکربوری جنوب غربی ایران

حسنیه نظری*^۱ و فرنوش حاجی‌زاده^۲

۱- دانشجوی دکترا مهندسی معدن (اکتشاف)، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

نویسنده مسئول: nazarihosnie@yahoo.com *

نوع مقاله: کاربردی

پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۶

دریافت: ۱۴۰۱/۴/۵

چکیده

میدان آزادگان از میدان‌های نفتی ایران است، که در محدوده‌ای به وسعت ۲۰ در ۷۵ کیلومتر در جنوب غربی ایران در ناحیه دزفول شمالی واقع شده است. با توجه به بررسی زمین‌شناسی منطقه، در تاق‌دیس حفاری شده در میدان آزادگان پس از سازند آغاچاری، سازندهای گچساران، آسماری، پایده، جهرم، گورپی، تابور، ایلام، لافان، سروک، کژدمی، داریان، گدوان، فهلیان و گرو با توالی معمول زمین‌شناسی قرار گرفته‌اند. در حال حاضر در میدان نفتی آزادگان، تولید از چهار سازند نفتی شامل کژدمی، گدوان، فهلیان و سروک انجام می‌شود که البته مخزن اصلی این میدان سازند سروک بوده و از سنگ‌های کربناته تشکیل گردیده است. از طرفی نفوذپذیری مهم‌ترین عامل برای توصیف دقیق و مدل‌سازی سنگ مخزن هیدروکربوری می‌باشد. معمولاً روش‌های استاندارد برای تعیین نفوذپذیری، آنالیز مغزه و آزمایش چاه می‌باشد. این روش‌ها بسیار گران هستند، هم‌چنین چاه‌های یک میدان دارای مغزه نمی‌باشند. در نتیجه به دلیل اینکه در تمام چاه‌های یک میدان معمولاً نگارهای چاه موجود هستند، ارائه روش یا روش‌هایی که بتوانند با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی خواص پتروفیزیکی مخزن از جمله نفوذپذیری را ارائه دهند، اهمیت زیادی خواهند داشت. روش‌های هوشمند از روش‌های جدید، کم‌هزینه و دقیقی هستند که می‌توانند با استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی، نفوذپذیری مخزن را در کمترین زمان ممکن به صورت غیرمستقیم تخمین بزنند. لذا با استفاده از چاه‌نگارهای مختلف و روش سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS)، نفوذپذیری در سازند سروک یکی از مخازن هیدروکربوری جنوب غربی ایران به صورت غیرمستقیم تخمین زده شده است. جهت بکارگیری این روش هوشمند پایگاه داده به دو بخش داده‌های آموزش (۱۷۵۴ داده) و داده‌های آزمون جهت ارزیابی مدل‌ها (۷۵۲ داده) تقسیم شدند. نتایج نشان‌دهنده عملکرد بسیار مناسب روش هوشمند، در تخمین نفوذپذیری است. بنابراین می‌توان از مدل هوشمند، به عنوان یک روش قدرتمند، سریع و دقیق برای تخمین غیرمستقیم نفوذپذیری در مخازنی که نفوذپذیری از طریق مغزه اندازه‌گیری نشده استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: زمین‌شناسی، نفوذپذیری، سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی، مخزن هیدروکربوری

۱- پیشگفتار

برنامه‌های اکتشاف، توسعه و تولید از میادین هیدروکربوری غالباً با پیچیدگی‌های زیاد و هزینه هنگفت همراه است. تعیین وضعیت زمین‌شناسی و خصوصیات مخزنی میادین و تلفیق اطلاعات آن‌ها با یکدیگر از اهمیت بالایی در کاهش ریسک فعالیت‌های مربوطه و هزینه‌ها برخوردار است (انگلند، ۲۰۰۷). سازند سروک، مخزن اصلی میدان نفتی آزادگان یکی از واحدهای کربناته گروه بنگستان به سن آلبین - تورونین به صورت آهک ماری و شیلی و سنگ‌آهک گسترش دارد. این سازند یکی از مخازن هیدروکربونی در حوضه زاگرس محسوب می‌شود

که دومین سنگ مخزن بعد از سازند آهکی آسماری به شمار می‌رود. این سازند به صورت هم‌شیب بر روی سازند کژدمی قرار گرفته است و قسمت بالای آن (سازند سروک) با سازند ایلام به صورت یک سطح ناپیوسته تماس دارد (ناصریان اصل و امیری، ۱۳۹۳؛ قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعه خواص سنگ‌ها و ارتباط آن‌ها با سیالاتی که درون آن‌ها هستند، هدف اصلی مطالعات پتروفیزیکی است. ارزیابی پتروفیزیکی که همان علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از نمودارهای چاه‌پیمایی است، یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین ویژگی‌های سنگ مخزن هیدروکربوری است (اوهن، ۲۰۰۲).

نفوذپذیری، تخلخل، تراکم‌پذیری سنگ و سیال و همچنین درجه اشباع از مهم‌ترین خواص پتروفیزیکی سنگ‌ها به شمار می‌آیند (اودن و لوکوکو، ۲۰۰۰). تعیین پارامترهای پتروفیزیکی و بررسی توزیع آن‌ها در فواصل مخزنی، می‌تواند منجر به زون‌بندی جدید و تغییر ضخامت تولیدی میادین شود. نفوذپذیری یا توانایی سنگ در عبور دادن سیال یکی از پارامترهای مهم و اساسی مخازن هیدروکربوری است که تولیدی بودن یا نبودن مخازن به آن بستگی دارد. همچنین در مطالعات مخازن و ساخت مدل دینامیک، یکی از اساسی‌ترین پارامترهای ورودی می‌باشد. در واقع شبیه‌سازی جریان سیال در مخازن بدون داشتن این پارامتر غیر ممکن خواهد بود.

روش سنتی مغزه‌گیری از چاه و انجام آزمایش‌های آن برای تعیین پارامترهای پتروفیزیکی از جمله نفوذپذیری، بسیار پرهزینه و زمان‌بر است. گاهی مغزه‌گیری از چاه عملیات حفاری چاه را با خطر مواجه می‌سازد و از دقت خوبی برخوردار نیستند. بنابراین، در سال‌های اخیر، برآورد پارامترهای پتروفیزیکی مخزن از داده‌های نمودارهای چاه‌پیمایی، با استفاده از روش‌های هوشمند انجام شده است (کدخدایی ایلخچی و همکاران، ۲۰۰۶).

اگرچه پیش‌بینی پارامترهای پتروفیزیکی از روی داده‌های نمودارهای چاه‌پیمایی، با استفاده از روش‌های تجربی و آماری نیز صورت می‌گیرد. ولی روش‌های هوشمند نسبت به این روش‌ها مزایایی برخوردار می‌باشند. از جمله مزیت آن نسبت به روش آماری، آزاد بودن این روش از تحمیل شکل خاصی از توابع است. در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی، روش‌های هوشمند مقادیر پیش‌بینی شده را ملزم به قرارگیری در اطراف مقدار میانگین نکرده و به همین دلیل تغییرپذیری واقعی داده‌ها را حفظ می‌کند. هم‌چنین مزیت آن نسبت به روش تجربی، قابل بسط در هر نوع لیتولوژی هستند. هر یک از مدل‌های تجربی در مقایسه با دیگری جواب‌های کاملاً متفاوت می‌دهند که انتخاب بین آن‌ها را مشکل می‌سازد (فیتزگراال و همکاران، ۱۹۹۹؛ فلاویو و گریگر، ۱۹۹۹).

پژوهش‌های متعددی در زمینه کاربرد روش‌های هوشمند در بدست آوردن ویژگی‌های سنگ مخزن از طریق نمودارهای چاه‌نگاری انجام شده است که از آن میان می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود: جعفری و همکاران

(۲۰۱۲) مدلی را برای پیش‌بینی چگالی شکستگی، با استفاده از روش هوشمند عصبی فازی (ANFIS)^۱ پیشنهاد کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که تطابق خوبی (ضریب همبستگی ۰/۹۸) بین چگالی شکستگی اندازه‌گیری شده و تخمین زده با استفاده از روش عصبی-فازی وجود دارد. کدخدایی ایلخچی و همکاران (۲۰۰۶) روش منطق فازی (FL²) را در پیش‌بینی نفوذپذیری و نوع سنگ از داده‌های نموداری معمول چاه در مخزن کنگان میدان گازی فلات قاره ایران به کار بردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که روش منطق فازی یک ابزار مناسب برای پیش‌بینی نفوذپذیری و شناسایی مناطق نفوذپذیر و غیر قابل نفوذپذیر در سازند کنگان است. نوری طالقانی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش منطق فازی از داده‌های نموداری چاه در مخزن کربناته جنوب غرب ایران پارامترهای پتروفیزیکی از جمله تخلخل، چگالی و صوت را پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داده بین مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از روش هوشمند و اندازه‌گیری شده همبستگی نزدیکی وجود دارد. سائمی و همکاران (۲۰۰۷) طراحی شبکه‌های عصبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک را برای پیش‌بینی نفوذپذیری مخزن به کار بردند. تکنیک جدید، کارآمد و دقیق برای پیش‌بینی نفوذپذیری مخزن می‌باشد. بازیار و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از سه روش هوش محاسباتی شامل: سیستم استنتاج نروفازی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی پرسپترون چند لایه مقدار نفوذپذیری در یک مخزن متراکم گازی در حوضه واشاکو آمریکا را تخمین زدند. زویداویانپور و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از سیستم استنتاج نروفازی تطبیقی و رگرسیون خطی چندگانه سرعت موج فشاری را از نگارهای چاه‌پیمایی در یک مخزن هیدروکربوری پیش‌بینی کردند. آسوده و باقربور (۲۰۱۲) از روش‌های هوشمند با ایجاد رابطه‌ی کمی بین نگارهای چاه‌پیمایی و سرعت امواج صوتی برای پیش‌بینی سرعت امواج فشاری، برشی و استونلی بر روی سازند آسماری استفاده کردند. احمدی و ژانگینگ (۲۰۱۹) با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و نگارهای پتروفیزیکی، نفوذپذیری و تخلخل مخازن نفتی را پیش‌بینی و با مقادیر واقعی مقایسه کردند. عبدالجبار و همکاران (۲۰۲۰) تخلخل مخزن را با استفاده از

۱. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

۲. fuzzy logic

پشتیبان بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی تخلخل و نفوذپذیری میدان نفتی شمال خلیج فارس ارائه دادند. باقرپور و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از بردار پشتیبان رگرسیونی سرعت موج برشی سنگ مخزن نفتی واقع در سازند آسماری را پیش‌بینی نمودند. اسکندری و همکاران (۲۰۰۴) برای پیش‌بینی سرعت موج برشی در یک مخزن کربناته واقع در جنوب غربی ایران از روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره استفاده کردند. رجبی و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از روش‌های هوشمند منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و نروفازی سرعت امواج فشارشی، برشی و استونلی از نگارهای چاه‌پیمایی مربوط به مخزن کربناتی در آبادان جنوب غربی ایران (سازند سروک) را پیش‌بینی کردند. نظری و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی مدل هوشمند در برآورد هدایت‌الکتریکی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت راین) پرداختند. نظری و همکاران (۱۴۰۱) به پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب‌زیرزمینی با استفاده از روش سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) (مطالعه موردی: دشت اردبیل) پرداختند.

از آنجا که پژوهش‌های محدودی با استفاده از روش‌های هوشمند جهت بررسی نفوذپذیری در میدان نفتی آزادگان (سازند سروک) انجام شده، در این مطالعه، به بررسی زمین‌شناسی منطقه و پیش‌بینی نفوذپذیری با استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی و بهره‌گیری از روش سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) پرداخته می‌شود.

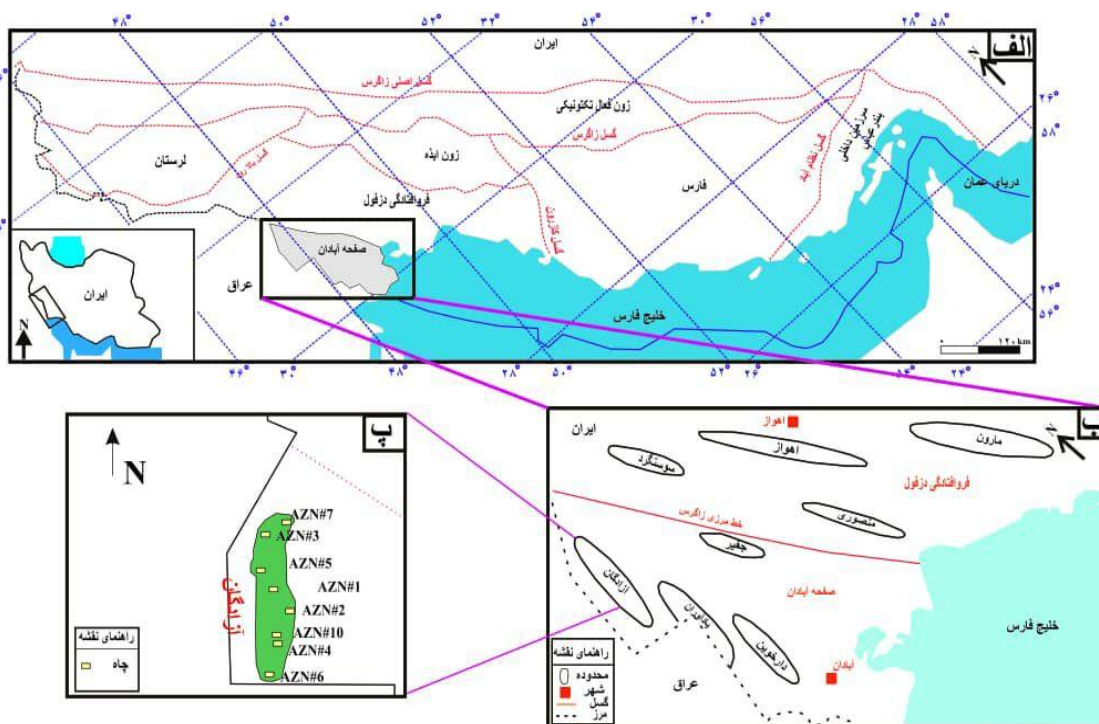
۲- میدان مورد مطالعه

میدان آزادگان از میدان‌های نفتی ایران است، که در محدوده‌ای به وسعت ۲۰ در ۷۵ کیلومتر در جنوب غربی ایران در ناحیه دزفول شمالی، به فاصله ۵۰ کیلومتری جنوب غربی میدان جفیر، ۶۰ کیلومتری شمال دارخوین و ۷۰ کیلومتری غرب سوسنگرد، در مجاورت و به موازات خط مرزی ایران و عراق، در منطقه هورالعظیم و دشت آبادان قرار گرفته است (شکل ۱) (قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). تاکنون چهار لایه تولیدی شامل سروک، کژدمی، گدوان و فهلیان در میدان آزادگان شناسایی شده‌اند. که در لایه اصلی خود یعنی سروک، با میدان مجنون عراق مشترک است (ناصریان اصل و امیری، ۱۳۹۳؛ عاقبتی، ۱۳۸۷). سازند سروک دارای

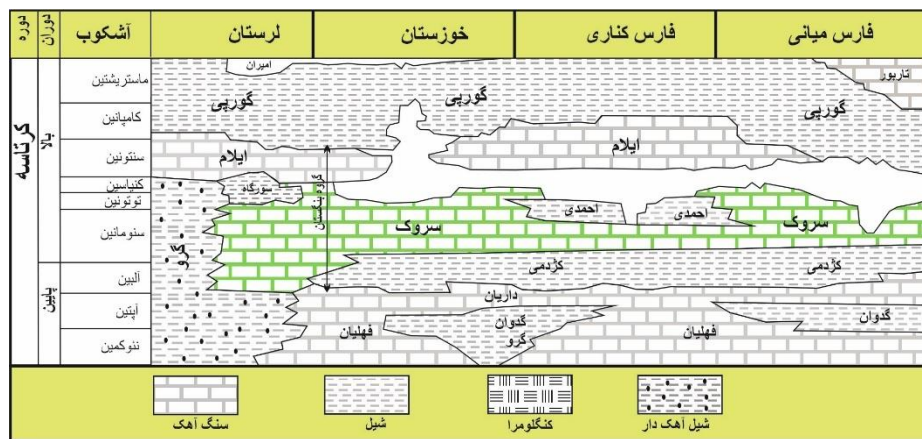
پارامترهای حفاری و شبکه عصبی مصنوعی تخمین زدند. اوکن و همکاران (۲۰۲۰) از مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی برای پیش‌بینی پارامترهای پتروفیزیکی مخزن (نفوذپذیری، تخلخل، درصد اشباع آب) استفاده کردند. آق‌لی و همکاران (۲۰۱۹) روش جدیدی را برای تخمین پارامترهای شکستگی با استفاده از لاگ‌های معمول پتروفیزیکی و ANFIS در مخازن ناهمگن کربناته بررسی کردند. به دلیل همبستگی بالای مقادیر تخمین‌زده شده و مقادیر مغزه‌گیری ($R^2=0.8$)، نتایج قابل اعتماد و توسعه برای دیگر مخازن کربناته می‌باشند. طاریق و همکاران (۲۰۱۹) یک روش هوش مصنوعی برای پیش‌بینی اشباع آب در سنگ‌های مخزن کربناته به کار بردند. نتایج به وضوح نشان داد که روش یادگیری ماشین، اشباع آب را با دقت بالا پیش‌بینی می‌کند. انمنگلی و همکاران (۲۰۱۹) سرعت موج برشی را با استفاده از روش یادگیری ماشین و لاگ‌های پتروفیزیکی پیش‌بینی کردند. معترض‌دیان و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک سرعت موج برشی و فشاری را در یک مخزن کربناته واقع در میدان ابودر و هنديجان پیش‌بینی و با مقادیر واقعی مقایسه کردند. غلامی و مرادزاده (۲۰۱۲) از رگرسیون بردار پشتیبان برای پیش‌بینی نفوذپذیری استفاده کردند. انیفویس و ابدوالرحیم (۲۰۱۱) با استفاده از روش‌های هوشمند منطق فازی و ماشین‌برداری پشتیبان مقدار تخلخل و نفوذپذیری را پیش‌بینی نمودند. نظری و همکاران (۲۰۱۱) از رگرسیون برداری پشتیبان برای به دست آوردن نفوذپذیری از روی داده نگارهای چاه و اندازه‌گیری مغزه استفاده نمودند. یو و ولنگ (۲۰۰۷) از ماشین‌برداری پشتیبان برای پیش‌بینی ضخامت ماسه‌سنگ از روی شکل موج در یک میدان نفتی استفاده کردند. انیفویس و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل تعمیمی ماشین‌برداری پشتیبان نظرات کارشناسان مختلف را با هم ترکیب و بهینه‌ترین پارامترها را جهت پیش‌بینی تخلخل و نفوذپذیری ذخایر نفتی پیشنهاد کردند. انصاری و غلامی (۲۰۱۵) مدل رگرسیون بردار پشتیبان توسعه یافته‌ای را برای پیش‌بینی اشباع‌شدگی نفت خام در شمال آمریکا ارائه نمودند. احمدی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی و یک مدل ترکیبی مبتنی بر دو روش هوشمند منطق فازی و ماشین‌برداری

کژدمی قرار گرفته است و قسمت بالای آن (سازند سروک) با سازند ایلام به صورت یک سطح ناپیوسته تماس دارد (شکل‌های ۲ و ۳). سازند سروک و ایلام در بخشی از فروافتادگی دزفول و دشت آبادان توسط یک واحد رسی و کربناته از هم جدا شده‌اند. مخزن سروک افقی اصلی در تولید نفت در نواحی نفت‌خیز ایران محسوب می‌شود که نرخ تولید در چاه‌های مختلف این مخزن متغیر است که دلیل این تفاوت در خصوصیات پتروفیزیکی موجود در این سازند می‌باشد (قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ ناصریان اصل و امیری، ۱۳۹۳).

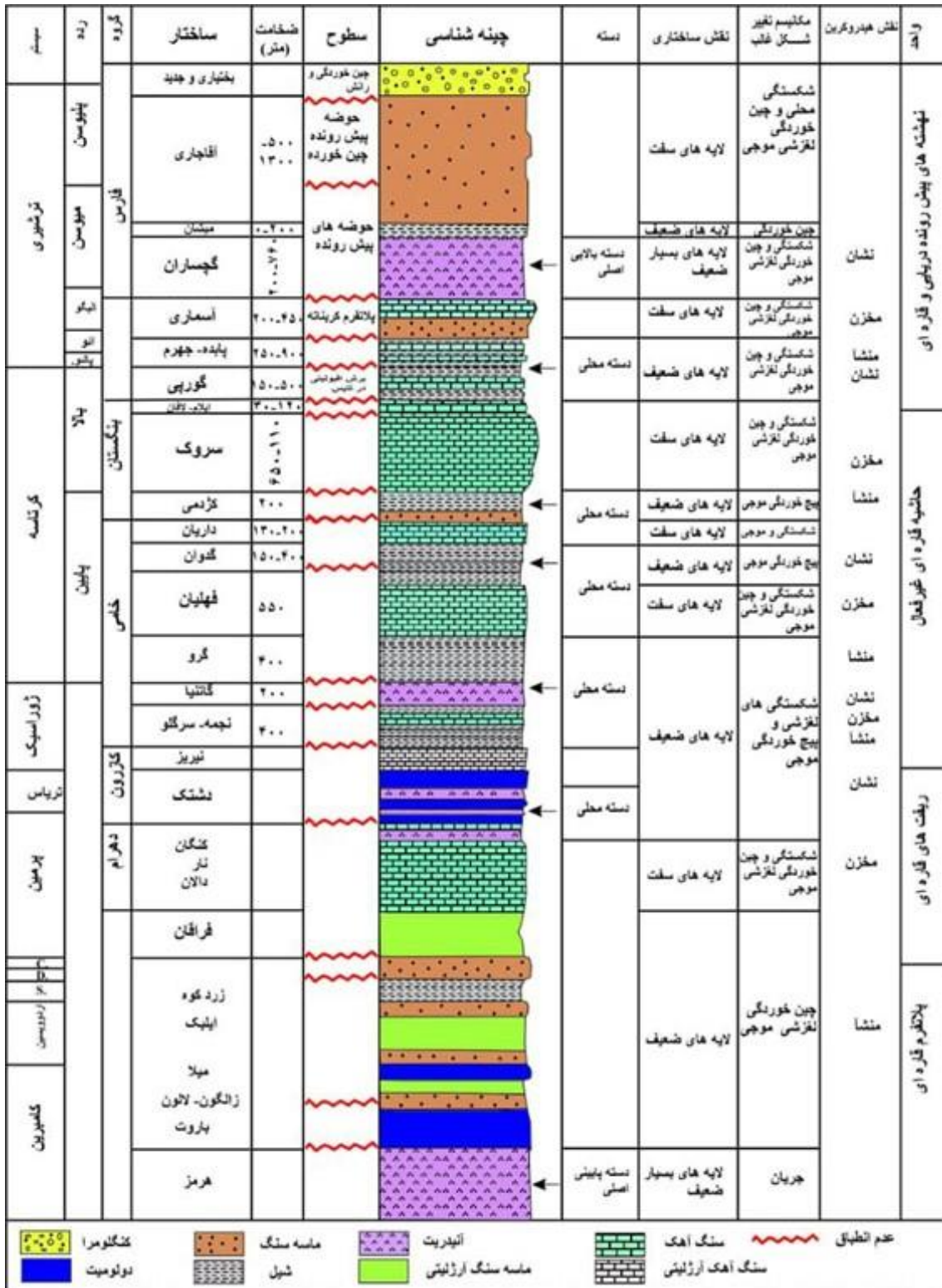
نفت سنگین است و سازندهای فهلیان، کژدمی، گدوان دارای نفت سبک هستند (مشایخی و رضایی‌پرتو، ۱۳۹۵). به دلیل وسعت زیاد میدان آزادگان، توسعه آن به دو بخش آزادگان شمالی و جنوبی تقسیم شده است (عاقبتی، ۱۳۸۷). سازند سروک، مخزن اصلی میدانی نفتی آزادگان یکی از واحدهای کربناته گروه بنگستان به سن آلبین-تورونین به صورت آهک مارنی و شیلی و سنگ آهک گسترش دارد. این سازند یکی از مخازن هیدروکربنی در حوضه زاگرس محسوب می‌شود که دومین سنگ مخزن بعد از سازند آهکی آسماری به شمار می‌رود. این سازند به صورت هم‌شیب بر روی سازند



شکل ۱. الف) تقسیمات ساختاری حوضه رسوبی زاگرس و موقعیت جغرافیایی میدان دشت آبادان و آزادگان، ب) موقعیت میدان نفتی آزادگان نسبت به میدانی مجاور و ج) میدان نفتی آزادگان و چاه‌های آن (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ عبداللهی‌فرد، ۱۳۸۵).



شکل ۲. نمودار چینه‌شناسی کرتاسه زاگرس و موقعیت سازند سروک (اصلاح شده از رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۲)



شکل ۳. چینه‌شناسی ساده شده منطقه که توالی اشکال سنگ‌شناسی اصلی و رخدادهای زمین‌ساختی اصلی را در فروافتادگی دزفول و دشت آبادان نشان می‌دهد (عبداللهی فرد، ۲۰۰۶).

در این مقاله، یک مخزن مهم در میدان نفتی آزادگان، یعنی سازند سروک به عنوان سازند مهم تولیدی مشخص شد. برای این منظور، یک حلقه چاه مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های لاگ‌های چاه‌پیمایی از چاه شماره ۱ سازند

سروک میدان نفتی آزادگان که جهت مدل‌سازی به کار می‌روند، بدست آمدند. لازم به ذکر است داده‌ها توسط مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران تهیه شده است.

۳- زمین‌شناسی دشت آبادان و میدان نفتی آزادگان

کمر بند کوهزایی زاگرس بخشی از سیستم کوهزایی آلپ-همیمالیا است که با وجود توالی ضخیم ۷ تا ۱۴ کیلومتری از رسوبات ته‌نشین شده در منطقه‌ای به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض ۳۰۰-۱۰۰ کیلومتر مشخص می‌شود. از دیدگاه زمین‌ساختاری، حوضه رسوبی زاگرس به بخش‌های مختلفی همچون زون همپوشان زاگرس، زون چین‌خورده زاگرس، پیش‌گودال زاگرس، حوضه خلیج فارس و دشت آبادان به عنوان بخشی از حوضه مزوپوتامین^۱ تقسیم شده است (آقنابتی، ۱۳۸۵). دشت آبادان در جنوب غربی ایران و در مرز با کشور عراق واقع شده و هم‌چنین بخشی از نواحی دریایی شمال خلیج فارس را نیز در بر می‌گیرد. این ناحیه از سمت شمال شرق به کمر بند زاگرس و از جنوب به خلیج فارس منتهی می‌شود. تاقدیس‌های موجود در دشت آبادان عمدتاً دارای روند شمالی - جنوبی بوده و در سطح زمین رخنمون ندارند. دشت آبادان با در برداشتن میداین عظیم نفتی از جمله آزادگان، یادآوران، جفیر و دارخوین به عنوان مهم‌ترین منطقه نفتی ایران بعد از فروافتادگی دزفول به شمار می‌رود (بیدون، ۱۹۹۱؛ شارلند، ۲۰۰۱؛ بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ علوی، ۲۰۰۴) (شکل ۱). نحوه چین‌خوردگی و نقش کلیدی افق‌های جدا کننده هرمز و گچساران در سبک ساختاری کمر بند چین‌خورده روونده زاگرس قابل توجه است. این سازندها به عنوان عامل اصلی در جدایش دشت آبادان و فروافتادگی دزفول در نظر گرفته شده‌اند. سه روند ساختاری شمال شرقی - جنوب غربی، شمالی - جنوبی و شمال غربی - جنوب غربی در ناحیه دشت آبادان تشخیص داده شده است. مرز بین ناحیه دشت آبادان و فروافتادگی دزفول به وسیله تاقدیس‌هایی با روند شمال غرب - جنوب شرق در حاشیه جنوب غربی فروافتادگی دزفول مشخص می‌گردد (عبدالهی فرد و همکاران، ۲۰۰۶). روند شمالی - جنوبی به عنوان مهم‌ترین روند، در بازه زمانی ۶۲۰ الی ۶۴۰ میلیون سال پیش (نئوپروتروزوئیک) و در اثر برخورد تکتونیکی عمار^۲ شکل گرفته است. فعالیت و تاثیر بلندی‌های قدیمی^۳ و خطواره‌های گسلی که عموماً راستای شمال شرق جنوب غرب و شمال غرب - جنوب شرق دارند سبب تغییرات و کنترل ضخامت، رخساره و توزیع واحدهای مخزنی و

فشردگی رسوبات در ناحیه دشت آبادان شده است (آل - حسینی، ۲۰۰۰). در فعالیت‌های بعد از رسوب‌گذاری و در فازهای فشارشی ناشی از برخورد دو صفحه ایران و عربی، این خطواره‌ها موجب تغییر در رفتارهای زمین‌شناسی گردیده که در نهایت منجر به تفاوت در اندازه، هندسه و ویژگی‌های چین‌ها و سبک چین‌خوردگی مخازن در طول بلندی‌های قدیمی نیز شده است. این موضوع ارتباط مستقیمی با توزیع هیدروکربن در دشت آبادان داشته و پرشدگی مخازن هیدروکربنی در این ناحیه را کنترل می‌نماید (بیدون، ۱۹۹۱). بلندی قدیمی آزادگان، مهم‌ترین ساختار با روند شمالی - جنوبی در این ناحیه است که ادامه گسترش شمالی بلندی‌های خوریس - بورگان در کشور کویت و بصره - زبیر در کشور عراق محسوب می‌شود (آل - حسینی، ۲۰۰۰). این بلندی قدیمی یک فروافتادگی پیچیده با هسته پی‌سنگی است که تعدادی از میداین نفتی دشت آبادان را در بر گرفته و تأثیر شگرفی بر توالی رسوبی از دیدگاه تغییرات رخساره‌ای، ضخامت و تکوین ساختاری و هیدروکربنی مخازن داشته است. توالی رسوبی دشت آبادان با ضخامت نازکی از آبرفت‌های عهد حاضر و در ادامه سازند آجاجاری (میوپلیوسن) شروع شده و در حال حاضر تا سازند نیریز به سن ژوراسیک پایینی حفاری شده است. فعالیت تکتونیکی آرام در دوران کرتاسه منجر به رسوب‌گذاری انواع مختلفی از مخازن آهکی کم عمق به خصوص سازندهای سروک و ایلام در ناحیه دشت آبادان شده است. با این وجود، دو فاز تکتونیکی اصلی در کرتاسه پایانی و الیگومیوسن، ویژگی‌های مخزنی و نحوه تجمع هیدروکربور را در این ناحیه تحت تأثیر قرار داده که در نهایت به تجمع عظیم نفت در مخازن کرتاسه منتهی شده است (بیدون، ۱۹۹۱؛ عبدالهی فرد و همکاران، ۲۰۰۶؛ آبیید و همکاران، ۲۰۱۱؛ علیزاده و همکاران؛ ۲۰۱۲). سازند ایلام از گروه بنگستان با سن کرتاسه بالایی (سانتونین) متشکل از رسوبات آهکی و آهک رسی تا مارن، بطور پیش‌رونده بر روی سازند نازک شیلی لافان با سن کنیاسین قرار گرفته است. این سازند به عنوان یک مخزن دارای نفت سنگین به صورت سطح فرسایشی بر روی سازند سروک با سن کرتاسه میانی (تورونین) نهشته شده است و در رأس بالایی به صورت

³ paleohigh

¹ Mesopotamian

² Amar

دهقانی، ۲۰۰۸). قابلیت پردازش شبکه از نوع ارتباط بین واحدها و وزن‌های اتصال سرچشمه می‌گیرد که یا از فرآیند یادگیری بدست می‌آید یا از قبل تعیین شده است (اسپچت، ۱۹۹۱).

تجزیه و تحلیل روش سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS): تلفیق منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی منجر به ایجاد سامانه عصبی فازی می‌شود که دارای مزیت‌های هر دو سامانه فازی و شبکه عصبی مصنوعی است (سرینواسان و فیشر، ۱۹۹۵؛ جانگ و همکاران، ۱۹۹۷). به عبارت دیگر یک سامانه عصبی فازی یک سامانه فازی است که برای تعیین پارامترهای خود (مجموعه‌ها و قوانین فازی) از نمونه آموزشی پردازش شده از الگوریتم آموزش که به وسیله تئوری شبکه عصبی مصنوعی مشتق شده و یا الهام گرفته شده، استفاده می‌کند. سامانه استنتاج تطبیقی فازی عصبی^۵، یک سامانه استنتاج فازی است که پارامترهای تابع عضویت آن به روش پس انتشار^۶ به تنهایی و یا همراه با روش کمترین مربعات^۷ تعدیل می‌شود (راهنمای کاربر متلب، ۲۰۰۶). در این پژوهش یک مدل انفیس برای شناسایی توابع عضویت بکار رفته است که عبارت است از: روش فازی C- میانگین^۸ که در ادامه توضیح اجمالی این مدل ارائه می‌شود.

۴-۳- فازی C- میانگین

روش فازی C- میانگین یک الگوریتم خوشه‌بندی داده توسط بزدیک ارائه شده است (بزدیک، ۱۹۷۳). که در آن هر داده متعلق به یک خوشه با درجه مشخص شده توسط درجه عضویت می‌باشد. روش فازی C- میانگین، پارتیشن-بندی مجموعه‌ای از n بردار، در گروه‌های فازی C است و مرکز خوشه در هر گروه را می‌یابد، به طوری که اندازه‌گیری متفاوت تابع هزینه به حداقل برسد. در ابتدا مراحل الگوریتم روش فازی C- میانگین مختصر شرح داده شده است. در ابتدا، مراکز خوشه به طور تصادفی از n نقطه انتخاب شده است. پس از آن ماتریس عضویت U با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{d_{ij}}{d_{kj}}\right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (1)$$

نایبوسته در زیر سازند شیلی گورپی قرار دارد (جیمس و ووند، ۱۹۶۵). از سوی دیگر سازند سروک، مهم‌ترین مخزن نفتی میدان آزادگان است که محیط رسوب‌گذاری آن رمپ کم عمق می‌باشد. اصلی‌ترین پوش سنگ مخازن سروک و ایلام را می‌توان سازندهای لافان و گورپی و هم‌چنین میان‌لایه‌های شیلی در این مخازن معرفی نمود (عبداللهی-فرد و همکاران، ۲۰۰۶؛ دو و همکاران، ۲۰۱۶؛ جیمس و ووند، ۱۹۶۵). هم‌چنین سازندهای سرگلو (ژوراسیک میانی - بالایی) و گرو (کرتاسه پایینی) به عنوان سنگ‌های منشأ احتمالی در دشت آبادان معرفی شده‌اند (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ علیزاده و همکاران، ۲۰۱۲؛ علیزاده و همکاران، ۲۰۱۶). سازند کژدمی (کرتاسه میانی) علیرغم پتانسیل خوب مواد آلی موجود در آن به پختگی لازم جهت تولید هیدروکربور نرسیده و سازند گدوان (کرتاسه پائینی) نیز خصوصیات مناسب یک سنگ منشاء را در این میدان ندارد (دو و همکاران، ۲۰۱۶؛ کوبرایی و همکاران، ۲۰۱۷؛ زینال‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵). فشار لایه فلهلیان میدان آزادگان در حدود ۳۵۰ بار و در مورد سایر لایه‌ها این عدد در حدود ۲۰۰ بار گزارش شده است. دمای لایه‌های مختلف نیز بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد (عبداللهی‌فرد و همکاران، ۲۰۰۶، علیزاده و همکاران، ۲۰۱۲).

۴- روش تحقیق

۴-۱- روش منطق فازی

یک مجموعه فازی، تعمیم یک مجموعه کلاسیک است که اجازه می‌دهد تابع عضویت^۴ هر مقداری را در بازه [۰، ۱] اختیار کند. به عبارت دیگر تابع عضویت یک مجموعه کلاسیک فقط می‌تواند دو مقدار صفر و یک داشته باشد در حالی که تابع عضویت یک مجموعه فازی، یک تابع پیوسته در محدوده [۰، ۱] است. بنابراین مجموعه فازی، مجموعه‌ای با یک تابع عضویت پیوسته است (رس، ۲۰۰۹).

۴-۲- روش شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از ارتباطات بین واحدها یا گره‌ها می‌باشد که سعی می‌شود عملکردی مانند مجموعه نرون‌های مغز انسان داشته باشد (منجری و

7 . least squares

8 . Fuzzy C-means Method (FCM)

6 . Membership Function

5 . Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)

6 . backpropogation

نگارهایی که دارای بیشترین همبستگی با نفوذپذیری (گرفته شده از آنالیز مغزه) می‌باشند را به عنوان ورودی مدل مورد نظر انتخاب می‌نماییم. با توجه به ماتریس همبستگی، مشخص گردید که نگارهای قطرسنجی (CALI)، گاما (CGR)، چگالی تصحیح شده (DRHO)، سرعت موج فشاری (DT)، نوترون (NPHI)، فتوالکتریک (PEF)، چگالی (RHOB)، طیف‌سنج پرتو گاما (SGR) نسبت به سایر نگارهای موجود، بیشترین همبستگی را با نفوذپذیری دارند. بنابراین ورودی‌های مدل شامل نگارهای نامبرده و خروجی نیز با توجه به هدف تحقیق، نفوذپذیری انتخاب شد. ماتریس همبستگی بین پارامترها در جدول ۱ آورده شده است. تعداد کل داده‌ها ۲۵۰۶ مورد بود که از این تعداد به طور تصادفی، ۷۰ درصد داده‌ها (۱۷۵۴ داده) به عنوان داده‌های آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها (۷۵۲ داده) به عنوان داده‌های آزمون انتخاب گردیدند. بخشی از داده‌های استفاده شده برای مدل‌سازی در جدول ۲ آورده شده است. هم چنین توصیف آماری داده‌های به کار رفته در این مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است.

که در آن فاصله اقلیدسی بین مرکز خوشه i و j ام و j ام نقطه داده و m شاخص فازی است. تابع هزینه با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود. اگر زیر یک آستانه مشخصی باشد این فرایند متوقف می‌شود.

$$J(U, c_1, \dots, c_2) = \sum_{i=1}^c J_i = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n \mu_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (2)$$

در مرحله آخر، مجموعه‌ای از مراکز خوشه‌های فازی جدید $c_i, i = 1, 2, \dots, C$ با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n \mu_{ij}^m} \quad (3)$$

۵- نتایج و بحث

جهت ارائه راهکار جدید برای تخمین غیرمستقیم نفوذپذیری در یکی از مخازن هیدروکربوری جنوب غربی ایران (میدان آزادگان شمالی)، همبستگی بین نگارها، بعد از پیش‌پردازش داده‌ها با استفاده از ماتریس همبستگی تهیه شده به روش پیرسن در نرم‌افزار SPSS، مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به هدف مطالعه (تخمین نفوذپذیری)،

جدول ۱. ماتریس همبستگی بین نگارهای اندازه‌گیری شده

	CALI	CGR	DRHO	DT	LLD	LLS	MSFL	NPHI	PEF	RHOB	SGR	PERM
CALI	۱	۰/۵۲۱**	۰/۵۱۰**	۰/۵۸۷**	-۰/۰۶۲**	-۰/۰۵۰*	۰/۰۰۷	۰/۵۴۷**	۰/۶۶۸**	-۰/۴۲۵**	۰/۴۹۱**	-۰/۲۳۷**
CGR	۰/۵۲۱**	۱	۰/۳۳۷**	۰/۸۰۵**	-۰/۰۸۹**	-۰/۰۷۶**	-۰/۰۱۹	۰/۸۷۳**	۰/۱۸۰**	-۰/۲۰۲**	۰/۹۶۲**	-۰/۲۷۱**
DRHO	۰/۵۱۰**	۰/۳۳۷**	۱	۰/۲۶۸**	-۰/۰۵۰*	-۰/۰۴۳*	۰/۰۷۶**	۰/۲۵۰**	۰/۵۹۱**	-۰/۰۰۲	۰/۳۳۶**	-۰/۲۰۴**
DT	۰/۵۸۷**	۰/۸۰۵**	۰/۲۶۸**	۱	-۰/۱۱۱**	-۰/۰۹۱**	-۰/۰۳۲	۰/۹۰۱**	۰/۳۰۷**	-۰/۴۵۸**	۰/۷۶۷**	-۰/۱۰۵**
LLD	-۰/۰۶۲**	-۰/۰۸۹**	-۰/۰۵۰*	-۰/۱۱۱**	۱	۰/۹۷۸**	۰/۰۸۲**	-۰/۱۴۵**	-۰/۰۶۴**	۰/۱۱۷**	-۰/۰۵۰*	-۰/۰۴۸*
LLS	-۰/۰۵۰*	-۰/۰۷۶**	-۰/۰۴۳*	-۰/۰۹۱**	۰/۹۷۸**	۱	۰/۰۷۸**	-۰/۱۲۱**	-۰/۰۵۳**	۰/۹۵**	-۰/۰۴۴*	-۰/۰۴۰*
MSFL	۰/۰۰۷	-۰/۰۱۹	۰/۰۷۶**	-۰/۰۳۲	۰/۰۸۲**	۰/۷۸**	۱	-۰/۰۴۶*	۰/۰۱۹	۰/۰۳۰	-۰/۰۲۲	-۰/۰۱۵
NPHI	۰/۵۴۷**	۰/۸۷۳**	۰/۲۵۰**	۰/۹۰۱**	-۰/۱۴۵**	-۰/۱۲۱**	-۰/۰۴۶*	۱	۰/۳۰۱**	-۰/۴۷۰**	۰/۸۲۵**	-۰/۰۹۱**
PEF	۰/۶۶۸**	۰/۱۸۰**	۰/۵۹۱**	۰/۳۰۷**	-۰/۰۶۴**	-۰/۰۵۳**	۰/۰۱۹	۰/۳۰۱**	۱	-۰/۳۸۴**	۰/۱۴۱**	-۰/۲۰۵**
RHOB	-۰/۴۲۵**	-۰/۲۰۲**	-۰/۰۰۲	-۰/۴۵۸**	۰/۱۱۷**	۰/۰۹۵**	۰/۰۳۰	-۰/۴۷۰**	-۰/۳۸۴**	۱	-۰/۱۴۱**	-۰/۲۹۹**
SGR	۰/۴۹۱**	۰/۹۶۲**	۰/۳۳۶**	۰/۷۶۷**	-۰/۰۵۰**	-۰/۰۴۴**	-۰/۰۲۲	۰/۸۲۵**	۰/۱۴۱**	-۰/۱۴۱**	۱	-۰/۳۲۸**
PERM	-۰/۲۳۷**	-۰/۲۷۱**	-۰/۲۰۴**	-۰/۱۰۵**	-۰/۰۴۸*	-۰/۰۴۰*	-۰/۰۱۵	-۰/۰۹۱**	-۰/۲۰۵**	-۰/۲۹۹**	-۰/۳۲۸**	۱

جدول ۲. نمونه‌ای از داده‌های استفاده شده برای مدل‌سازی

شماره داده	پارامترهای ورودی							قطر سنجی	گاما (CGR)	DRHO	سرعت موج فشاری (DT)	نوترون (NPHI)	فتوالکتریک (PEF)	چگالی (RHOB)	SGR	پارامتر خروجی
	سرعت موج فشاری (DT)	نوترون (NPHI)	فتوالکتریک (PEF)	چگالی (RHOB)	SGR	پارامتر خروجی										
۱	۵۱/۹۴۹۷	۰/۱۶۶	۵/۲۷۵۴	۲/۶۹۹۸	۳۱/۵۸۶۸	۰/۰۳۰۵	۶/۳۵۳۹	۴/۷۷۰۸	۰/۰۱	۵۱/۹۴۹۷	۰/۱۶۶	۵/۲۷۵۴	۲/۶۹۹۸	۳۱/۵۸۶۸	۰/۰۳۰۵	۶/۳۵۳۹
۲	۵۲/۰۷۳۶	۰/۰۱۷۷	۵/۳۳۱۴	۲/۷۰۲	۳۱/۲۰۳۹	۰/۰۳۵۳	۶/۳۶۰۶	۴/۱۸۳۲	۰/۰۱۱۸	۵۲/۰۷۳۶	۰/۰۱۷۷	۵/۳۳۱۴	۲/۷۰۲	۳۱/۲۰۳۹	۰/۰۳۵۳	۶/۳۶۰۶
۳	۵۲/۳۰۱۹	۰/۰۲۰۷	۵/۴۲۶۳	۲/۶۹۵	۳۱/۱۵۳۴	۰/۰۴۴۴	۶/۳۵۸۶	۵/۰۷۷۳	۰/۰۱۷۵	۵۲/۳۰۱۹	۰/۰۲۰۷	۵/۴۲۶۳	۲/۶۹۵	۳۱/۱۵۳۴	۰/۰۴۴۴	۶/۳۵۸۶
۴	۵۲/۶۱۹	۰/۰۲۴۱	۵/۵۴۰۵	۲/۶۸۱۱	۳۰/۴۷۵۱	۰/۰۸۳۸	۶/۲۹۸۱	۵/۰۶۴۴	۰/۰۲۵۸	۵۲/۶۱۹	۰/۰۲۴۱	۵/۵۴۰۵	۲/۶۸۱۱	۳۰/۴۷۵۱	۰/۰۸۳۸	۶/۲۹۸۱
۵	۵۲/۹۵۷۵	۰/۰۲۵۱	۵/۶۹۶۶	۲/۶۷۱۹	۲۹/۷۴۲۷	۰/۰۸۱۷	۶/۳۰۳۶	۵/۲۵۳۵	۰/۰۲۵۴	۵۲/۹۵۷۵	۰/۰۲۵۱	۵/۶۹۶۶	۲/۶۷۱۹	۲۹/۷۴۲۷	۰/۰۸۱۷	۶/۳۰۳۶
۶	۵۲/۱۵۴۳	۰/۰۲۴۹	۵/۹۱۲۸	۲/۶۷۶۳	۲۸/۹۱۵۴	۰/۰۰۷۵	۶/۴۱۹۸	۶/۴۲۹	۰/۰۴۶۵	۵۲/۱۵۴۳	۰/۰۲۴۹	۵/۹۱۲۸	۲/۶۷۶۳	۲۸/۹۱۵۴	۰/۰۰۷۵	۶/۴۱۹۸

جدول ۳. توصیف آماری داده‌های به کار رفته در این مطالعه

پارامتر	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف میار
قطر سنجی	۵/۶۶	۱۲/۵۵	۶/۹۸۶۱	۰/۸۳۸۵۷
گاما (CGR)	۰/۴۳	۱۱۵/۲۹	۲۵/۱۵۱۷	۲۵/۳۴۱۸۶
DRHO	-۰/۰۹	۰/۳۲	۰/۰۴۸۵	۰/۰۵۸۲۳
سرعت موج فشاری (DT)	۴۹/۳۹	۱۳۲/۲۱	۶۹/۸۲۵۹	۱۶/۵۱۴۴۱
نوترون (NPHI)	۰/۰۱	۰/۴۸	۰/۱۵۰۹	۰/۱۲۳۳۱
فتوالکتریک (PEF)	۲/۴۸	۱۱/۲۶	۶/۴۵۲۵	۱/۵۴۷۵۲
چگالی (RHOB)	۱/۷۰	۲/۷۹	۲/۵۶۵۰	۰/۱۲۱۸۴
SGR	۵/۳۸	۱۱۸/۵۴	۳۶/۷۶۶۴	۲۷/۰۸۷۰۲
نفوذپذیری	۰/۰۰	۳۰/۹۴	۰/۹۳۳۳	۲/۶۳۰۵۸

۶- استانداردسازی داده‌ها

برای ورود داده‌ها به سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی، لازم است دامنه تغییرات داده‌ها مشابه یکدیگر باشد که در اصطلاح این عمل را، استانداردسازی داده‌ها می‌نامند. استانداردسازی داده‌ها برای ورود به سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی نیز توسط رابطه (۴) انجام گرفت که دامنه ورودی‌ها را در بازه (۰-۱) قرار می‌دهد.

$$p_n = 2 \frac{p - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} - 1 \quad (4)$$

که در آن:

p_n پارامتر استاندارد شده؛

p پارامتر حقیقی؛

p_{max} بیشینه پارامتر حقیقی و

p_{min} کمینه پارامتر حقیقی می‌باشند (غلامی و همکاران،

۲۰۱۴؛ جایلاکشمی و سنتاکوماران، ۲۰۱۱).

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل: برای ارزیابی عملکرد مدل، از سه شاخص آماری استفاده گردید که روابط آن‌ها به شرح زیر است:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^n y_i'^2}{n}} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2} \quad (7)$$

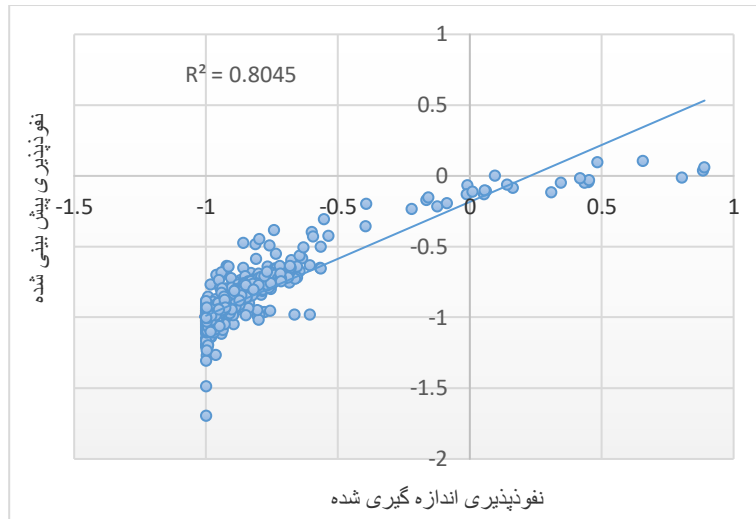
که در آن‌ها: y_i : مقدار اندازه‌گیری شده و y'_i : مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد. معیار R^2 بیانگر انطباق بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده می‌باشد که بهترین حالت آن جایی است که مقدار آن یک باشد و اگر صفر باشد بدان معنی است که عملکرد مدل برای پیش‌بینی خیلی ضعیف است. معیار MSE^1 ، $RMSE^2$ نیز بیانگر خطای بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده می‌باشد و هر چه مقدار آن کمتر باشد عملکرد مدل از اطمینان بیشتری برخوردار است.

نتایج به دست آمده از مدل ANFIS-FCM

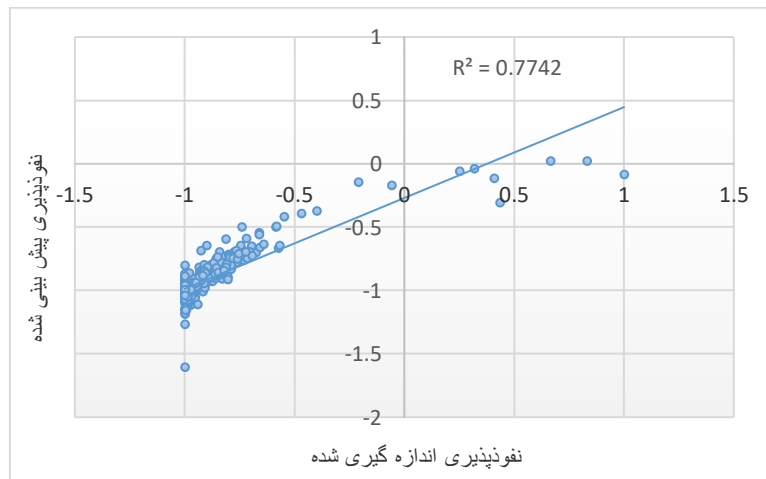
در این پژوهش، آموزش و آزمون مدل ANFIS-FCM برای مجموعه داده‌ها انجام شد. نتایج بدست آمده از مدل در جدول ۴ (انتهای مقاله) نشان داده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، روش ANFIS-FCM، با اطمینان و دقت بالایی در پیش‌بینی نفوذپذیری همراه است. شکل‌های ۴ و ۵ همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مجموعه داده‌های آموزش و آزمون برای مدل ANFIS-FCM را نشان می‌دهند. علاوه بر این، مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نفوذپذیری توسط مدل ANFIS-FCM، در مراحل آزمون و آموزش در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که مدل ANFIS-FCM قابلیت بالایی در برآورد نفوذپذیری با استفاده از مجموعه نگارهای ورودی ذکر شده را دارد و می‌تواند برای پروژه‌های دیگر با شرایط مشابه، به طور مطلوبی مورد استفاده قرار گیرد.

². Root Mean Squared Error (RMSE)

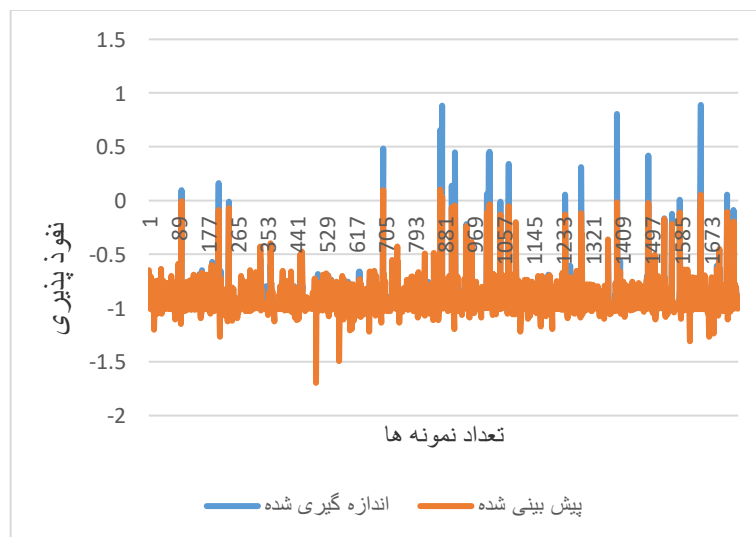
¹. Mean Squared Error (MSE)



شکل ۴. همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مجموعه داده آموزش (ANFIS-FCM)



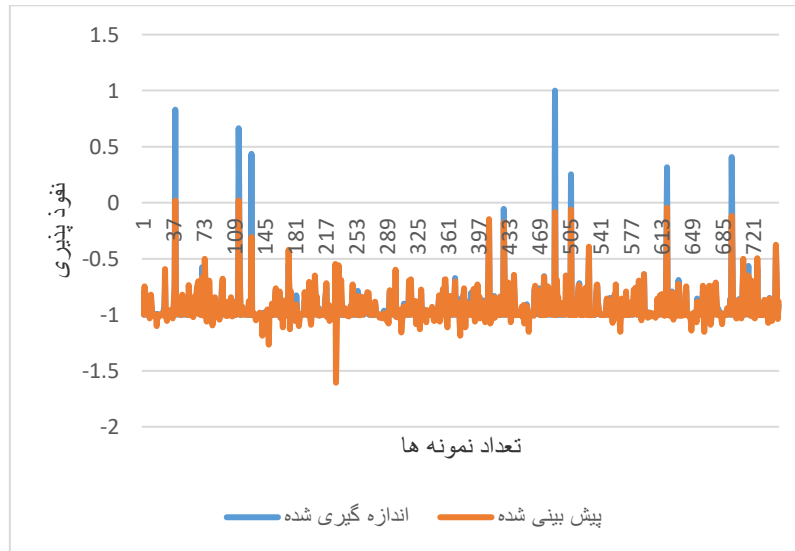
شکل ۵. همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مجموعه داده آزمون (ANFIS-FCM)



شکل ۶. نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مجموعه داده آموزش (ANFIS-FCM)

جدول ۴. مقایسه بین نتایج حاصل از مدل ANFIS-FCM برای مجموعه داده‌های آموزش و آزمون

مجموعه داده		R^2	MSE	RMSE
نفوذپذیری (ANFIS-FCM)	آموزش	۰/۸۰۴۵	۰/۰۰۵۵۲۶۲	۰/۰۷۴۳۳۹
	آزمون	۰/۷۷۴۲	۰/۰۰۷۰۰۲۹	۰/۰۸۳۶۸۳



شکل ۷. نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مجموعه داده آزمون (ANFIS-FCM)

ANFIS-FCM مقادیر R^2 ، MSE، RMSE به ترتیب ۰/۷۷۴۲، ۰/۰۰۷۰۰۲۹، ۰/۰۸۳۶۸۳ حاصل گردید. با استفاده از نتایج به دست آمده از این مدل، مشخص شد که نفوذپذیری تخمین‌زده شده برای مدل ANFIS-FCM در میدان مورد بررسی از دقت بسیار خوب و همبستگی بالایی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده برخوردار بوده است. در نتیجه روش هوشمند ANFIS-FCM روشی مناسب جهت تخمین پارامترهای پتروفیزیکی بویژه نفوذپذیری می‌باشد.

منابع

آقاباتی، ع (۱۳۸۵) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ سوم، ۶۰۶ ص.
عاقبتی، ر (۱۳۸۷) معرفی یک میدان: طرح توسعه میدان آزادگان، ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید، شماره ۵۱، ص ۶-۸.
علیزاده، ب.، سعادت، ح.، حسینی، س. ح.، گندمی ثانی، ا. ر (۱۳۹۲) مطالعه نفت مخزن آزادگان در میدان نفتی آزادگان با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی، ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۰۳.

۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه ویژگی مخزنی (نفوذپذیری) در سازند سروک میدان نفتی آزادگان تخمین زده شد. با توجه به نتایج آنالیز و پیش‌پردازش داده‌ها، همبستگی بین نگارها، با استفاده از ماتریس همبستگی که در نرم‌افزار SPSS و به روش پیرسن تهیه گردید، نشان داد که نگارهای قطرسنجی (CALI)، گاما (CGR)، چگالی تصحیح شده (DRHO)، سرعت موج فشاری (DT)، نوترون (NPHI)، فتوالکتریک (PEF)، چگالی (RHOB)، طیف‌سنج پرتو گاما (SGR) نسبت به سایر نگارهای موجود، بیشترین همبستگی را با نفوذپذیری دارند. با انتخاب نگارهای یاد شده به عنوان ورودی‌های مدل ANFIS-FCM و انتخاب نفوذپذیری به عنوان خروجی، با توجه به هدف تحقیق و در نظر گرفتن ۷۰ درصد داده‌ها (۱۷۵۴ نمونه) برای مجموعه داده آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها (۷۵۲ نمونه) برای مجموعه داده آزمون به طور تصادفی، برای مجموعه داده آموزش مدل ANFIS-FCM مقادیر R^2 ، MSE، RMSE به ترتیب ۰/۸۰۴۵، ۰/۰۰۵۵۲۶۲، ۰/۰۷۴۳۳۹ به دست آمدند و همچنین برای مجموعه داده آزمون مدل

- Al-AbdulJabbar, A., Al-Azani, Kh., Elkatatny, S (2020) Estimation of Reservoir Porosity from Drilling Parameters Using Artificial Neural Networks, *Petrophysics*, 61 (03): 318-330.
- Alavi, M (2004) Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and Its Proforeland Evolution. *American Journal of Science*, 304: 1-20.
- Al-Husseini, M. I (2000) Origin of the Arabian Plate Structures: Amar Collision and Najd Rift, *GeoArabia*, 5: 527-542.
- Alizadeh, B., Saadati, H., Rashidi, M., Kobraei, M (2016) Geochemical investigation of oils from Cretaceous to Eocene sedimentary sequences of the Abadan Plain, Southwest Iran, *Marine and Petroleum Geology*, 73: 609-619.
- Alizadeh, B., Sarafdokht, H., Rajabi, M., Opera, A., Janbaz, M (2012) Organic geochemistry and petrography of Kazhdumi (Albian-Cenomanian) and Pabdeh (Paleogene) potential source rocks in southern part of the Dezful Embayment, Iran, *Organic Geochemistry*, 49: 36-46.
- Anemangely, M., Ramezanzadeh, A., Amiri, H., Hoseinpour, S. A (2019) Machine learning technique for the prediction of shear wave velocity using petrophysical logs, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 174: 306-327.
- Anifowose, F., Abdulraheem, A (2011) Fuzzy logic-driven and SVM-driven hybrid computational intelligence models applied to oil and gas reservoir characterization, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 3: 505-517.
- Anifowose, F., Labadin, J., Abdulraheem, A (2015) Improving the prediction of petroleum reservoir characterization with a stacked generalization ensemble model of support vector machines, *Applied Soft Computing*, 26: 483-496.
- Ansari, H. R., Gholami, A (2015) an improved support vector regression model for estimation of saturation pressure of crudoils, *Fluid Phase Equilibria*, 402: 124-132.
- Asoodeh, M., Bagheripour, P (2012) Prediction of compressional, shear, and stoneley wave velocities from conventional well log data using a committee machine with intelligent systems, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45: 45-63.
- Bagheripour, P., Gholami, A., Asoodeh, M., Vaezadeh-Asadi, M (2015) Support vector regression based determination of shear wave velocity, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 125: 95-99.
- Baziar, S., Gafoori, M. M., Pour, M., Mehdi, S., Bidhendi, M. N., Hajiani, R (2015) Toward a Thorough Approach to Predicting Klinkenberg Permeability in a Tight Gas Reservoir: A قلی‌پور، س.، کدخدائی، ع.، کمالی، م. ر (۱۳۹۴) تخمین نگار کربن آلی کل با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و پتروفیزیکی توسط شبکه عصبی مصنوعی در میدان نفتی آزادگان، *مجله پژوهش نفت*، شماره ۲-۸۵.
- مشایخی، ر.، رضایی‌پرتو، ک (۱۳۹۵) ارزیابی پتروفیزیکی و تعیین پارامترهای لیتولوژی، حجم شیل، تخلخل و اشباع آب در سازند سروک در یکی از میادین نفتی واقع در دشت آبادان به روش MRGC، *چهارمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در مهندسی، علوم و تکنولوژی*.
- ناصریان اصل، م.، امیری، ا (۱۳۹۳) میدان نفتی آزادگان از دیدگاه زمین‌شناسی و ژئوشیمی، *کرج، رهام اندیشه*، ۶۵ ص.
- نظری، ح.، نظری، ی.، دهقانی، م.، عباس‌نژاد، ا.، حاجی‌زاده، ف (۱۴۰۱) ارزیابی مدل هوشمند در برآورد هدایت-الکتریکی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت راین)، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۶، شماره ۳۲. ص ۱-۱۴.
- نظری، ح.، دهقانی، م.، پیرخراطی، ح.، اسدزاده، ف.، حاجی‌زاده، ف (۱۴۰۱) پایش پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS) (مطالعه موردی: دشت اردبیل)، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۶، شماره ۳۱، ص ۱-۱۲.
- Abdollahie Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M., Alavi, S. A (2006) Interaction of the Zagros Fold-Thrust belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geoscience*, 12: 347-362.
- Abeed, Q., Alkhafaji, A., Littke, R (2011) Source rock potential of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous succession in the southern Mesopotamian basin, southern Iraq, *Journal of petroleum geology*, 34: 117-134.
- Aghli, Gh., Moussavi-Harami, R., Mortazavi, S., Mohammadian, R (2019) Evaluation of new method for estimation of fracture parameters using conventional petrophysical logs and ANFIS in the carbonate heterogeneous reservoirs, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 172: 1092-1102.
- Ahmadi, M. A., Ahmadi, M. R., Hosseini, S. M., Ebadi, M (2014) Connectionist model predicts the porosity and permeability of petroleum reservoirs by means of petro-physical logs: Application of artificial intelligence, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 123: 183-200.
- Ahmadi, M. A., Zhangxing, C (2019) Comparison of machine learning methods for estimating permeability and porosity of oil reservoirs via petro-physical logs, *Petroleum*, 5 (3): 271-284.

- for classification, *Int J Comput Theory Eng*, 3(1): 1793-8201.
- Kadkhodaie Ilkhchi, A., Rezaee, M., Moallemi, S. A (2006) A fuzzy logic approach for estimation of permeability and rock type from conventional well log data: an example from the Kangan reservoir in the Iran Offshore Gas Field, *J. Geophys. Eng*, 3: 356–369.
- Kobraei, M., Rabbani, A. R., Taati, F (2017) Source rock characteristics of the Early Cretaceous Garau and Gadvan formations in the western Zagros Basin-Southwest Iran, *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 7: 1051-1070.
- MATLAB user's guide (2006) Fuzzy logic Toolbox, by the math works Inc.
- Moatazedian, I., Rahimpour-Bonab, H., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rajoli, M (2011) Prediction of shear and Compressional Wave Velocities from petrophysical data utilizing genetic algorithms technique: A case study in Hendijan and Abuzar fields located in Persian Gulf, *Geopersia*, 1: 1-17.
- Monjezi, M., Dehghani, H (2008) Evaluation of effect of blasting pattern parameters on back break using neural networks, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45: 1446–53.
- Nazari, S., Kuzma, H. A., Rector III, J. W (2011) Predicting permeability from well log data and core measurements using support vector machines, SEG Annual Meeting, Society of Exploration Geophysicists.
- Nouri Taleghani, M., Saffarzadeh, S., Karimi Khaledi, M., Zargar, Gh (2013) Development of an Intelligent System to Synthesize Petrophysical Well Logs, *Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 2 (3): 11-24.
- Oden, C. O., LoCoco, J. J (2000) Variable Frequency Monopole-Dipole Sonic Logging for Mechanical and Hydrogeologic parameters, Conference Proceedings of the Annual Meeting of Environmental and Engineering Geophysical Society, Denver, CO.
- Ohen, H. A (2003) Calibrated wire-line Mechanical Rock Properties Model for Predicting and preventing wellbore Collapse and Sanding, SPE, European Formation Damage Conference.
- Okon, A. N., Adewole S. E., Uguma, E. M (2020) Artificial neural network model for reservoir petrophysical properties: porosity, permeability and water saturation prediction, *Modeling Earth Systems and Environment*.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Enayati-Bidgoli, A. H., Omidvar, M (2012) Coupled imprints of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of a mid-Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, Southwest Iran: *Cretaceous Research*, 37: 15-34.
- Comparative Study, *Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 4: 18-36.
- Berberian, M., King, G (1981) Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2): 210-265.
- Beydoun, Z. R (1991) Arabian plate hydrocarbon geology and potential: A plate tectonic approach, American Association of Petroleum Geologists (AAPG), Tulsa.
- Bezdek, J. C (1973) Fuzzy mathematics in pattern classification, Cornell University, Ithaca.
- Du, Y., Chen, J., Cui, Y., Xin, J., Wang, J., Li, Y.Z., Fu, X (2016) Genetic Mechanism and development of the unsteady Sarvak play of the Azadegan oil Field, Southwest of Iran, *Petroleum Science*, 13: 34-51.
- England, W. A (2007) Reservoir geochemistry-A reservoir engineering perspective, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 58: 344-354.
- Eskandari, H., Rezaee, M., Mohammadnia, M (2004) Application of multiple regression and artificial neural network techniques to predict shear wave velocity from wireline log data for a carbonate reservoir South-West Iran, *CSEG recorder*, 42: 48.
- FitzGerald, E. M., Bean, C. J., Reilly, R (1999) Fracture-frequency prediction from borehole wireline logs using artificial neural networks, *Geophys Prospect*, 47: 1031–44.
- Flavio, S. A., Gregor, P. E (1999) The velocity-deviation log a tool to predict pore type and permeability trends in carbonate drill holes from sonic and porosity or density logs, *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull*, 83: 450–66.
- Gholami, R., Moradzadeh, A (2012) Support vector regression for prediction of gas reservoirs permeability, *Journal of Mining and Environment*, 2: 41-52.
- Gholami, R., Moradzadeh, A., Maleki, S., Amiri, S., Hanachi, J (2014) Applications of artificial intelligence methods in prediction of permeability in hydrocarbon reservoirs, *J Pet Sci Eng*, 122: 643-56.
- Ja'fari, A., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Sharghi, Y., Ghanavati, K (2012) Fracture density estimation from petrophysical log data using the adaptive neuro-fuzzy inference system, *J. Geophys. Eng*, 9: 105–114.
- James, G. A., Wynd, J. G (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area, *AAPG Bulletin*, 49: 2182-2245.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T., Mizutani, E (1997) Neuro-Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice Hall, 640p.
- Jayalakshmi, T., Santhakumaran, A (2011) Statistical normalization and back propagation

- Rajabi, M., Bohlooli, B., Ahangar, E. G (2010) Intelligent approaches for prediction of compressional, shear and Stoneley wave velocities from conventional well log data: A case study from the Sarvak carbonate reservoir in the Abadan Plain (Southwestern Iran), *Computers & Geosciences*, 36: 647-664.
- Ross, T. J (2009) *Fuzzy logic with engineering applications*: John Wiley & Sons,
- Saemi, M., Ahmadi, M., Yazdian Varjani, A (2007) Design of neural networks using genetic algorithm for the permeability estimation of the reservoir, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 59: 97-105.
- Sharland, P. R (2001) Arabian Plate sequence stratigraphy. *GeoArabia special publication 2*, Gulf PetroLink, Manama.
- Specht, D. F (1991) A general regression neural network, *IEEE Trans Neural Netw*, 2(6): 568-576.
- Srinivasan, K., Fisher, D (1995) Machine Learning Approaches to Estimating Software Development Effort, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 21(2): 126-137.
- Tariq, Z., Mahmoud, M., Abdulraheem, A (2019) An Artificial Intelligence Approach to Predict the Water Saturation in Carbonate Reservoir Rocks, Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Calgary, Alberta, Canada.
- Yue, Y., Wang, J (2007) SVM method for predicting the thickness of sandstone, *Applied Geophysics*, 4: 276-281.
- Zeinalzadeh, A., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Sajjadian, V. A (2015) Basin and petroleum system modeling of the Cretaceous and Jurassic source rocks of the gas and oil reservoirs in Darquain field, south west Iran, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26: 419-426.
- Zoveidavianpoor, M., Samsuri, A., Shadizadeh, S. R (2013) Adaptive neuro fuzzy inference system for compressional wave velocity prediction in a carbonate reservoir, *Journal of Applied Geophysics*, 89: 96-107.

Evaluation of Geology and Reservoir Characteristic of Sarvak Formation Using Adaptive Neuro-Fuzzy Method in One of the Hydrocarbon Fields of Southwest Iran

H. Nazari^{*1} and F. Hajizadeh²

1- Ph. D. student, of Mining Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Mining Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

* nazarihosnie@yahoo.com

Received: 2022.6.26 Accepted: 2022.11.27

Abstract

Azadegan field is one of Iran's oil fields, which is located in an area of 1500 km² in the southwest of Iran in the northern Dezful region. According to the geological survey of the region, in the anticlines excavated in Azadegan field after the Aghajari formation, the Gachsaran, Asmari, Pabdeh, Jahrom, Gurpi, Tabor, Sarvak and Fahlian formations, are placed in the usual geological sequence. At present, in the Azadegan oil field, production is carried out from four oil formations, including Kazhdami, Gadvan, Fahlian and Sarvak, although the main reservoir of this field is the Sarvak formation and it is composed of carbonate rocks. On the other hand, permeability is the most important factor for accurate description and modeling of hydrocarbon reservoir rocks. Usually, the standard methods for determining permeability are core analysis and well testing. These methods are very expensive, also the wells of a field do not have a core. As a result, because well logs are usually available in all the wells of a field, it will be very important to provide a method or methods that can provide the petrophysical properties of the reservoir, including permeability, using well logs. Smart methods are new, low-cost and accurate methods that can indirectly estimate reservoir permeability in the shortest possible time using well drilling data. Therefore, by using different well logs and the method of adaptive neural-fuzzy inference system (ANFIS), the permeability in Sarvak Formation, one of the hydrocarbon reservoirs in southwestern Iran, has been indirectly estimated. In order to use this intelligent method, the database was divided into two parts: training data (1754 data) and test data for evaluating the models (752 data). The results show the very appropriate performance of the intelligent method in permeability estimation. Therefore, the smart model can be used as a powerful, fast and accurate method for indirect estimation of permeability in reservoirs where permeability has not been measured through core.

Keywords: Geology, Permeability, Adaptive neuro-fuzzy inference system, Hydrocarbon reservoir.