

تخمین شاخص بلوغ از نگارهای چاه پیمایی و داده‌های لرزه‌ای با به کارگیری روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان در میدان نفتی منصوری

هدی عبدی زاده^{۱*}، علی احمدی^۱، علی کدخدائی^۲ و محمدحسین حیدری فرد^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۱۴

چکیده

بلوغ حرارتی فاکتور مهم ژئوشیمیایی در اکتشاف هیدروکربن و ارزیابی سنگ منشأ می‌باشد. بلوغ حرارتی شاخصی جهت تعیین حداکثر دما می‌باشد که سنگ منشأ طی مراحل مختلف ارزیابی هیدروکربن متحمل شده است. اندازه‌گیری این پارامتر مستلزم انجام آزمایشات ژئوشیمی بر روی کنده‌های حفاری می‌باشد که پرهزینه و وقت‌گیر است، بنابراین هدف اصلی تحقیق توسعه یک روش نوین برای تخمین مستقیم این پارامتر از نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های لرزه‌ای با استفاده از الگوریتم فراابتکاری به نام الگوریتم کلونی مورچگان است. در این پژوهش، داده‌های لرزه‌ای ۲ بعدی و داده‌های پتروفیزیکی سازند پابده از ۳ چاه میدان نفتی منصوری مورد استفاده قرار گرفت. همچنین معادله شاخص بلوغ در محل چاه‌ها جهت پیشگویی شاخص بلوغ از نگارهای چاه‌پیمایی مانند نوترون، مقاومت، صوتی و چگالی استفاده گردید. این مقادیر محاسبه شده به‌عنوان ورودی آنالیز چند نشانگری به کار گرفته شد. وارون‌سازی لرزه‌ای براساس الگوریتم شبکه عصبی به دلیل دقت بالا اجرا شد و امپدانس صوتی حاصله به‌عنوان نشانگر بیرونی به کار برده شد. سپس شبکه عصبی احتمالاتی با استفاده از نشانگرهای پیشگویی شده حاصل از رگرسیون چندگانه آموزش داده شد. متعاقباً شاخص بلوغ با ضریب تطابق ۰.۸۷ توسط نشانگرهای لرزه‌ای تخمین زده شد. در مرحله بعد، روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان غیرخطی ضرایب وزنی را برای هر یک از نشانگرهای لرزه‌ای محاسبه نمود. ضریب تطابق بلوغ استفاده گردید. کلونی مورچگان غیرخطی ضرایب وزنی را برای هر یک از نشانگرهای لرزه‌ای محاسبه نمود. ضریب تطابق بین داده‌های ورودی و خروجی توسط الگوریتم ژنتیک غیرخطی ۰.۹۱ تخمین زده شد. در انتها، مقطع لرزه‌ای شاخص بلوغ تولید شد. مقایسه نتایج حاصل از روش‌های شبکه عصبی احتمالاتی و بهینه‌سازی کلونی مورچگان نشان داد که صحت مدل کلونی مورچگان بیشتر از شبکه عصبی احتمالاتی است.

کلمات کلیدی: شاخص بلوغ، نگارهای چاه‌پیمایی، وارون‌سازی لرزه‌ای، شبکه عصبی احتمالاتی،

بهینه‌سازی کلونی مورچگان.

مقدمه

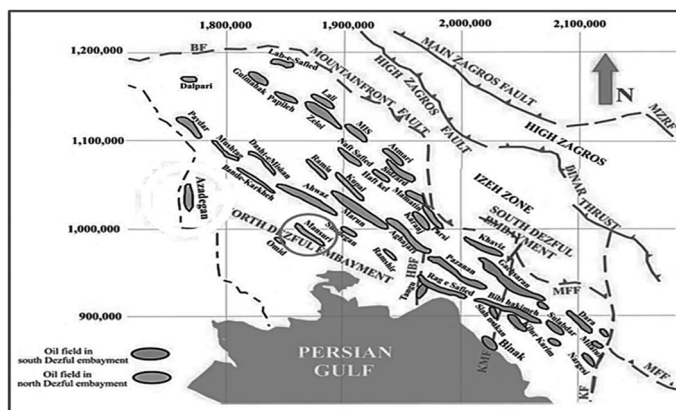
یافتن روش‌های کاربردی به منظور کاهش هزینه‌های اکتشافی و صرفه‌جویی در وقت، می‌تواند کمک مؤثری به اکتشاف منابع هیدروکربنی بکند. پارامترهای اصلی سنگ منشأ که بر تولید اقتصادی هیدروکربن اثر می‌گذارند را می‌توان عواملی همچون، مقدار کل کربن آلی^۱، نوع کروژن موجود در سنگ منشأ و نهایتاً درجه بلوغ ماده آلی در آن دانست. شاخص بلوغ حرارتی^۲ مشتق شده از نگارها، ابزاری مهم جهت پیشگویی فازهای هیدروکربن در اکتشاف و بهره‌برداری می‌باشد. بلوغ حرارتی می‌تواند از روش‌های ژئوشیمیایی مختلف مانند ضریب انعکاس ویترونیات و T_{max} تخمین زده شود. برای غلبه بر مشکلاتی از قبیل در دسترس نبودن نمونه کافی و یا هزینه بالای آنالیزهای آزمایشگاهی، محققین متعددی سعی نموده‌اند تا بین پاسخ نگارهای چاه‌پیمایی و پارامترهای مهم سنگ منشأ، ارتباط کمی و کیفی برقرار کنند و بدین منظور از روش‌های تک نگار چاه‌پیمایی و یا ترکیب مؤثری از چند نوع نگار چاه‌پیمایی، استفاده نموده‌اند [۱]. با ترسیم داده‌های حاصل از قرائت لاگ صوتی در مقابل ضریب انعکاس ویترونیات در اعماق، به رابطه مستقیم بین R_0 و DT دست یافتند [۲]. براساس تغییرات پتروفیزیکی ایجاد شده در سنگ منشأ با افزایش بلوغ حرارتی و در نتیجه تحت تأثیر قرار گرفتن قرائت نگارهای چاه‌پیمایی، تابعی به نام شاخص بلوغ را معرفی نمودند [۳]. با به‌کارگیری نگارهای پتروفیزیکی و داده‌های ژئوشیمیایی، محتوای کل کربن آلی و بلوغ سنگ منشأ را ارزیابی نمودند [۴]. از روش هوشمند نرو-فازی برای تخمین مقدار محتوای کل کربن آلی سازند پابده استفاده کرده و عملکرد آن را با روش $\Delta \text{Log R}$ مقایسه نمودند. در، مدلی پیشرفته و بهینه برای تخمین TOC با تلفیق سیستم‌های هوشمند مختلف و مفهوم ماشین گروهی ابداع شد [۵]. در دهه اخیر کاربرد الگوریتم‌های تکاملی مانند بهینه‌سازی کلونی مورچگان به‌طور گسترده مطرح

شده است. کلونی مورچگان به‌عنوان یک روش بهینه‌سازی تکاملی و فراابتکاری^۳ در ابتدا در سال ۱۹۹۰ برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی معرفی شد [۸-۶]. اساس رفتار بهینه‌سازی کلونی مورچگان بر طبق کلونی واقعی مورچه‌ها می‌باشد، که برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی مختلف، مخصوصاً مسائل گسسته مانند مسئله فروشنده دوره گرد [۹] و همچنین در زمینه‌های پیوسته استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، صنعت نفت از بهینه‌سازی کلونی مورچگان در حل مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌کند [۱۰]. از بهینه‌سازی کلونی مورچگان جهت تعیین تعداد بهینه عملگرهای فازی و تفکیک کننده فشار و حداکثر تولید نفت در مخازن نفتی بهره بردند. روش‌های ژئوفیزیک اکتشافی اغلب اطلاعات با ارزشی از چگونگی رفتار سیالات و خواص فیزیکی درون زمین در اختیار ما قرار می‌دهند. در دو دهه اخیر صنعت نفت شاهد افزایش چشم‌گیری در به‌کارگیری روش‌های آماری و سیستم‌های هوشمند برای تخمین پارامترهای مخزنی با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای بوده است. ایده تخمین نگارهای چاه‌پیمایی با استفاده از ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای اولین بار توسط [۱۱] مطرح گردید. تاکنون مطالعات موردی متعددی با به‌کارگیری آنالیزهای چند نشانگری بر روی سنگ منشأ صورت گرفته است که می‌توان به مراجع [۱۵-۱۲] اشاره نمود. این مطالعه بر روی سازند پابده در میدان نفتی منصوری انجام شده است. این سازند در ۴۵ km جنوب اهواز قرار دارد و از روند زاگرس تبعیت کرده و تقریباً در مرز صفحه عربی و زاگرس قرار گرفته است (شکل ۱). این میدان در افق آسماری دارای طول حدود ۴۲ km و به‌طور متوسط عرض ۴/۵ km می‌باشد. براساس نقشه‌های حاصل از پیمایش لرزه‌نگاری و نقشه‌های ساختمانی زیرزمینی تهیه شده، می‌توان میدان نفتی منصوری را تاقدیسی کشیده با دامنه‌های ملایم و کم شیب در راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق در نظر گرفت.

1. TOC (Total Organic Carbon)

2. MI (Maturity Index)

3. Metaheuristic



شکل ۱ موقعیت زمین‌شناسی میدان نفتی منصور و میادین نفتی همجوار آن [۲۱].

$$S = W * r + n \quad (1)$$

که در آن S نشان‌دهنده رد لرزه‌ای، W نشان‌دهنده موجک لرزه‌ای، r نشان‌دهنده ضریب بازتاب، n نشان‌دهنده نوفه و علامت * نشان‌دهنده عملگر هم‌میخت می‌باشد. وارون‌سازی لرزه‌ای می‌تواند فرآیند تعیین ضریب بازتاب برای محاسبه امیدانس صوتی، در نظر گرفته شود. یک بازتاب لرزه‌ای زمانی رخ می‌دهد که امیدانس صوتی تغییر کند. در طی فرآیند وارون‌سازی لرزه‌ای پس از ایجاد لرزه‌نگاشت مصنوعی، موجک لرزه‌ای در محدوده افق‌های لرزه‌ای تعیین شده، استخراج می‌گردد و سپس با استفاده از الگوریتم‌های مختلف وارون‌سازی، مقطع داده‌های لرزه‌ای به نگارهای امیدانس صوتی تبدیل می‌شود. نمودار نمادین مراحل مختلف وارون‌سازی در شکل ۳ نشان داده شده است. الگوریتم‌های وارون‌سازی لرزه‌ای شامل وارون‌سازی بر پایه مدل، وارون‌سازی باند محدود، وارون‌سازی خارهای پراکنده، وارون‌سازی لرزه‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند [۱۶]. از میان شبکه‌های عصبی طراحی شده در مطالعات علوم زمین به ویژه مطالعات نفت و گاز کاربرد داشته‌اند می‌توان به شبکه عصبی احتمالاتی^۲ [۱۶] اشاره نمود. شبکه عصبی احتمالاتی حالت خاصی از شبکه‌های عصبی تابع پایه شعاعی می‌باشد [۱۷].

مقطع نمونه پابده در تنگ پابده در جنوب شرق کوه پابده واقع در شمال میدان نفتی لالی است (شکل ۲). در این مطالعه سعی شد تا با تلفیق نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های لرزه‌ای دو بعدی، با کم‌ترین خطای ممکن، شاخص بلوغ در امتداد خطوط لرزه‌ای موجود تخمین زده شود.

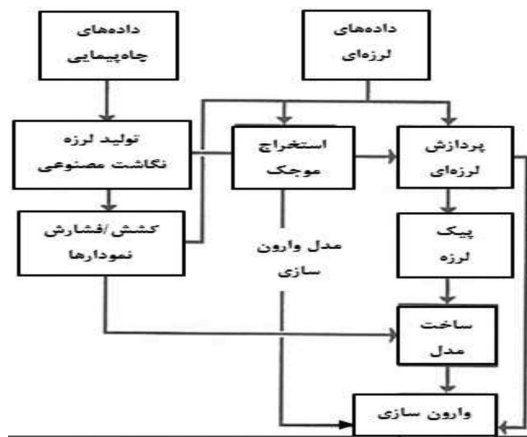
مواد و روش‌ها

وارون‌سازی لرزه‌ای

از آنجائی‌که وارون‌سازی یکی از ابزارهای استخراج اطلاعات ارزنده از داده‌های لرزه‌ای می‌باشد، توجه به تکنیک‌های وارون‌سازی لرزه‌ای به‌طور پیوسته و یکنواخت در طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. هدف اصلی وارون‌سازی لرزه‌ای تبدیل داده‌های انعکاس لرزه‌ای به پارامتری قابل اندازه‌گیری و توصیف کننده مخزن (یا سازند مورد مطالعه) می‌باشد. وارون‌سازی پس از برانبارش^۱ فرآیند محاسبه مدل امیدانس زیر سطحی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای بر انبارش شده می‌باشد. به عبارت دیگر وارون‌سازی با به کارگیری داده‌های لرزه‌ای، زمین‌شناسی ایجاد کننده این پاسخ‌های لرزه‌ای را تعیین می‌کند [۱۶]. مدل اساسی که وارون‌سازی بر پایه آن صورت می‌گیرد مدل واهمامیخت می‌باشد. واهمامیخت فرآیند تغییر شکل موج بر اثر گذر از یک فیلتر خطی مانند زمین را بررسی می‌کند و به‌صورت معادله ۱ نشان داده می‌شود:

1. Post Stack Seismic Inversion

2. Probabilistic Neural Network, PNN

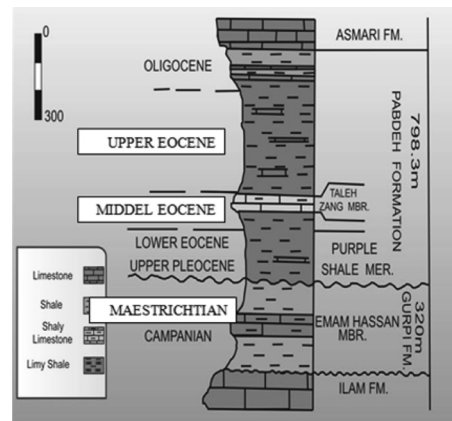


شکل ۳ نمودار نمادین مراحل مختلف وارون‌سازی لرزه‌ای [۱۶].

سمت راست را انتخاب می‌کنند چون اثر فرومون بالاتر است. این حقیقت در مرحله تبخیر افزایش خواهد یافت. بهینه‌سازی کلونی مورچگان یک روش نوین بهینه‌سازی هوشمند محاسبه‌ای است که در ابتدا از مشاهده مورچه‌ها الهام گرفته است [۷]. بهینه‌سازی کلونی مورچگان را برای حل مسائل بهینه‌سازی درون الگوریتم فراابتکاری فرمول نویسی کردند. الگوریتم فراابتکاری شاخه‌ای از علوم کامپیوتر می‌باشد و یک روش محاسبه‌ای جهت بهینه‌سازی تابع شایستگی، از طریق بهبود راه حل موجود انتخاب می‌کند. الگوریتم ACO دارای شش ترکیب مهم است که شامل اجزاء، واحد ارزیابی شایستگی، موقعیت اجزاء، سرعت تحقیق، تبخیر و ترشح می‌باشد. هر راه حل انتخابی در فضای مسئله یک جزء نامیده می‌شود. به عبارت دیگر جزء در ACO مصنوعی نقش مورچه‌ها را بازی می‌کند. موقعیت و سرعت تحقیق ویژگی‌های هر جزء هستند. مرحله‌ای که ACO می‌تواند به‌عنوان بهترین راه حل پیدا کند این شرایط را نشان می‌دهد: ابتدا مقادیر موقعیت و سرعت تحقیق برای هر جزء به صورت تصادفی نمایان می‌شود. الگوریتم به هر جزء اجازه حرکت به تمام فضای مسئله را می‌دهد. هم‌زمان، الگوریتم شکلی از ویژگی‌های اجزاء را ثبت می‌کند و مقدار شایستگی را برای هر جزء ارزیابی می‌کند.

1. Sigma

2. ACO (Ants Colony Optimization)

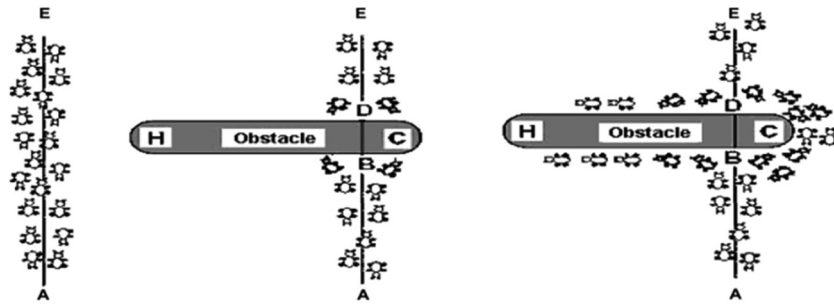


شکل ۲ برش نمونه سازند پابده در تنگ پابده [۲۲].

در این روش هر خروجی جدید به‌عنوان ترکیب خطی از داده‌های آموزشی در نظر گرفته می‌شود. وقتی شبکه احتمالاتی آموزش می‌یابد یک سری از سیگماها را پیدا می‌کند که خطای تخمین را کمینه کند.

بهینه‌سازی کلونی مورچگان^۲

زندگی مورچه‌ها توجه بسیاری از محققان را به دلیل رفتار اجتماعی خاصشان جلب کرده است. یکی از رفتارهای شگفت‌انگیز آنها توانایی پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر از غذا به لانه است. زیست‌شناسان معتقدند که این حقیقت می‌تواند ناشی از ترشح مایعی خاص، به‌نام فرومون در مسیرشان باشد. فرومون یک ماده شیمیایی بد بو است که مورچه‌ها می‌توانند ترشح کنند، بنابراین به کمک این ماده مسیرهای مناسب برای سایر بخش‌های کلونی نشان داده می‌شود. در حقیقت هنگامی که مقدار فرومون در مسیر بالا باشد احتمال انتخاب مسیر افزایش می‌یابد. هر مورچه مسیرش را براساس مقدار فرومون انتخاب می‌کند. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، هنگامی که مورچه‌ها با یک مانع روبرو می‌شوند، برای هر مورچه احتمال یکسانی وجود دارد که مسیر چپ یا راست را انتخاب کند. با توجه به اینکه مسیر سمت راست کوتاه‌تر از سمت چپ است به زمان کمتری نیاز داشته و با سطح فرومون بیشتری پایان خواهد یافت. اکثر مورچه‌ها مسیر



شکل ۴ یافتن کوتاه‌ترین مسیر اطراف یک مانع توسط مورچه‌ها [۲۳].

در پایان این مرحله اجزاء با شایستگی بالاتر برای تولید کلونی بعدی انتخاب می‌شوند. سپس موقعیت و سرعت تحقیق اجزاء با مقدار شایستگی بیشتر برای محیط تولید می‌شود.

بحث و نتایج

پژوهش اخیر جهت تخمین شاخص بلوغ از وارون‌سازی لرزهای و کاربرد روش کلونی مورچگان در میدان نفتی منصوری می‌باشد. به همین منظور، رابطه شاخص بلوغ که توسط ژائو و همکاران در سال ۲۰۰۷ [۲] جهت تعیین بلوغ حرارتی سنگ منشأ با استفاده از نگارهای چاه‌پیمای معرفی شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی بلوغ حرارتی بایستی از پارامترهای پتروفیزیکی مناسب که نسبت به تغییرات بلوغ حساس هستند، استفاده نمود. بنابراین نگارهای چگالی، نوترون، صوتی و مقاومت جهت محاسبه شاخص بلوغ به کار گرفته شد. ژائو و همکارانش توسط روش‌های آزمایشگاهی برای محاسبه شاخص بلوغ، تخلخل کل و تخلخل مؤثر نمونه‌های مغزه را اندازه‌گیری نمودند و اعداد حاصله را با تخلخل محاسبه شده از لاگ چگالی در عمق معادل مغزه مقایسه نموده و یک حد برش برای داده‌های حاصل از چگالی تعیین نمودند. از این رو، برای دست‌یابی به تخلخل مؤثر سنگ منشأ داده‌های با تخلخل چگالی کمتر از ۰.۹ را از محاسبات حذف شدند. رابطه شاخص بلوغ بر مبنای تغییرات پتروفیزیکی در نتیجه افزایش بلوغ به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود [۲]:

$$MI = \sum_{i=1}^N \left(\frac{N}{\phi_{d91}(1 - S_w)^{1/2}} \right) \quad (2)$$

تعداد کل نمونه‌هایی که تخلخل لاگ چگالی آنها ۰.۹ یا بیشتر و آب اشباع شدگی کمتر از ۰.۷۵ است. مقدار ϕ_{d91} تخلخل نوترون نمونه‌هایی است که تخلخل لاگ چگالی آنها ۰.۹ یا بیشتر است. مقدار S_{w75i} مقدار آب اشباع شدگی نمونه‌های انتخاب شده است وقتی که لاگ چگالی بیشتر از ۰.۹ و آب اشباع شدگی کمتر از ۰.۷۵ است. با در دست داشتن مقاومت آب سازندی و لاگ مقاومت عمیق سازند می‌توان آب اشباع شدگی (S_w) سازند را طبق معادله آرچی که در رابطه ۳ آمده است [۱۸]:

$$S_{wi} = \left(\frac{R_w}{\phi_{d91}^m R_t} \right)^{1/2} \quad (3)$$

که در آن R_w مقدار مقاومت ویژه آب سازندی به اهم متر است؛ ϕ_{d91} مقدار تخلخل ماتریکس حاصل از لاگ چگالی می‌باشد ($\phi_{d91} = \phi_d - 9\%$)؛ R_t مقدار مقاومت واقعی سازند و m فاکتور سیمانی شدن را نشان می‌دهد. مقاومت واقعی سازند با اعمال تصحیحات بر روی لاگ مقاومت عمیق سازند قابل محاسبه است. همانند تخلخل، یک حد برش ۰.۷۵ برای داده‌های آب اشباع شدگی نیز تعیین شد. بنابراین داده‌های با آب اشباع شدگی بیش از ۰.۷۵، فقیر از ماده آلی بوده و در محاسبات لحاظ نشدند. پس از محاسبه شاخص بلوغ از نگارها، به منظور وارون‌سازی و تخمین شاخص بلوغ از داده‌های لرزهای اطلاعات مربوط به چاه‌های ۱۴، ۲۰ و ۲۱ از میدان منصوری شامل نگارهای چاه‌پیمایی، مختصات چاه، عمق و ضخامت سازند مورد مطالعه، داده‌های شوت-کنترل و داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از تابع شاخص بلوغ در بخش ژئوویدو نرم‌افزار HRS وارد گردید.

با لرزه برای چاه ۲۰ نشان داده شده است که طبق آن میزان تطابق بین لرزه نگاشت بین لرزه نگاشت مصنوعی (پرنگ-تر) و رد لرزه مرکب (کم-رنگ-تر)، ۰/۸۲ می‌باشد. پس از ایجاد مدل امپدانس صوتی الگوریتم‌های مختلف وارون‌سازی لرزه‌ای موجود در نرم‌افزار HRS مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج وارون‌سازی لرزه‌ای نشان داد که شبکه عصبی بهترین نتیجه تخمین امپدانس صوتی را در میدان نشان می‌دهد. در شکل ۷ امپدانس صوتی واقعی و وارون‌سازی شده با استفاده از شبکه عصبی در چاه ۲۰ نشان داده شده است.

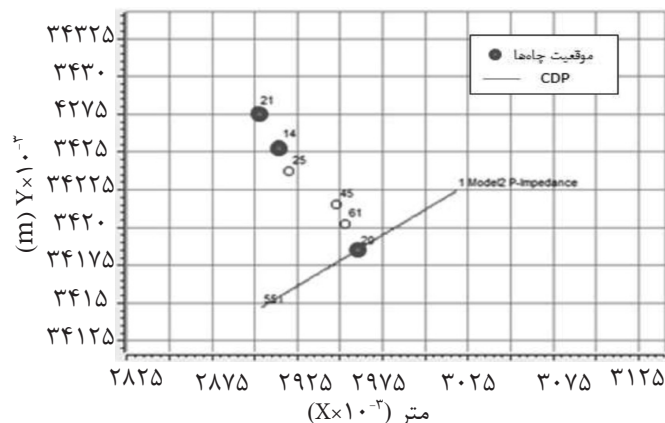
تعیین نشانگرهای لرزه‌ای بهینه

به‌طور معمول، هدف اصلی استفاده از روش‌های زمین‌آماری و مدل‌های هوشمند یافتن روابط خطی و غیرخطی موجود بین داده‌های ورودی و خروجی می‌باشد. به همین منظور باید ارتباط منطقی بین پارامتر ورودی و هدف وجود داشته باشد. در این بخش از تحقیق، ارتباط فیزیکی بین داده‌های ورودی (نشان‌گرهای لرزه‌ای) و داده‌های خروجی (پارامتر ژئوشیمیایی) از طریق آنالیز رگرسیون چندگانه حاصل شد. آنالیز رگرسیون چندگانه یک روش ساده و عملی برای یافتن بهترین ورودی‌ها جهت پیشگویی پارامتر هدف می‌باشد.

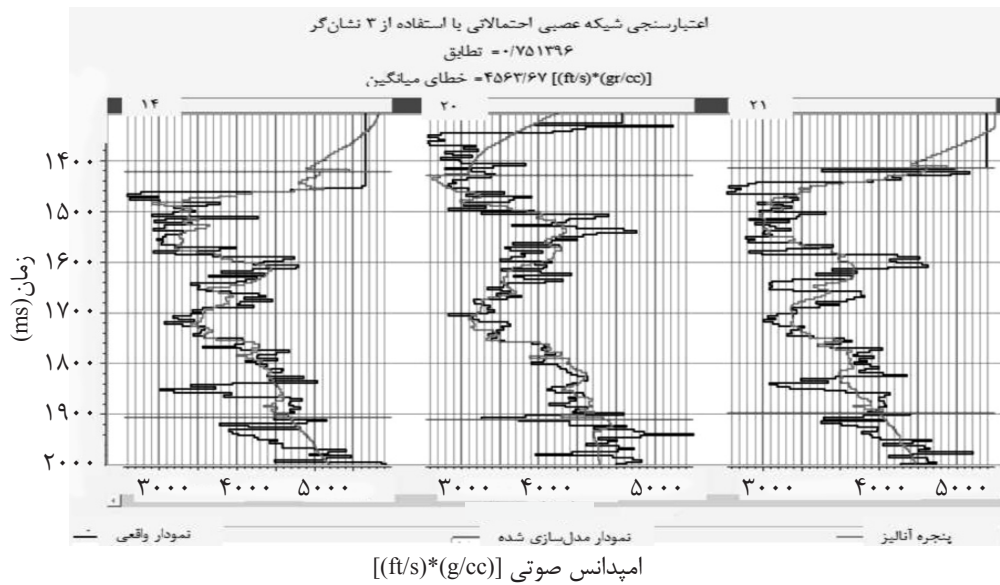
دلیل انتخاب چاه‌های نامبرده، در دسترس بودن نگارهای صوتی و چگالی از سازند پایده می‌باشد. اطلاعات لرزه‌ای به کار رفته در این مطالعه شامل داده‌های لرزه‌ای پس از برانبارش دو بعدی می‌باشد. مختصات چاه‌ها بر روی خط لرزه‌ای ۸۴۹- چاه ۲۰ در شکل ۵ نشان داده شده است.

تطابق چاه با داده‌های لرزه‌ای

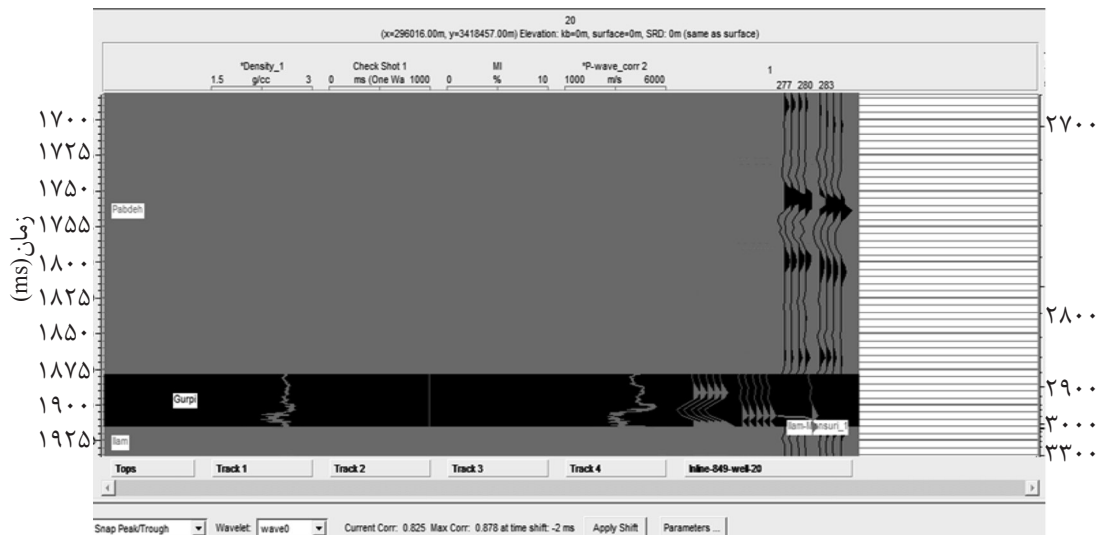
در مرحله اول مطالعه، داده‌های چاه با داده‌های لرزه‌ای تطابق داده شد. لرزه نگاشت مصنوعی برای چاه‌های ۱۴، ۲۰ و ۲۱ ساخته شد. به منظور ساخت نگار امپدانس صوتی سرعت صوت در مقدار چگالی کل ضرب شد، سپس ضریب بازتاب محاسبه شده و با هم‌میخت^۱ موجک لرزه‌ای، لرزه نگاشت مصنوعی ایجاد گردید. هرچه موجک لرزه‌ای استخراج شده مناسب‌تر باشد، ارتباط بهتری حاصل می‌شود. در این مطالعه استخراج موجک از داده‌های چاه صورت گرفت. پس از استخراج موجک در تک تک چاه‌ها یک موجک لرزه‌ای میانگین استخراج گردید تا بهترین تطابق در محل همه چاه‌ها حاصل شود. برای تبدیل عمق به زمان از نگارهای چاه، داده‌های شوت-کنترل چاه‌های ۱۴، ۲۰ و ۲۱ استفاده شد. از افق‌های لرزه‌ای برای ایجاد تطابق ما بین چاه‌ها استفاده می‌شود. در شکل ۶ نمونه‌ای از ارتباط چاه



شکل ۵ موقعیت چاه‌ها بر روی خط لرزه‌ای ۸۴۹- چاه ۲۰.



شکل ۷ مقایسه امپدانس صوتی واقعی و وارون سازی شده با استفاده از شبکه عصبی احتمالاتی در چاه ۲۱ و ۲۰، ۱۴ میدان نفتی منصوری.



شکل ۶ نمونه‌ای از تطابق داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه‌پیمایی در چاه ۲۰.

معنی نیست که نشانگرهای بیشتر علائم درست را برای رسیدن به نگار هدف پیشگویی می‌کنند. خطای اعتبارسنجی می‌تواند به‌عنوان یک معیار اندازه‌گیری جهت جلوگیری از افزایش نشانگرها به مجموعه داده‌های ورودی مطرح شود [۱۹]. اغلب نتیجه اعتبارسنجی به شکل نمودار نشان داده می‌شود.

از این رو، نشانگرهای چندگانه براساس آنالیز رگرسیون انتخاب شدند و در ساخت مدل شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج آنالیز رگرسیون برای پیشگویی شاخص بلوغ در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس جدول ۱، افزودن نشانگرهای لرزه‌ای پیشگویی را بهبود می‌بخشد. این همیشه به این

جدول ۱ لیست نشانگرهای چندگانه جهت پیشگویی شاخص بلوغ: نتیجه وارون سازی، فرکانس میانگین، فیلتر ۲۵/۳۰-۱۵/۲۰.

شماره نشانگر	هدف	نشانگر لرزه‌ای نهایی	خطای آموزش (% وزنی)	خطای اعتبارسنجی (% وزنی)
۱	شاخص بلوغ	نتیجه وارون سازی	۱/۶۰۵۱۰۹	۲/۰۷۳۰۴۳
۲	شاخص بلوغ	فرکانس میانگین	۰/۹۱۰۷۲۸	۱/۳۶۶۶۵۳
۳	شاخص بلوغ	فیلتر ۱۵/۲۰-۲۵/۳۰	۰/۸۰۱۲۸۴	۱/۱۴۷۴۴۵

مقطع لرزه‌ای نشان‌دهنده توزیع مقادیر شاخص بلوغ تخمین زده شده از روش شبکه عصبی احتمالاتی برای سازند پاینده در اطراف چاه‌های میدان منصوری در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

اجرای کلونی مورچگان جهت تخمین شاخص بلوغ با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای

در این بخش یک طرح کلی برای تخمین شاخص بلوغ و تولید یک مقطع لرزه‌ای با استفاده از روش کلونی مورچگان ارائه گردید. بدین‌منظور ابتدا در بخش ایمرج داده‌های آموزشی با فرمت ASCII برای کلونی مورچگان با استفاده از شبکه عصبی احتمالاتی حاصل شد.

مجموعه داده‌ها شامل ۱۳۶ داده آموزشی از چاه‌های ۱۴، ۲۰ و ۲۱ جهت ساخت مدل استفاده شد. نرمالایز کردن امر مهمی است که می‌تواند جهت تولید بهتر داده، بر روی داده‌ها اعمال شود. پس از انتخاب داده‌های ورودی، داده‌ها بین ۰ و ۱ براساس معادله زیر نرمالایز شدند. با فرض اینکه برای اجرای کلونی مورچگان غیرخطی n پارامتر ورودی X_i وجود دارد، می‌توان از رابطه ۴ جهت تخمین نهایی شاخص بلوغ استفاده نمود:

$$t(x_1, x_2, \dots, x_n) = \alpha_1 \cdot x_1^{\beta_1} + \alpha_2 \cdot x_2^{\beta_2} + \dots + \alpha_n \cdot x_n^{\beta_n} + \alpha_{n+1} \quad (4)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ضرایب معادله و α_{n+1} ثابت معادله می‌باشند و $\beta_1, \beta_2, \beta_n$ توان‌های معادله غیرخطی هستند. تابع هدف توسط کلونی مورچگان طبق رابطه ۵ بهینه‌سازی شد:

$$MSE = 1/m \sum_{i=1}^m (y_i - t(x_{ij}))^2 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

MSE میانگین مربع خطا، m تعداد داده‌های پیشگویی شده و n تعداد پارامترهای ورودی برای پیشگویی شاخص بلوغ می‌باشد. در این مطالعه برای اجرای کلونی مورچگان غیرخطی ابتدا ۱۰۰ مورچه تولید شد و مقدار فرمون اولیه ۰/۲ در نظر گرفته شد. کلونی مورچگان غیرخطی برای پیشگویی شاخص بلوغ با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای، از رابطه ۶ استفاده نمود:

$$MI_{CAO(nlm)} = \alpha_1^* (Res)^{\beta_1} + \alpha_2^* (Ave.Fre)^{\beta_2} + \alpha_3^* (Fil)^{\beta_3} + \alpha_4 \quad (6)$$

1. Inversion Result

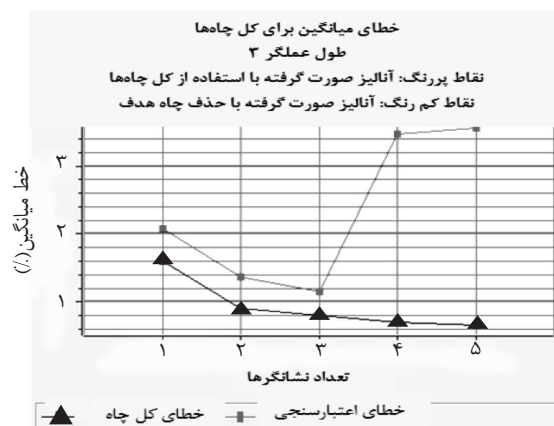
2. DT

نمودارهای اعتبارسنجی مربوط به میدان مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. براساس جدول ۱، سه نشانگر نتیجه وارون‌سازی، فرکانس میانگین و فیلتر ۲۵/۳۰-۱۵/۲۰ می‌توانند به‌عنوان ورودی‌های بهینه در پیشگویی شاخص بلوغ انتخاب شوند. امپدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای^۱ در اصل حاصل ضرب سرعت صوت در چگالی کل می‌باشد. با توجه به اینکه در اثر افزایش بلوغ حرارتی، ماده آلی سازند از جامد به مایع و در درجات بالای بلوغ به گاز تغییر فاز می‌دهد، سرعت عبور صوت^۲ و چگالی سازند هر دو کاهش می‌یابند. بنابراین می‌توان گفت که شاخص بلوغ تابع معکوسی از امپدانس صوتی می‌باشد. نشانگر فرکانس میانگین میرایی فرکانس ناهنجار را نشان می‌دهد و به موجب آن می‌توان حضور زون‌های هیدروکربن‌دار را نشان داد [۲۰].

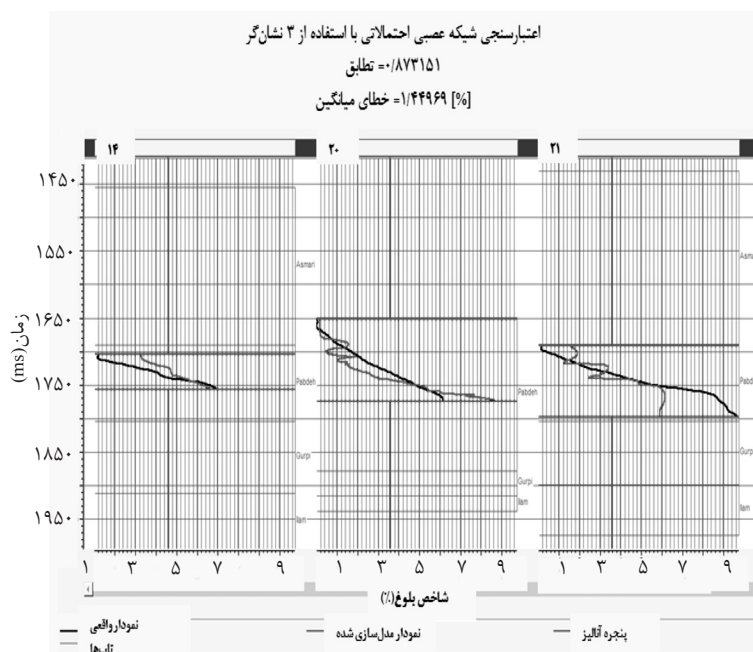
فیلتر ۲۵/۳۰-۱۵/۲۰ یک فیلتر فرکانس دوزنقه‌ایست و همانند فرکانس میانگین عمل می‌کند. همچنین به موجب آن می‌توان زون‌های هیدروکربن‌دار را شناسایی و تغییرات MI را براساس تغییرات دامنه نشان دهد. در این مطالعه با بررسی مقادیر طول عملگر مختلف بهترین نتایج با کم‌ترین خطا، طول عملگر ۳ به دست آمد.

طراحی شبکه عصبی احتمالاتی جهت تخمین شاخص بلوغ با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای

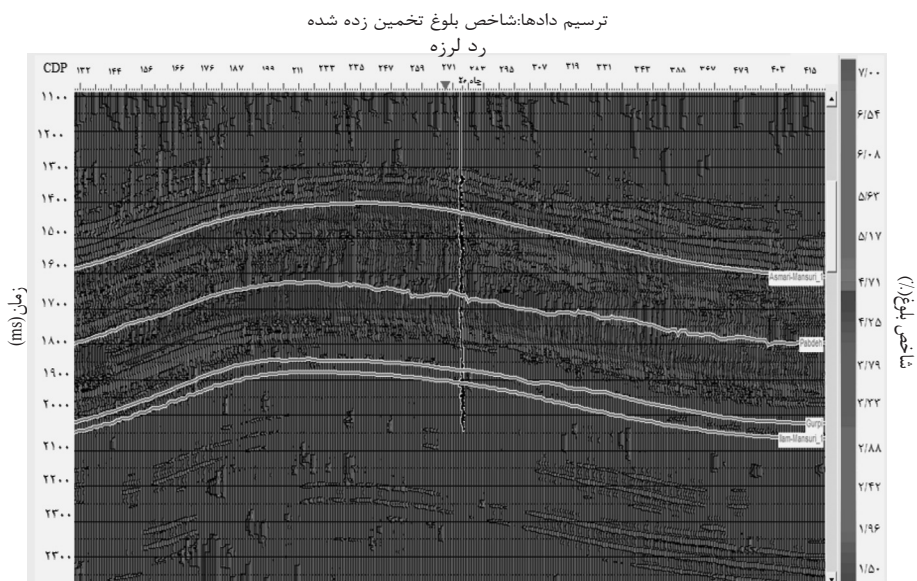
در این مرحله برای بررسی روابط غیرخطی موجود بین داده‌های ورودی و خروجی یک مدل شبکه عصبی احتمالاتی برای داده‌های خروجی با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای انتخاب شده از آنالیز رگرسیون ایجاد گردید. سپس با استفاده از مدل شبکه عصبی احتمالاتی ایجاد شده و با استفاده از ۳ نشانگر لرزه‌ای بهینه، کل مقطع لرزه‌ای به مقادیر شاخص بلوغ تبدیل شد. براساس شکل ۹ میزان همبستگی بین مقادیر مطلوب و پیشگویی شده و خطای میانگین اعتبارسنجی با استفاده از مدل شبکه عصبی احتمالاتی به ترتیب ۰/۸۷ و ۱/۴٪ وزنی می‌باشد.



شکل ۸ نمودار اعتبارسنجی برای داده‌های میدان منصوری. نمودار خطای اعتبارسنجی کم‌رنگ‌تر نشان داده شده است.



شکل ۹ تطابق بین MI مطلوب (نمودار پررنگ‌تر) و MI تخمین زده شده (نمودار کم‌رنگ‌تر) از روش شبکه عصبی احتمالاتی برای داده‌های اعتباری.



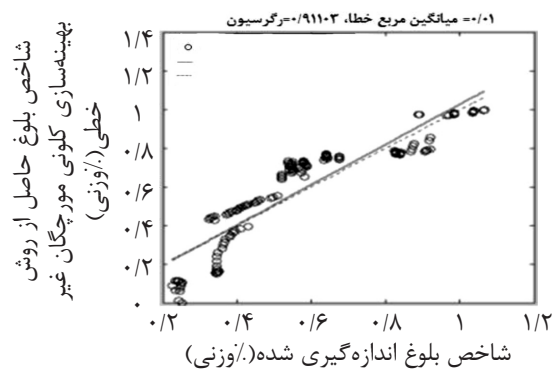
شکل ۱۰ مقطع لرزه‌ای نشان‌دهنده تغییرات مقادیر MI تخمین زده شده از روش PNN برای سازند پاینده در چاه شماره ۲۰ میدان منصوری.

نشانگرهای لرزه‌ای و شاخص بلوغ حاصل از مدل کلونی مورچگان بیشتر از مدل شبکه عصبی احتمالاتی است. برای تولید یک مقطع لرزه‌ای از کلونی مورچگان غیرخطی، ابتدا در بخش ProMc نرم‌افزار HRS سه نشانگر لرزه‌ای نتیجه وارون‌سازی، فرکانس میانگین و فیلتر ۲۵/۳۰-۱۵/۲۰ با فرمت SEG-Y حاصل شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار VISTA که یک نرم‌افزار پیشرفته در پردازش داده‌های لرزه‌ای می‌باشد، نشانگرهای لرزه‌ای از فرمت SEG-Y به فرمت ASCII که برای انجام عملیات ساده‌تر است، تبدیل شد. سپس داده‌های تبدیل شده را به نرم‌افزار متلب برده و آنها را نرمالایز نموده و ضرائب وزنی به‌دست آمده در نشانگرها اعمال شد و شاخص بلوغ طبق معادله ۷ برای آنها محاسبه گردید:

$$MI_{CAO(nlin)} = 0.608 * (Res)^{0.832} + (-0.512) * (Ave Fre)^{1.69} + (-0.038) * (Fil)^{0.261} + 0.492 \quad (7)$$

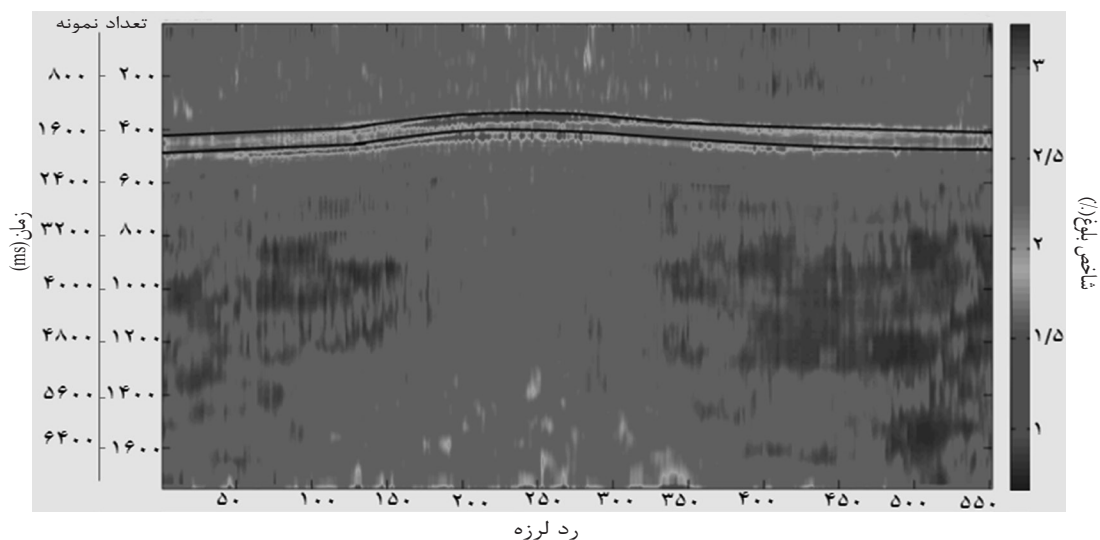
در انتها با استفاده از کلونی مورچگان غیرخطی برای ۵۵۱ رد لرزه یک مقطع لرزه‌ای شاخص بلوغ تولید شد. در شکل ۱۲ مقطع لرزه‌ای مقادیر شاخص بلوغ پیشگویی شده با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان نشان داده شده است.

α_1 و β_1 ، α_2 و β_2 ، α_3 و β_3 مقادیر ضرائب وزنی و نمایی برای ورودی‌های لرزه‌ای شامل نتیجه وارون‌سازی، فرکانس میانگین و فیلتر ۲۵/۳۰-۱۵/۲۰ هستند. α_4 ثابت معادله می‌باشد. $MI_{CAO(nlin)}$ شاخص بلوغ پیشگویی شده از روش کلونی مورچگان غیرخطی می‌باشد. بعد از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان (شکل ۱۱)، ضرائب وزنی بهینه شده برای تولید آخرین خروجی (MI) استفاده شدند. براساس شکل ۱۱ مقدار ضریب همبستگی و مقدار میانگین مربع خطا بین MI واقعی و MI پیشگویی شده از کلونی مورچگان برای داده‌های ورودی به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۰۱ حاصل شد.



شکل ۱۱ تطابق بین MI مطلوب و MI پیشگویی شده با استفاده از روش ACO.

مقادیر مشتق شده از ACO برای α_1 ، β_1 و α_2 و α_3 ، β_2 و β_3 به ترتیب ۰/۶۰۸، ۰/۸۳۲، ۰/۵۱۲، ۰/۱۶۹، ۰/۰۳۸، ۰/۲۶۱ و ۰/۴۹۲ محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین



شکل ۱۲ مقطع لرزه‌ای نشان‌دهنده تغییرات مقادیر MI پیشگویی شده با استفاده از روش ACO.

نتیجه گیری

به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۰۱ حاصل شد. مقایسه نتایج حاصل از روش‌های شبکه عصبی احتمالاتی و کلونی مورچگان نشان داد که دقت مدل کلونی مورچگان برای تخمین شاخص بلوغ از داده‌های لرزه‌ای بالاتر می‌باشد. کلونی مورچگان، مقادیر وزنی را برای α_1 و β_1 ، α_2 و β_2 ، α_3 و β_3 و α_4 به ترتیب ۰/۶۰۸، ۰/۸۳۲، ۰/۵۱۲، ۰/۱۶۹، ۰/۰۳۸، ۰/۲۶۱ و ۰/۴۹۲ محاسبه نمود. در انتها با استفاده از ضرائب وزنی حاصل از کلونی مورچگان غیرخطی برای ۵۵۱ رد لرزه یک مقطع لرزه‌ای شاخص بلوغ تولید شد. نتایج این پژوهش نشان داد تخمین شاخص بلوغ با استفاده از داده‌های لرزه‌ای، علاوه بر کاهش هزینه‌های اکتشاف و جلوگیری از اتلاف وقت و انرژی، مشکل کمبود چاه‌های حفاری شده و محدودیت خرده‌های حفاری برای آنالیزهای آزمایشگاهی را از بین می‌برد. همچنین نشان داد روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان می‌تواند به‌عنوان روشی سریع و کم‌هزینه جهت تخمین و ارزیابی شاخص بلوغ به‌کار برده شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب به‌دلیل حمایت مالی و تهیه داده و اجازه برای نشر نتایج این تحقیق کمال تشکر را دارند.

هدف اصلی این پژوهش تخمین شاخص بلوغ از نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای سازند پایده در میدان نفتی منصوری بود. به همین منظور ابتدا با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی نوترون، مقاومت، صوتی و چگالی، بلوغ حرارتی محاسبه شد و به‌عنوان ورودی آنالیز چند نشانگری مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، ارتباط فیزیکی بین نشانگرهای لرزه‌ای و شاخص بلوغ از طریق آنالیز رگرسیون چندگانه حاصل شد. نشانگرهای چندگانه براساس آنالیز رگرسیون انتخاب شدند و در ساخت مدل شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج شاخص بلوغ تخمین زده شده با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای با بکارگیری مدل شبکه عصبی احتمالی، نشان داد که میزان همبستگی بین داده‌های مطلوب و مقادیر تخمین زده شده در میدان منصوری ۸۷٪ می‌باشد که با میانگین خطای تخمین ۱/۴٪ وزنی همراه می‌باشند. همچنین در این پژوهش، الگوریتم کلونی مورچگان غیر خطی برای تخمین شاخص بلوغ از نشانگرهای نتیجه وارون‌سازی، فرکانس میانگین و فیلتر ۲۵/۳۰-۱۵/۲۰ ایجاد شد. مقدار ضریب همبستگی و مقدار میانگین مربع خطا بین داده‌های ورودی و خروجی

مراجع

- [1]. Mallick R. K. and Raju S. V., "Thermal maturity evaluation by sonic log and seismic velocity analysis in parts of Upper Assam Basin, India," Org. Geochemistry, Vol. 23, No. 10, pp. 871-879, 1995.
- [2]. Zhao H., Natalie B. G. and Brad C., "Thermal maturity of the Barnett Shale determined from well-log analysis," AAPG Bulletin, Vol. 91, No. 4, pp. 535-549, 2007.
- [3]. Shiri M., Ranjbar Karami R., Moussavi Harami R. and Rezaee M. R., "Evaluation of organic carbon content and source rock maturity using petrophysical logs and geochemical data: Case study of horn valley siltstone source rock, amadeus basin, Central Australia," Journal of Zankoy Sulaimani - Part A (JZS-A), pp.145-158, 2013.
- [4]. Kamali M. R. and Mirshady A. A., "Total organic carbon content determined from well logs using $\Delta\log R$ and neuro fuzzy techniques," Journal of Petroleum Science and Engineering., Vol. 45, pp. 141-148, 2004.
- [5]. Kadkhodaie Ilkhchi A., Rahimpour Bonab H. and Rezaee M. R., "A committee machine with intelligent systems for estimation of total organic carbon content from petrophysical data: an example from Kangan and Dalan reservoirs

- in South Pars Gas Field, Iran*,” Journal of Comput. Geosci., Vol. 35, pp. 459-474, 2009.
- [6]. Colonn A., Dorigo M., Maffioli F., Maniezzo V. and Righini G. M., “*Heuristics from nature for hard combinatorial optimization problems*,” Int. Trans. Oper. Res. 3, pp. 1–21, 1996.
- [7] Dorigo M. and Di Caro G., “*Ant colony optimization: a new metaheuristic*,” In: Proceeding of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, Vol. 2, pp. 1470–1477, 1999.
- [8]. Dorigo M. and Stützle T., “*Ant colony optimization*,” MIT Press, Cambridge, MA, USA. p. 319, 2004.
- [9]. Dorigo M. and Gambardella L. M., “*Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem*,” IEEE Transactions on Evolutionary Computation, pp. 53–66, 1997.
- [10]. Razavi S. F. and Jalali Farahani F., “*Optimization and parameters estimation in petroleum engineering problems using ant colony algorithm*,” Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol.74, pp. 147-153, 2010.
- [11]. Schultz P. S., Ronen S., Hattori M. and Corbett C., “*Seismic guided estimation of log properties, part 1: A data-driven interpretation technology*,” The Leading Edge, Vol. 13, pp. 305–315, 1994.
- [12]. Løseth H., Wensasa L., Gading M., Duffaut K. and Springer M., “*Can hydrocarbon source rocks be identified on seismic data?*,” Doi: 10.1130/G32328.1., Geology, Vol. 39, pp. 1167-1170, 2011.
- [13]. Jianliang J., Zhaojun L., Qingtao M., Rong L., Pingchang S. and Yongcheng C., “*Quantitative evaluation of oil shale based on well log and 3-D seismic technique in the songliao basin, Northeast China*,” Estonian Academy Publishers, Vol. 29, No. 2, pp. 128-150, 2012.
- [14]. Kadkhodaie Ilkhchi A., Rezaee M. R., Rahimpour Bonab H., and Chehrizi A., “*Petrophysical data prediction from seismic attributes using committee fuzzy inference system*,” Computers and Geosciences, Vol. 35, No. 12, pp. 2314-2330, 2009b.
- [۱۵]. علیزاده ب.، ولینسب ج.، کدخدائی ع.، کبرائی م.، “مقایسه داده‌های پتروفیزیکی با ژئوشیمیایی در تعیین شاخص بلوغ و کل کربن آلی،” سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۲.
- [16]. “*HRS User’s Guide*,” 2007
- [17]. “*MATLAB User’s Guide*,” 2009
- [18]. Archie G. E., “*Introduction to petrophysics of reservoir rocks*,” AAPG Bulletin, Vol. 34, No. 5, pp. 943–961, 1950.
- [19]. Russell, B.H., “*The application of multivariate statistics and neural networks to the prediction of reservoir parameters using seismic attributes*,” Ph.D. Dissertation, University of Calgary, Alberta, p.392, 2004.
- [20]. Taner, M.T., Schuelke, J.S., O’Doherty, R., Baysal, E., “*Attributes revisited*,” SEG (Society of Exploration Geophysicists) Expanded Abstracts 13, pp. 1104–1107, 1994.
- [21]. Bolandi, V., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Alizadeh, B., Tahmorasi, J., Farzi, R., “*Source Rock characterization of the Albian Kazhdumi formation by integrating well logs and geochemical data in the Azadegan oilfield, Abadan plain, SW Iran*,” Journal of Petroleum Science and Engineering, 133, 167-176, 2015.
- [22]. James, G.A., Wynd, I.O., “*Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area*,” AAPG, Bulletin, Vol. 49, No. 12 , pp. 2182-2245, 1965.
- [23]. Toksarı M.D., “*Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey*,” Energy Policy, 35, 3984–3990, 2007.