پیش‌گویی داده‌های ژئوشیمیایی از نگارهای چاه‌پیمایی و نشان‌گرهای لرزه‌ای با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان در میدان نفتی منصوری

هدی عبدی‌زاده [۱*]، علی کدخدایی [۲]، علی احمدی [۱] و محمدحسین حیدری‌فرد [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 نفت‌خیز جنوب، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۰

چکیده

محتوای کل کربن آلی مهم‌ترین فاکتور ژئوشیمیایی برای ارزیابی سنگ منشأ محسوب می‌شود. با در نظر گرفتن کمبود داده‌های محتوای کل کربن آلی در مناطق اکتشافی و پرهزینه و وقت‌گیر بودن آنالیز راک- ایول، توسعه یک روش نوین برای تخمین مستقیم این پارامتر از لاگ‌های چاه‌پیمایی و داده‌های لرزه‌ای هدف این مطالعه است. در این مطالعه، داده‌های لرزه‌ای دوبعدی و داده‌های پتروفیزیکی سازند پابده از چهار چاه میدان نفتی منصوری استفاده شدند. همچنین روش ΔLog R برای پیش‌گویی محتوای کل کربن آلی از داده‌های پتروفیزیکی به کار رفت. مقادیر کل کربن آلی محاسبه‌شده به‌عنوان ورودی آنالیز چندنشان‌گری، برای یافتن ارتباط منطقی با نشان‌گرهای لرزه‌ای، استفاده شدند. در این مطالعه وارون‌سازی لرزه‌ای براساس الگوریتم شبکه عصبی به‌دلیل دقت بالا اجرا و امپدانس صوتی به‌دست‌آمده به‌عنوان نشان‌گر بیرونی استفاده شد. سپس شبکه عصبی احتمالاتی با استفاده از نشان‌گرهای پیشگویی‌شده از رگرسیون چندگانه آموزش داده شد. متعاقباً کل کربن آلی با ضریب تطابق ۷۵٪ به‌کمک نشان‌گرهای لرزه‌ای تخمین زده شد. در مرحله بعدی پژوهش، روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان غیرخطی به‌عنوان یک ابزار هوشمند برای تخمین و تولید یک مقطع لرزه‌ای کل کربن آلی از نشان‌گرهای لرزه‌ای به کار رفت. کلونی مورچگان غیرخطی ضرایب وزنی را برای نشان‌گرهای لرزه‌ای محاسبه کرد. در انتها با استفاده از این ضرایب و داشتن نشان‌گرهای لرزه‌ای، یک مقطع لرزه‌ای کل کربن آلی تولید شد.

کلمات کلیدی: کل کربن آلی، نگارهای چاه‌پیمایی، وارون‌سازی لرزه‌ای، شبکه عصبی احتمالاتی، بهینه‌سازی کلونی مورچگان

*مسئول مکاتبات

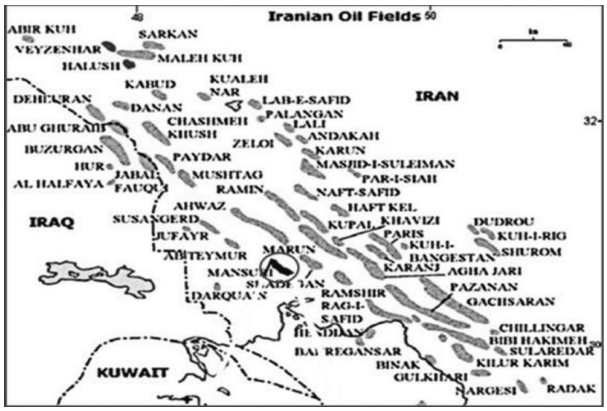
آدرس الکترونیکی hoda_abdizadeh@pgs.usb.ac.ir

مقدمه

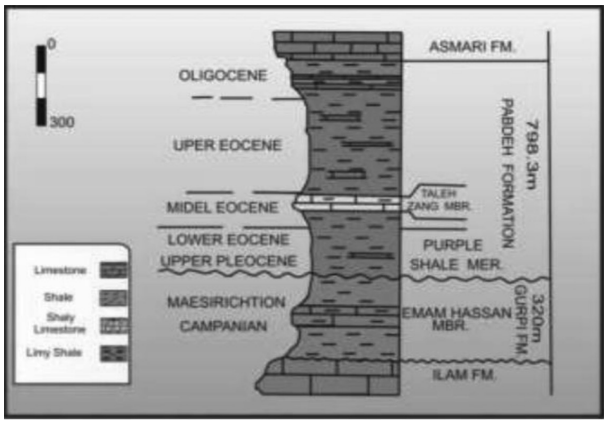
یافتن راه‌کارهای کاربردی برای کاهش هزینه‌های اکتشاف و تسریع ارزیابی‌های اولیه سنگ منشأ را می‌توان کمکی مؤثر در اکتشافات نفتی در نظر گرفت. یکی از پارامترهای اصلی سنگ منشأ که بر تولید اقتصادی هیدروکربن اثر می‌گذارد مقدار کل کربن آلی[1] است که می‌توان آن را با روش‌های ژئوشیمیایی مانند پیرولیز راک- ایول تخمین زد، اما به دلیل هزینه بالای آن و وجود ناپیوستگی در برداشت مغزه‌ها، تنها تعداد محدودی از نمونه‌ها با این روش آنالیز می‌شوند. تاکنون محققان متعددی سعی کرده‌اند، با توجه به تأثیر ماده آلی بر روی پاسخ نگارهای چاه‌پیمایی، با تلفیق نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های ژئوشیمیایی، پارامتر ارزشمند محتوای کل کربن آلی را تخمین بزنند. در مرجع ۱، با استفاده از نگارهای تخلخل (سونیک، چگالی و نوترون) و گاما یک مدل فیزیکی برای تعیین پاسخ نگار به ویژگی‌های سنگ منشأ ارائه شد. در مرجع ۲ از روش هوشمند نرو- فازی برای تخمین مقدار محتوای کل کربن آلی سازند پابده استفاده و عملکرد آن با روش ΔLog R مقایسه شد. در مرجع ۳ مدلی پیشرفته و بهینه برای تخمین محتوای کل کربن آلی با تلفیق سیستم‌های مختلف هوشمند و مفهوم ماشین گروهی ارائه شد. بهینه‌سازی کلونی مورچگان[2][۴] یکی از جدیدترین و مقتدرترین روش‌ها برای بهینه‌سازی تقریبی است که به‌عنوان یک روش نوین الهام گرفته از طبیعت برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی مطرح شده است[۵]. منشأ بهینه‌سازی کلونی مورچگان رفتار جستجوگر مورچه‌های واقعی است. در سال‌های اخیر، صنعت نفت از بهینه‌سازی کلونی مورچگان در حل مسائل بهینه‌سازی استفاده کرده[۶] و این روش برای تعیین تعداد بهینه عملگرهای فازی و تفکیک‌کننده فشار و حداکثر تولید نفت در مخازن نفتی به کار رفته است. جزییات بیشتر درباره بهینه‌سازی کلونی مورچگان را می‌توان در مراجع ۷ و ۸ دید. روش‌های ژئوفیزیک اکتشافی اغلب اطلاعات باارزشی از چگونگی رفتار سیالات و خواص فیزیکی درون زمین در اختیار قرار می‌دهند. در دو دهه اخیر صنعت نفت شاهد افزایش چشم‌گیر به‌کارگیری روش‌های آماری و سیستم‌های هوشمند برای تخمین پارامترهای مخزنی با استفاده از نشان‌گرهای لرزه‌ای بوده است. تاکنون مطالعات موردی متعددی با به‌کارگیری آنالیزهای چندنشان‌گری بر روی سنگ منشأ انجام شده‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: برای اولین بار در دنیا کل محتوای کربن آلی از داده‌های لرزه‌ای برآورد شد[۹]؛ با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی و آنالیزهای چندنشانگری لرزه‌ای محتوای کل کربن آلی در افق شیلی با دقت قابل‌قبولی مدل‌سازی شد[۱۰] و برای انجام آنالیزهای چندنشان‌گری و تخمین مقادیر تخلخل و آب اشباع‌شدگی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای در میدان نفتی ابوذر یک سیستم استنتاج فازی گروهی به کار رفت[۱۱].

این مطالعه بر روی سازند پابده در میدان نفتی منصوری انجام شده است. این ساختمان 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 است. براساس نقشه‌های حاصل از پیمایش لرزه‌نگاری و نقشه‌های ساختمانی زیرزمینی تهیه‌شده، می‌توان میدان نفتی منصوری را تاقدیسی کشیده با دامنه‌های ملایم و کم‌شیب در راستای شمال غرب- جنوب شرق در نظر گرفت. مقطع نمونه پابده در تنگ پابده در جنوب شرق کوه پابده واقع در شمال میدان نفتی لالی است (شکل ۲). در برش نمونه از پایین به بالا شامل بخش‌های شیل ارغوانی، شیل و آهک رسی، آهک رسی همراه با نودول‌های چرتی، شیل‌های تیره با لایه آهکی پراکنده در قاعده و آهک‌های رسی لایه نازک با تناوبی از شیل است.

1. Total Organic Carbon (TOC)
2. Ant Colony Optimization (ACO)



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی میدان نفتی منصوری و میادین نفتی همجوار آن[۲۰].



شکل ۲ برش نمونه سازند پابده در تنگ پابده[۲۱].

در این مطالعه سعی شد با تلفیق نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های لرزه‌ای دوبعدی، با کم‌ترین خطای ممکن، مقادیر کل کربن آلی در امتداد خطوط لرزه‌ای موجود تخمین زده شوند.

مواد و روش‌ها

وارون‌سازی لرزه‌ای

از آنجایی‌که وارون‌سازی یکی از ابزارهای استخراج اطلاعات ارزنده از داده‌های لرزه‌ای است، در سال‌های اخیر توجه به تکنیک‌های آن به‌شکلی پیوسته و یکنواخت افزایش یافته است. هدف اصلی وارون‌سازی لرزه‌ای تبدیل داده‌های انعکاس لرزه‌ای به پارامتری قابل‌اندازه‌گیری و توصیف‌کننده مخزن (یا سازند موردمطالعه) است. وارون‌سازی پس از برانبارش[1] فرآیند محاسبه مدل امپدانس زیر سطحی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای بر انبارش‌شده است.

به‌عبارت دیگر وارون‌سازی، با به‌کارگیری داده‌های لرزه‌ای، رخ‌دادهای زمین‌شناسی ایجادکننده این پاسخ‌های لرزه‌ای را تعیین می‌کند[۱۲]. مدل اساسی که وارون‌سازی بر پایه آن صورت می‌گیرد مدل واهمامیخت[2] است. واهمامیخت فرآیند تغییر شکل موج بر اثر گذر از یک فیلتر خطی مانند زمین را بررسی می‌کند که به‌صورت معادله ۱ نشان داده می‌شود:

$$S = W \times r + n \qquad (1)$$

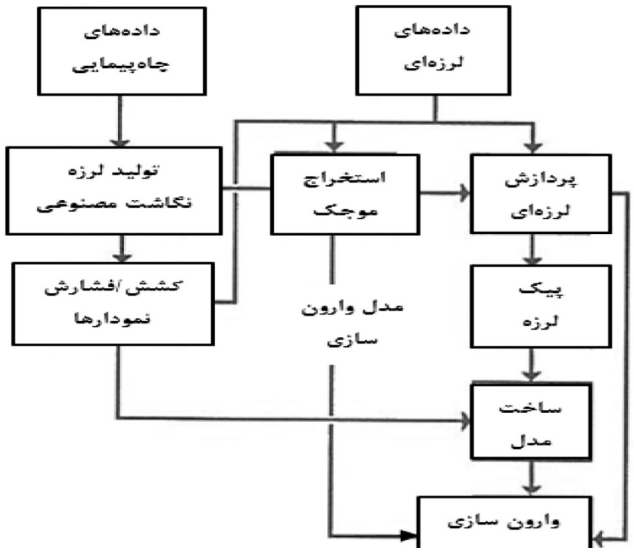
وارون‌سازی لرزه‌ای فرآیند تعیین ضریب بازتاب برای محاسبه امپدانس صوتی در نظر گرفته می‌شود و طی آن، پس از ایجاد لرزه‌نگاشت مصنوعی، موجک لرزه‌ای در محدوده افق‌های لرزه‌ای تعیین‌شده استخراج

1. Post Stack Seismic Inversion
2. Deconvolution
3. Converlution

و سپس، با استفاده از الگوریتم‌های مختلف وارون‌سازی، مقطع داده‌های لرزه‌ای به نگارهای امپدانس 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 و وارون‌سازی لرزه‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند[۱۲]. از میان شبکه‌های عصبی طراحی‌شده در مطالعات علوم زمین که به‌ویژه مطالعات نفت و گاز کاربرد داشته‌اند می‌توان به شبکه عصبی احتمالاتی[1][۱۲] اشاره کرد که حالت خاصی از شبکه‌های عصبی تابع پایه شعاعی است[۱۳]. در این روش هر خروجی جدید به‌عنوان ترکیب خطی از داده‌های آموزشی در نظر گرفته می‌شود. وقتی شبکه احتمالاتی آموزش داده می‌شود، یک‌سری از سیگماها[2] را پیدا می‌کند تا خطای تخمین را کمینه کند.

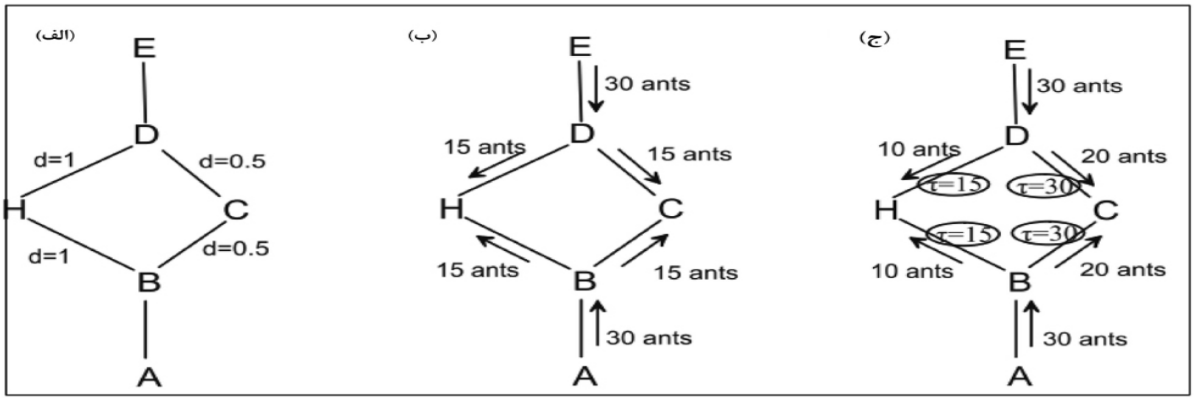
الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان

در سال ۱۹۹۲ مارکو دوریگو روش بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها را، که برگرفته از زندگی واقعی مورچه‌ها در طبیعت است، ارائه کرد[۱۴]. الگوریتم کلونی مورچه‌ها از هوش مصنوعی جمعی بهره برده و بر این اصل بنا شده که تعاملات محلی و ساده اعضای یک دسته جمعیت با محیط به یک رفتار جمعی هوشمندانه منتهی می‌شود. نکته حائز اهمیت در زندگی کلونی مورچگان، توانایی سازگاری مورچه‌ها با تغییرات محیط پیرامونشان است. به‌عنوان مثال زمانی که کوتاه‌ترین مسیر به دلیل وجود یک مانع بسته شده باشد، مورچه‌ها کوتاه‌ترین مسیر جدید را پیدا می‌کنند. شکل ۴ نشان می‌دهد که چه طور مورچه‌های مصنوعی کوتاه‌ترین مسیر را انتخاب می‌کنند[۸]. فاصله مسیرهای DH =BH برابر با یک و DC = BC برابر با ۰/۵ است (شکل ۴- الف). فرض کنیم در هر واحد ۳۰ مورچه از A به B و ۳۰ مورچه از E به D می‌روند و هر مورچه با سرعت ۱ در هر واحد گام برمی‌دارد و هنگام گام برداشتن اثر فرومون با شدت ۱ بر جا می‌گذارد. در t =0 هیچ اثر فرومونی وجود ندارد و ۳۰ مورچه در B و ۳۰ مورچه در D با احتمال یکسان مسیرها را انتخاب می‌کنند. بنابراین ۱۵ مورچه از هر گره به سمت H و ۱۵ مورچه به سمت C خواهند رفت (شکل ۴- ب). بعد از یک واحد، چون فواصل B–H–D= 2 و B–C– D =1 هستند، شدت فرومون روی مسیر B–H–D برابر با ۱۵ و روی مسیر B–C–D برابر با ۳۰ است.



شکل – نمودار نمادین مراحل مختلف وارون‌سازی لرزه‌ای[۱۲].

1. Probabilistic Neural Network (PNN)
2. Sigma



شکل ۴ نمودار کلونی مورچه برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر: الف) فواصل مسیر؛ ب) هنگامی‌که t=0 باشد، هیچ اثر فرومونی روی مسیرها وجود ندارد و مورچه‌ها مسیرهای B–H–D و D B–C را با احتمال یکسان انتخاب می‌کنند و ج) هنگامی‌که t = 1 باشد، شدت فرومون روی مسیر D B–C بیشتر از مسیر B–H–D است و اکثر مورچه‌ها تمایل دارند مسیر D B–C را انتخاب کنند.

بنابراین هنگامی که ۳۰ مورچه از A به B و یا از E به D حرکت می‌کنند، به‌طور میانگین، ۲۰ مورچه مسیر C و ۱۰ مورچه مسیر H را انتخاب می‌کنند. از این رو بیشتر مورچه‌ها تمایل دارند مسیر کوتاه‌تر D B–C را انتخاب کنند (شکل ۴- ج). این فرآیند ادامه می‌یابد تا زمانی که سرانجام همه مورچه‌ها مسیر کوتاه‌تر B-C-D را انتخاب کنند. الگوریتم کلی بهینه‌سازی کلونی مورچگان در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس این شکل روند الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه را سه عمل برنامه‌ریزی‌شده مدیریت می‌کند[۱۴]: مرحله اول به طور عمده شامل شروع اثر فرومون است. در مرحله دوم، هر مورچه یک راه حل کامل را برای مسئله براساس قانون تغییر حالت احتمالی ایجاد می‌کند. مرحله سوم مقدار فرومون به‌روز می‌شود. قانون به‌روزرسانی جهانی فرومون از دو جنبه کاربردی است: ابتدا، جزء فرومون تبخیر می‌شود و سپس هر مورچه مقداری فرومون متناسب با شایستگی راه حلش بر جا می‌گذارد. این فرآیند تا مشخص شدن معیار توقف تکرار می‌شود[۱۵].

بحث و نتایج

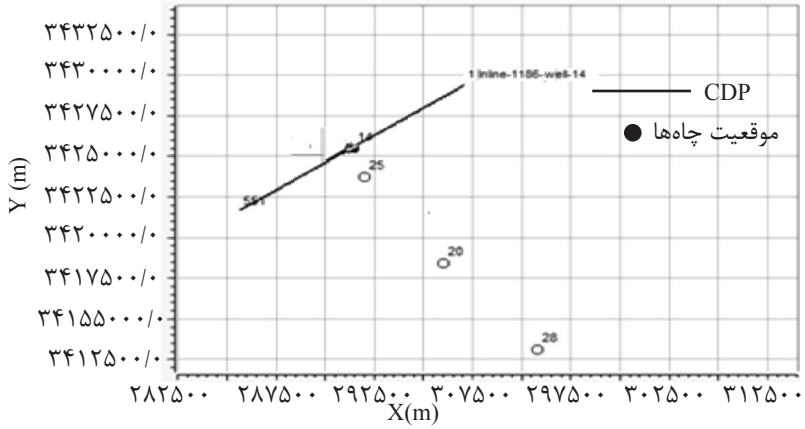
در این مطالعه به‌منظور تخمین محتوای کل کربن آلی از نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های لرزه‌ای ابتدا اطلاعات مربوط به چاه‌های ۱۴، ۲۰، ۲۵ و ۲۸ از میدان منصوری شامل نگارهای چاه‌پیمایی، مختصات چاه، عمق و ضخامت سازند موردمطالعه، داده‌های شوت-کنترل و داده‌های ژئوشیمیایی تهیه و به بخش ژئوویو نرم‌افزار HRS وارد شدند. دلیل انتخاب این چاه‌ها دردسترس بودن نگارهای صوتی و چگالی از سازند پابده است. در این مطالعه از روش Δlog R برای محاسبه داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شد. این روش را مرجع ۱۶ برای ارزیابی سنگ منشأ و نیز محاسبه درصد محتوای کل کربن آلی پیشنهاد کرده است. این روش تأثیر مواد آلی بر پاسخ نگارها را از طریق برهم‌اندازی نگارها (نگار مقاومت ویژه و تخلخل) به‌منظور تعیین غنای مواد آلی و بلوغ آن بررسی می‌کند. اطلاعات لرزه‌ای به‌کاررفته در این مطالعه شامل داده‌های لرزه‌ای پس از برانبارش دوبعدی هستند. مختصات چاه‌ها بر روی خط لرزه‌ای ۱۱۸۶- چاه ۱۴ در شکل ۶ نشان داده شده‌اند.

مرحله ۱: فرآیند آغازی: شروع اثر فرومون

مرحله ۲: ساخت راه حل: برای تکرار هر مورچه، ساخت راه حل با استفاده از اثر فرومون

مرحله ۳: به‌روزرسانی اثر فرومون تا توقف معیارها

شکل ۵ الگوریتم کلی ACO.



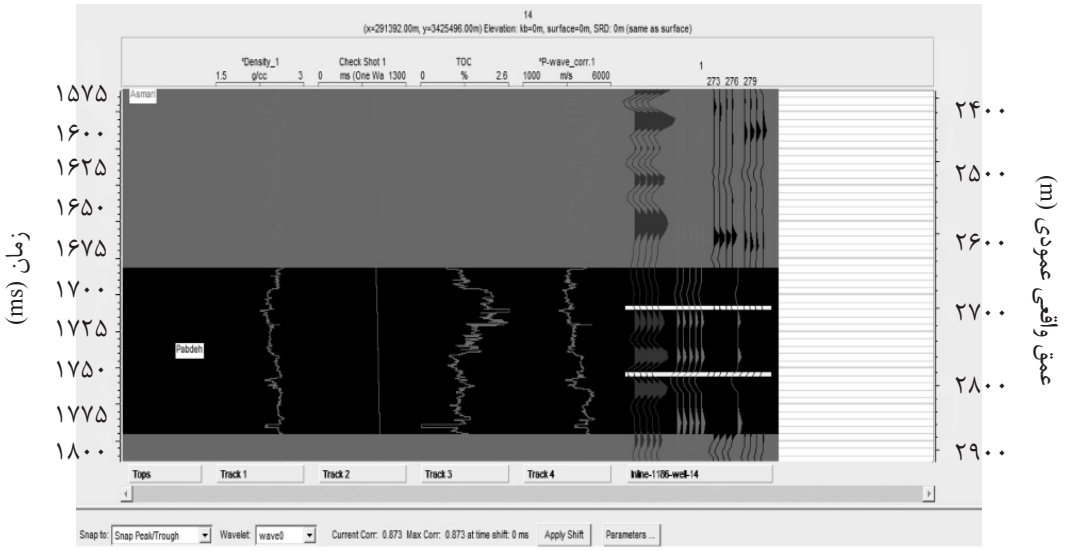
شکل ۶ مختصات چاه‌ها بر روی خط لرزه‌ای ۱۱۸۶- چاه ۱۴.

تطابق چاه با مقطع لرزه‌ای

در مرحله اول مطالعه، داده‌های چاه با داده‌های لرزه‌ای تطابق داده شدند. لرزه‌نگاشت مصنوعی برای چاه‌های ۱۴، ۲۰، ۲۵ و ۲۸ ساخته شد.

به‌منظور ساخت نگار امپدانس صوتی سرعت صوت در مقدار چگالی کل ضرب شد؛ سپس ضریب بازتاب محاسبه و با همامیخت موجک لرزه‌ای، لرزه‌نگاشت مصنوعی ایجاد شد. هر چه موجک لرزه‌ای استخراج‌شده مناسب‌تر باشد، ارتباط بهتری حاصل می‌شود. در این مطالعه موجک از داده‌های چاه استخراج شد. پس از استخراج موجک در تک‌تک چاه‌ها یک موجک لرزه‌ای میانگین استخراج شد تا بهترین تطابق در محل همه چاه‌ها به دست آید.

برای تبدیل عمق به زمان از نگارهای چاه، داده‌های شوت- کنترل چاه‌های ۱۴، ۲۰ و ۲۸ استفاده شدند. از افق‌های لرزه‌ای برای ایجاد تطابق بین چاه‌ها استفاده می‌شود. در شکل ۷ نمونه‌ای از ارتباط چاه با لرزه برای چاه ۱۴ نشان داده شده است که طبق آن مقدار تطابق لرزه‌نگاشت مصنوعی (پررنگ‌تر) و رد لرزه مرکب (کم‌رنگ‌تر) ۰/۸۷ است. پس از ایجاد مدل امپدانس صوتی الگوریتم‌های مختلف وارون‌سازی لرزه‌ای موجود در نرم‌افزار HRS استفاده شدند.



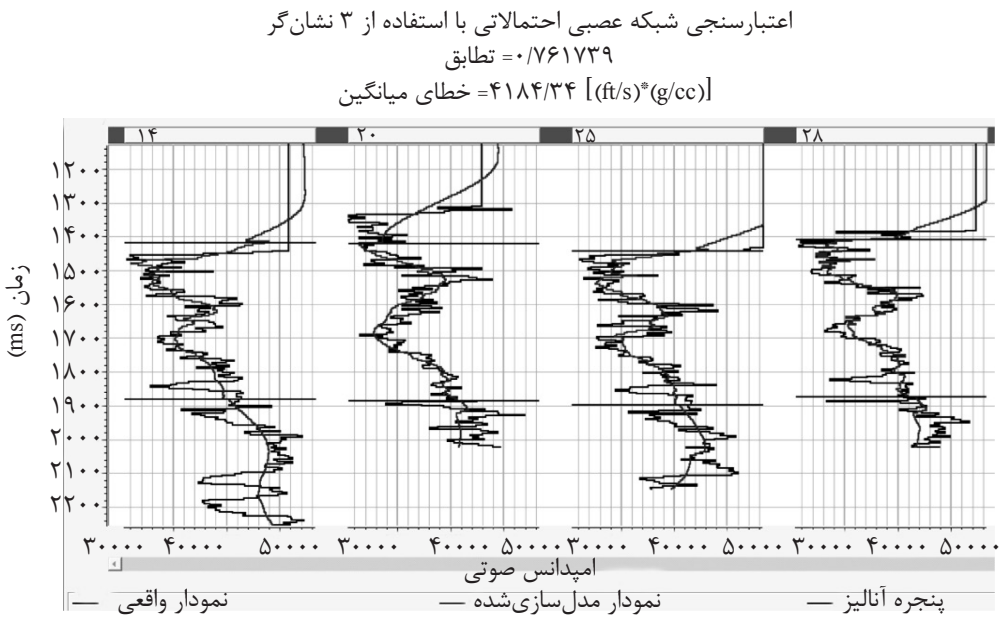
شکل ۷ نمونه‌ای از تطابق داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه‌پیمایی در چاه ۱۴ میدان منصوری.

نتایج وارون‌سازی لرزه‌ای نشان داد که شبکه عصبی بهترین نتیجه تخمین امپدانس صوتی را در میدان نشان می‌دهد. در شکل ۸ امپدانس صوتی واقعی و وارون‌سازی‌شده با استفاده از شبکه عصبی در چاه ۱۴ نشان داده شده است. براساس این شکل مقدار تطابق ۷۶٪ است.

تعیین نشان‌گرهای لرزه‌ای بهینه

به‌طور معمول هدف از به‌کارگیری روش‌های زمین‌آماری و مدل‌های هوشمند یافتن روابط خطی و غیرخطی موجود بین داده‌های ورودی و خروجی است. به همین منظور پارامتر ورودی و هدف باید ارتباط منطقی داشته باشند. در این بخش از تحقیق، ارتباط فیزیکی داده‌های ورودی (نشان‌گرهای لرزه‌ای) و داده‌های خروجی (پارامتر ژئوشیمیایی) با آنالیز رگرسیون چندگانه به دست آمد. آنالیز رگرسیون چندگانه یک روش ساده و عملی برای یافتن بهترین ورودی‌ها به‌منظور پیش‌گویی پارامتر هدف است. از این رو، نشانگرهای چندگانه براساس آنالیز رگرسیون انتخاب شدند و در ساخت مدل شبکه عصبی به کار رفتند. نتایج آنالیز رگرسیون برای پیشگویی کل کربن آلی در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

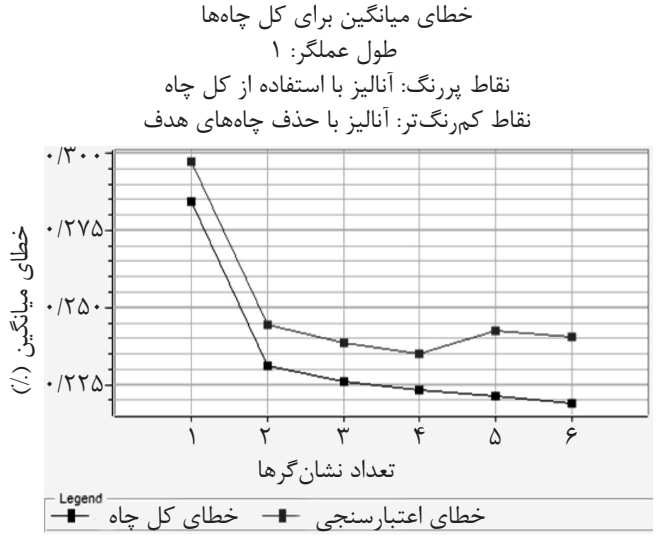
براساس جدول ۱، افزودن نشان‌گرهای لرزه‌ای پیش‌گویی را بهبود می‌بخشد. این همیشه به این معنی نیست که نشان‌گرهای بیشتر علائم درست را برای رسیدن به نگار هدف پیش‌گویی می‌کنند. خطای اعتبارسنجی می‌تواند یک معیار اندازه‌گیری برای جلوگیری از افزایش نشان‌گرها به مجموعه داده‌های ورودی باشد[۱۷]. اغلب نتیجه اعتبارسنجی به شکل نمودار نشان داده می‌شود. همان طور که گفته شد با افزایش تعداد نشان‌گرها در یک نقطه این نمودار افزایش نشان می‌دهد و تعداد بهینه نشان‌گرها تعیین می‌شود. نمودارهای اعتبارسنجی مربوط به میدان موردمطالعه در شکل ۹ نشان داده شده‌اند. براساس این شکل در میدان منصوری ۴ نشان‌گر بهینه تعیین شدند. همچنین براساس جدول ۱، چهار نشان‌گر فرکانس غالب، انتگرال قدر مطلق دامنه، نتیجه وارون‌سازی و پوش دامنه را می‌توان به‌عنوان ورودی‌های بهینه در پیش‌گویی کل کربن آلی انتخاب کرد. نشان‌گر فرکانس غالب میرایی فرکانس ناهنجار را نشان می‌دهد و به موجب آن می‌توان حضور زون‌های هیدروکربن‌دار را نشان داد[۱۸].



شکل ۸ مقایسه امپدانس صوتی واقعی (نمودار پررنگ‌تر) و وارون‌سازی‌شده (نمودار کم‌رنگ‌تر) با استفاده از PNN در چاه‌های ۱۴، ۲۰، ۲۵ و ۲۸ میدان نفتی منصوری. نتایج تخمین تطابق ۷۶٪ را نشان می‌دهند.

جدول ۱ لیست نشان‌گرهای چندگانه برای پیش‌گویی کل کربن آلی: فرکانس غالب، انتگرال قدر مطلق دامنه، نتیجه وارون‌سازی و پوش دامنه.

شماره نشان‌گر	هدف	نشان‌گر لرزه‌ای نهایی	خطای آموزش (٪ وزنی)	خطای اعتبارسنجی (٪ وزنی)
۱	کل کربن آلی	فرکانس غالب	۰/۲۸۴۴۵۱	۰/۲۹۷۳۱۶
۲	کل کربن آلی	انتگرال قدر مطلق دامنه	۰/۲۳۱۱۵۴	۰/۲۴۴۳۸۳
۳	کل کربن آلی	نتیجه وارون‌سازی	۰/۲۲۵۸۷۶	۰/۲۳۸۴۳۸
۴	کل کربن آلی	پوش دامنه	۰/۲۲۳۴۰۷	۰/۲۳۴۸۳۴



شکل ۹ نمودار اعتبارسنجی برای داده‌های میدان منصوری. نمودار خطای اعتبارسنجی کم‌رنگ‌تر نشان داده شده است. این نمودار، پس از اضافه شدن هر نشان‌گر، در یک نقطه افزایش نشان می‌دهد و بدین صورت تعداد بهینه نشان‌گرها تعیین می‌شود.

انتگرال قدر مطلق دامنه مجموع دامنه‌های رد لرزه در یک بازه پنجره است[۱۹] و همانند نشان‌گر انتگرال آنومالی‌های دامنه ایجادشده از تغییرات سنگ‌شناسی و تخلخل را نشان می‌دهد[۱۱]. امپدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای[1] در اصل حاصل‌ضرب سرعت صوت در چگالی کل است. با توجه به این که در اثر افزایش ماده آلی سازند، سرعت عبور صوت[2] و چگالی سازند هر دو کاهش می‌یابند، می‌توان گفت که مقدار ماده آلی تابع معکوسی از امپدانس صوتی است. پوش دامنه شاخص مهم تغییرات لیتولوژی و تجمعات مایع و گاز است[۱۸].

در این مطالعه با بررسی مقادیر مختلف طول عملگر بهترین نتایج با کم‌ترین خطا، طول عملگر ۱ به دست آمد.

طراحی شبکه عصبی احتمالاتی برای تخمین محتوای کل کربن آلی با استفاده از نشان‌گرهای لرزه‌ای

در این مرحله برای بررسی روابط غیرخطی بین داده‌های ورودی و خروجی، یک مدل شبکه عصبی احتمالاتی برای داده‌های خروجی با استفاده از نشان‌گرهای لرزه‌ای انتخاب‌شده از آنالیز رگرسیون ایجاد شد. سپس با استفاده از مدل شبکه عصبی ایجادشده و با استفاده از ۴ نشان‌گر لرزه‌ای بهینه، کل مقطع لرزه‌ای به مقادیر محتوی کل کربن آلی تبدیل شد. براساس شکل ۱۰ مقدار همبستگی مقادیر مطلوب (نمودار پررنگ‌تر) و پیش‌گویی‌شده (نمودار کم‌رنگ‌تر) با استفاده از نشان‌گرهای لرزه‌ای و خطای میانگین اعتبارسنجی در میدان منصوری با به‌کارگیری مدل PNN به‌ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۲۳ درصد وزنی است. مقطع لرزه‌ای نشان‌دهنده توزیع مقادیر محتوای کل کربن آلی تخمین‌زده‌شده برای سازند پابده در اطراف چاه‌های میدان منصوری در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مقیاس تیره و روشن در کنار مقطع نشان‌دهنده مقادیر TOC براساس درصد وزنی با محدوده تغییرات ۲-۰/۳ است. نتایج نشان می‌دهند که در قاعده سازند پابده تهی‌شدگی از مقادیر TOC مشاهده می‌شود.

اجرای کلونی مورچگان برای تخمین محتوای کل کربن آلی با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای

در این بخش یک طرح کلی برای تخمین محتوای کل کربن آلی و تولید یک مقطع لرزه‌ای با استفاده از روش کلونی مورچگان ارائه شد: ابتدا در بخش ایمرج داده‌های آموزشی با فرمت ASCII برای کلونی مورچگان با استفاده از شبکه عصبی احتمالاتی به دست آمد. مجموعه داده‌ها شامل ۳۹۱ داده آموزشی از چاه‌های ۱۴، ۲۰، ۲۵ و ۲۸ برای ساخت مدل استفاده شد. نرمالایز کردن امر مهمی است که می‌تواند برای تولید بهتر داده‌ها روی آنها اعمال شود. این کار به‌خصوص برای تولید محتوای کل کربن آلی مفید است. پس از انتخاب داده‌های ورودی، داده‌ها بین ۰ و ۱ براساس معادله زیر نرمالایز شدند. با فرض این که برای اجرای کلونی غیرخطی مورچگان n پارامتر ورودی X_i وجود دارد، می‌توان از معادله (۲) برای تخمین نهایی کل کربن آلی استفاده کرد:

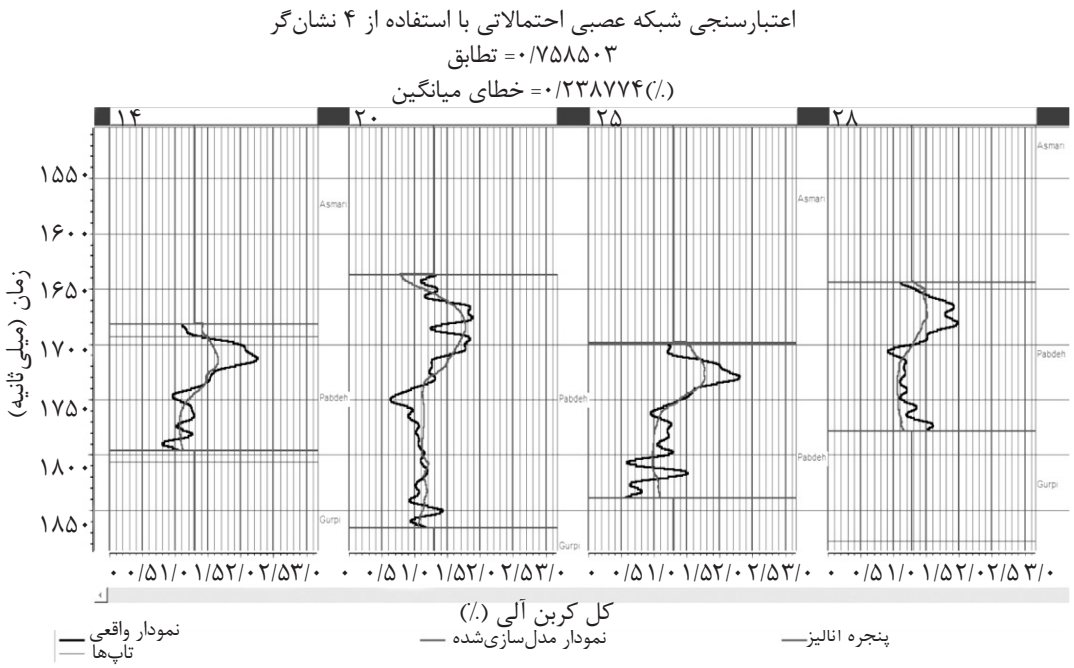
$$t(x_1,x_2,\ldots,x_n)= \alpha_1.x_1^{\beta 1}+ \alpha_2.x_2^{\beta 2}+\ldots+ \alpha_n.x_n^{\beta n}+ \alpha_{n+1} \quad (۲)$$

α_1، α_2، ...α_n ضرایب معادله و α_{n+1} ثابت معادله و β_1، β_2، β_n توان‌های معادله غیرخطی هستند. تابع هدف به‌کمک کلونی مورچگان به‌شکل زیر بهینه‌سازی شد:

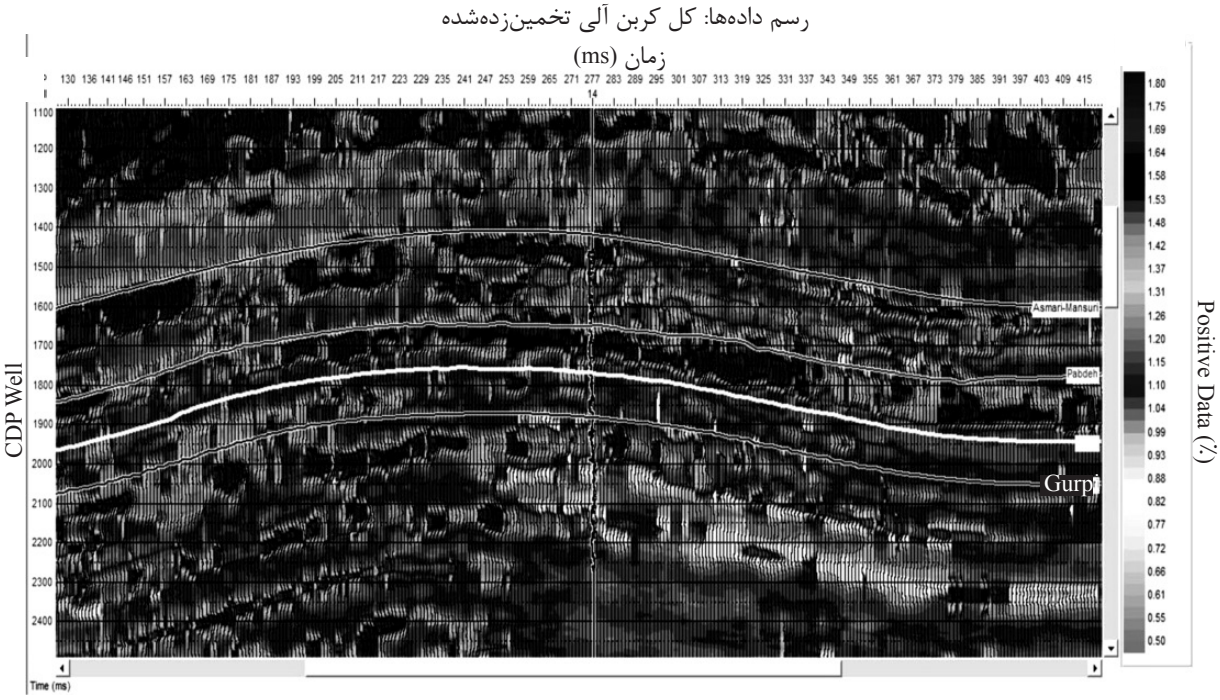
$$MSE = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\left(y_j - t(x_{ij})\right)^2 \quad i = 1,2,\ldots n \quad (۳)$$

MSE[3] میانگین مربع خطا، m تعداد داده‌های پیش‌گویی‌شده و n تعداد پارامترهای ورودی برای پیش‌گویی محتوای کل کربن آلی است. در این مطالعه برای اجرای کلونی مورچگان غیرخطی ابتدا ۱۰۰ مورچه تولید و مقدار فرومون اولیه ۰/۲ در نظر گرفته شد.

1. Inversion Result
2. DT
3. Mean Squared Error



شکل ۱۰ تطابق TOC مطلوب (نمودار پررنگ‌تر) و TOC تخمین‌زده‌شده (نمودار کم‌رنگ‌تر) با استفاده از نشان‌گرهای لرزه‌ای در میدان منصوری با به‌کارگیری روش PNN برای داده‌های اعتباری. همان طور که در این شکل دیده می‌شود، نتایج تخمین تطابق ۷۵٪ را نشان می‌دهند.



شکل ۱۱ مقطع لرزه‌ای نشان‌دهنده تغییرات مقادیر TOC تخمین‌زده‌شده به‌کمک PNN در سازند پابده در چاه ۱۴ میدان منصوری. مقیاس تیره و روشن در کنار مقطع نشان‌دهنده مقادیر TOC براساس درصد وزنی است.

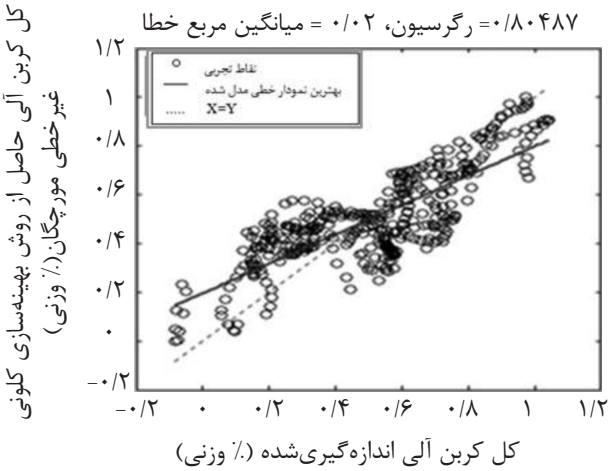
کلونی مورچگان غیرخطی به منظور پیشگویی محتوای کل کربن آلی از نشانگرهای لرزه ای استفاده نمود که در معادله(۵) نشان داده شده است:

$$TOC_{CAO(nlin)} = \alpha_1 \times (Do.Fr)^{\beta 1} + \alpha_2 \times (In.Ab.Am)^{\beta 2} + \alpha_3 \times (res)^{\beta 3} + \alpha_4 \times (Am.En)^{\beta 4} + \alpha_5 \quad (۴)$$

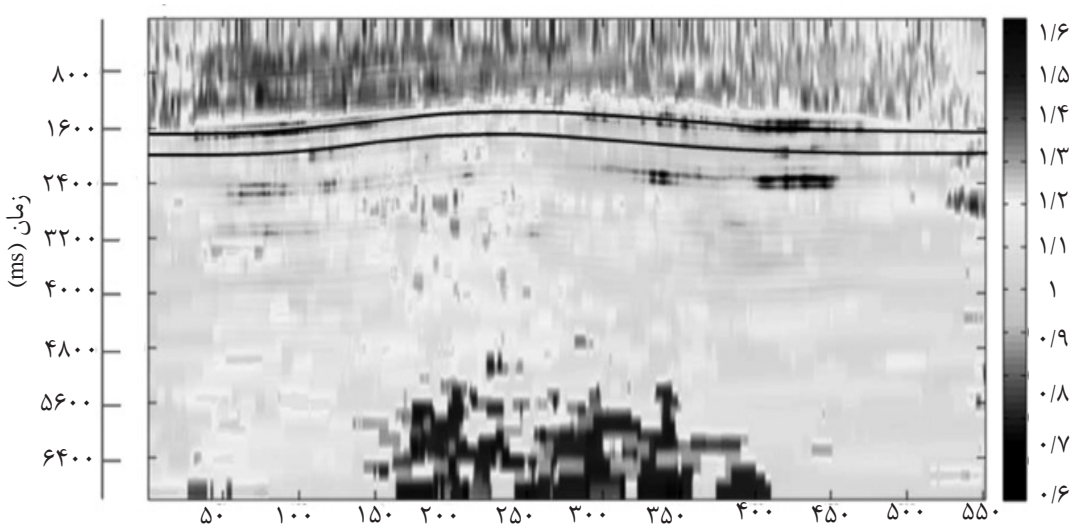
α_1، β_1، α_2، β_2، α_3، β_3، α_4 و β_4 مقادیر ضرایب وزنی و نمایی برای ورودی‌های لرزه‌ای شامل فرکانس غالب، انتگرال قدر مطلق دامنه، نتیجه وارون‌سازی و پوش دامنه هستند و α_5 ثابت معادله و $TOC_{CAO\ (nlin)}$ محتوای کل کربن آلی پیشگویی‌شده از روش کلونی مورچگان غیرخطی است. بعد از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان(شکل ۱۲)، ضرایب وزنی بهینه‌شده برای تولید آخرین خروجی (TOC) استفاده شدند. براساس شکل ۱۲ مقدار ضریب همبستگی و مقدار میانگین مربع خطا بین TOC واقعی و TOC پیش‌گویی‌شده از کلونی مورچگان برای داده‌های ورودی به‌ترتیب ۰/۸۰۴ و ۰/۰۲ به دست آمدند. مقادیر مشتق‌شده از TOC برای α_1 و β_1، α_2 و β_2، α_3 و β_3، α_4 و β_4 و α_5 به‌ترتیب (۱/۰۸۶)، (۰/۹۸۹)، (۰/۸۸۵)، (۰/۹۴۷)، (-۰/۳۱۳)، (۰/۳۵۶)، (۰/۳۵۷)، (۰/۷۰۶) و (۰/۳۴۵) محاسبه شدند. برای تولید یک مقطع لرزه‌ای از کلونی مورچگان غیرخطی، ابتدا در بخش ProMc نرم‌افزار HRS چهار نشانگر لرزه‌ای فرکانس غالب، انتگرال قدر مطلق دامنه، نتیجه وارون‌سازی و پوش دامنه با فرمت SEGY حاصل شدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار VISTA که یک نرم‌افزار پیشرفته در پردازش داده‌های لرزه‌ای است، نشان‌گرهای لرزه‌ای از فرمت SEGY به فرمت ASCII، که برای انجام عملیات ساده‌تر است، تبدیل شد. سپس داده‌های تبدیل‌شده به نرم‌افزار Matlab برده و نرمالایز شدند و ضرایب وزنی به‌دست‌آمده در نشان‌گرها اعمال شدند و TOC طبق معادله(۵) برای آنها محاسبه شد:

$$TOC_{CAO(nlin)} = 1.086 \times (Do.Fr)^{0.989} + (-0.885) \times (In.Ab.Am)^{0.947} + (-0.313) \times (res)^{0.356} + 0.357 \times (Am.En)^{0.706} + 0.345 \quad (۵)$$

در انتها با استفاده از کلونی مورچگان غیرخطی برای ۵۵۱ رد لرزه یک مقطع لرزه‌ای TOC تولید شد. در شکل ۱۳ مقطع لرزه‌ای مقادیر پیش‌گویی‌شده محتوای کل کربن آلی با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان نشان داده شده است. مقیاس تیره و روشن در کنار مقطع نشان‌دهنده مقادیر TOC براساس درصد وزنی با محدوده تغییرات ۱/۸-۰/۳ است. نتایج نشان می‌دهند که در قاعده سازند پابده محتوای کل کربن آلی کاهش یافته است.



شکل ۱۲ تطابق TOC مطلوب و TOC پیش‌گویی‌شده با استفاده از روش ACO.



شکل ۱۳ مقطع لرزه‌ای نشان‌دهنده تغییرات مقادیر TOC پیش‌گویی‌شده با استفاده از روش ACO. مقیاس تیره و روشن در کنار مقطع نشان‌دهنده مقادیر TOC براساس درصد وزنی است.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه تخمین مقادیر محتوای کل کربن آلی از نشان‌گرهای لرزه‌ای با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای سازند پابده در میدان نفتی منصوری بود. به همین منظور پارامتر ورودی و هدف باید ارتباط منطقی داشته باشند. دراین بخش از تحقیق، ارتباط فیزیکی داده‌های ورودی (نشان‌گرهای لرزه‌ای) و داده‌های خروجی (پارامتر ژئوشیمیایی) با آنالیز رگرسیون چندگانه به دست آمد. نشان‌گرهای چندگانه براساس آنالیز رگرسیون انتخاب شدند و در ساخت مدل شبکه عصبی به کار رفتند. نتایج محتوای کل کربن آلی پیش‌گویی‌شده با استفاده از نشان‌گرهای لرزه‌ای، با به‌کارگیری مدل شبکه عصبی احتمالی، نشان دادند که مقدار همبستگی داده‌های مطلوب و مقادیر پیش‌گویی‌شده در میدان منصوری ۷۵٪ است که با میانگین خطای تخمین ۰/۲۳٪ وزنی همراه است. همچنین در این مطالعه، الگوریتم کلونی غیرخطی مورچگان برای تخمین محتوای کل کربن آلی از نشان‌گرهای فرکانس غالب، انتگرال قدر مطلق دامنه، نتیجه وارون‌سازی و پوش دامنه ایجاد شد. مقدار ضریب همبستگی و مقدار میانگین مربع خطا بین داده‌های ورودی و خروجی به‌ترتیب ۰/۸۰۴ و ۰/۰۲ بود. الگوریتم کلونی مورچگان مقادیر وزنی را برای α_4، β_4، α_1، β_1، α_2، β_2، α_3، β_3 و α_5 به‌ترتیب (۱/۰۸۶)، (۰/۹۸۹)، (۰/۸۸۵)، (۰/۹۴۷)، (-۰/۳۱۳)، (۰/۳۵۶)، (۰/۳۵۷)، (۰/۷۰۶) و (۰/۳۴۵) محاسبه کرد. در انتها با استفاده از ضرایب وزنی حاصل از کلونی مورچگان غیرخطی برای ۵۵۱ رد لرزه، یک مقطع لرزه‌ای TOC تولید شد. نتایج این مطالعه نشان دادند که تخمین مقادیر عددی کل محتوای کربن آلی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای، علاوه برکاهش هزینه‌های اکتشاف و جلوگیری از اتلاف وقت و انرژی، مشکل کمبود چاه‌های حفاری‌شده و محدودیت خرده‌های حفاری برای آنالیزهای آزمایشگاهی را از بین می‌برد. همچنین نشان داده شد که روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان می‌تواند یک روش سریع و کم‌هزینه برای تخمین و ارزیابی محتوای کل کربن آلی باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب به‌دلیل حمایت مالی، ارائه داده‌ها و اجازه برای نشر نتایج این تحقیق کمال تشکر را دارند.

مراجع

[1]. Mendelson J. D. and Toksoz M. N., *"Source rock characterization using multivariate analysis of log data,"* In: Trans. SPWLA Ann. Logging Symposium 26, UU1-UU21, 1985.

[2]. Kamali M. R. and Mirshady A. A., *"Total organic carbon content determined from well logs using ΔlogR and neuro fuzzy techniques,"* Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 45, pp. 141–148, 2004.

[3]. 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, 2009a.

[4]. Dorigo M. and Stützle T., "*Ant Colony Optimization. MIT Press, Cambridge,"* MA, USA p. 319, 2004.

[5]. Dorigo M., Caro G.D. and Gambardella L.M., "*Ant algorithms for discrete optimization,"* Artif Life, Vol. 5, No. 3, pp.137-172, 1999.

[6]. 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.

[7]. Blum C., Ant colony optimization, "*Introduction and recent trends,"* Physics of Life Reviews 2, pp. 353-373, 2005.

[8]. Dorigo M., Maniezzo V. and Colorni A., Ant System: *"Optimization by a colony of cooperating a gents,"* IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet. Part B, Vol. 26, No. 1, pp. 29-41, 1996.

[9]. 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.

[10]. 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,"* Northest China. Estonian Academy Publishers, Vol. 29, No. 2, pp. 128-150, 2012.

[11]. Kadkhodaie-Ilkhchi A., Rezaee M. R., Rahimpour-Bonab H., and Chehrazi A., *"Petrophysical data prediction from seismic attributes using committee fuzzy inference system,"* Computers and Geosciences, Vol. 35, No. 12, PP. 2314-2330, 2009b.

[12]. "*HRS User's Guide,"* 2007

[13]. "*MATLAB User's Guide,"* 2009

[14]. Dorigo M., Di Caro G., "*Ant colony optimization: a new metaheuristic*," In: Proceeding of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, Vol. 2, pp. 1470–1477, 1999.

[15]. Toksarı M. D., "*Ant colony optimization for finding the global minimum,"* Applied Mathematics and Computation, Vol. 176, No. 1, pp. 308–316, 2006.

[16]. Passey O. R., Moretti F. U. and Stroud J. D., *"A practical modal for organic richness from porosity and resistivity logs,"* American Association of Petroleum Geologists Bulletin., Vol. 74, pp. 1777-1794, 1990.

[17]. 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.

[18]. Taner M. T., Schuelke J. S., O'Doherty R. and Baysal E., "*Attributes revisited*," SEG (Society of Exploration Geophysicists) Expanded Abstracts 13, pp. 1104–1107, 1994.

[19]. Chen Q. and Sidney S., *"Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring,"* The Leading Edge, Vol. 16, No. 5, pp. 445–456, 1997.

[۲۰]. حیدری، خ. "مطالعه جامع زمین‌شناسی مخزن آسماری در میدان نفتی منصوری،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص. ۱۲۵، ۱۳۸۱.

[21]. James G. A. and Wynd I. O., "*Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area,"* AAPG, Bulletin, Vol. 49, No. 12 , pp. 2182-2245, 1965.