

Research Paper

Application of Genetic Algorithm for Geochemical Data Analysis in a Southwestern Oil Field of Iran

Fereshte Shirali

Department of Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Use your device to scan and read the article online

**Keywords:**

Genetic algorithm, mutation, crossover, chromosome, geochemical data, petrophysical data

Abstract

Total Organic Carbon (TOC) is the most effective factor for evaluating formations prone to hydrocarbon production. Measuring TOC requires expensive and time-consuming geochemical tests, which are typically performed on a limited number of samples. This parameter is derived from Rock-Eval pyrolysis data and plays a crucial role in exploratory objectives and assessing the hydrocarbon potential of a formation. The primary aim of this study is to estimate the geochemical parameter TOC from petrophysical data, which are currently available for all drilled wells at relatively low cost and time. Since the relationship between geochemical and petrophysical data is nonlinear and involves certain complexities, interdisciplinary methods have been employed to establish this correlation. In this regard, the present study applies genetic algorithm operators, such as crossover and mutation, to generate new generations and select elite offspring. For each potential solution, a chromosome is defined, and the genetic algorithm calculates weighting coefficients for the petrophysical data. Using these coefficients alongside well logging data, TOC can be estimated for other wells in the field.

Corresponding author: Fereshte Shirali

Email: frsht.shirali@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.82281/jnec.2024.1208618>

مقاله پژوهشی

تعیین داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران

فرشته شیرالی

گروه فنی و مهندسی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

چکیده

مقدار کل کربن آلی کارآمدترین عامل ارزیابی سازندهای مستعد تولید هیدروکربن می‌باشد. اندازه‌گیری TOC، مستلزم انجام آزمایشات ژئوشیمیایی پرهزینه و وقت‌گیر است، که روی تعداد محدودی نمونه صورت می‌گیرد این پارامتر از داده‌های خروجی پیرولیز راک-ایول بوده و در اهداف اکتشافی و ارزیابی پتانسیل هیدروکربن‌زاییک سازند اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف اصلی این پژوهش برآورد پارامتر ژئوشیمیایی TOC از داده‌های پتروفیزیکی است که امروزه در تمامی چاه‌های حفاری و با صرف زمان و هزینه نسبتاً کمی تهیه می‌شوند. از آنجائی که ارتباط بین داده‌های ژئوشیمی و پتروفیزیک غیرخطی با پیچیدگی‌های خاصی همراه می‌باشد لذا از علوم دیگر برای ایجاد ارتباط بین آن‌ها استفاده شد. از این منظر، مطالعه حاضر یک پژوهش بین رشته‌ای است که از عملگرهای الگوریتم ژنتیک مانند تقاطع و جهش، جهت تولید نسل‌های جدید و انتخاب فرزندان نابغه استفاده نموده است. برای هر کدام از راه‌حل‌های مسئله یک کروموزوم تعریف شده است و الگوریتم ژنتیک ضرایب وزنی را برای داده‌های پتروفیزیکی محاسبه نموده و با استفاده از این ضرایب و داشتن داده‌های چاه‌پیمایی، می‌توان TOC را برای سایر چاه‌های موجود در میدان تخمین زد.

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

واژه‌های کلیدی:

الگوریتم ژنتیک، جهش، تقاطع، کروموزوم، داده‌های ژئوشیمیایی، داده‌های پتروفیزیکی

* نویسنده مسؤول: فرشته شیرالی

پست الکترونیکی: frsht.shirali@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.82281/jnec.2024.1208618>

مقدمه

ایران دارای منابع غنی نفت و گاز است که در مناطق مختلفی از جمله جنوب و جنوب غرب کشور شناسایی شده‌اند. میزان ذخایر نفتی ایران حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیارد بشکه برآورد شده و از نظر ذخایر گاز، ایران بعد از روسیه در رتبه دوم جهان قرار دارد. اولین چاه نفت خاورمیانه در سال ۱۹۰۸ در مسجدسلیمان کشف شد و پس از آن میادین زیادی در ایران، به‌ویژه در حوضه رسوبی زاگرس، کشف گردید [۱]. با افزایش تقاضای جهانی نفت، نیاز به کشف منابع جدید بیشتر شده است، اما اکتشاف نفت پرهزینه و همراه با ریسک است. بررسی‌های ژئوشیمیایی یکی از روش‌های مهم در این زمینه هستند، زیرا می‌توانند احتمال وجود نفت را با دقت بالاتری پیش‌بینی کنند و هزینه‌ها و ریسک حفاری را کاهش دهند [۲]. روش‌هایی مانند آنالیز پیرولیز راک-ایول و کروماتوگرافی برای ارزیابی سازندهای نفتی استفاده می‌شوند، اما این روش‌ها پرهزینه و زمان‌بر هستند. برای بهینه‌سازی این فرایندها، ترکیب فناوری‌های جدید و مطالعات بین‌رشته‌ای پیشنهاد می‌شود. با استفاده از دانش و پیشرفت‌های علمی در حوزه‌های مختلف، می‌توان راهکارهای ارزان‌تر و سریع‌تری برای اکتشاف و بهره‌برداری از منابع نفت و گاز ارائه داد که این امر برای اقتصاد کشور نیز اهمیت زیادی دارد [۳].

تحقیقات در زمینه شناسایی سنگ‌های غنی از مواد آلی از سال ۱۹۴۵ با مطالعات بیبرز آغاز شد. گلاقر و سمبریدج (۱۹۹۴) از الگوریتم ژنتیک در زلزله‌شناسی استفاده کردند. هانگ و ویلیامسون (۱۹۹۶) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بررسی خصوصیات سنگ‌های منشاء بهره بردند. سال ۲۰۰۰ به بعد، الگوریتم ژنتیک وارد حوزه مخازن نفتی شد [۴]. رمرو و همکارانش (۲۰۰۰)، رمرو و کارتر (۲۰۰۱)، توپاک و همکارانش (۲۰۰۲) و ولز-لنج (۲۰۰۵) نشان دادند که این تکنیک در بهینه‌سازی مدل‌های پیچیده نفتی بسیار کارآمد است [۵]. تحقیقات در ایران همسو با سایر کشورهای جهان نیز پیش رفت در عزیزاده و مرادی (۱۳۸۴) روش $\Delta \text{Log R}$ را در میدان‌های اهواز و زیلایی اجرا کردند. کمالی و میرشادی (۲۰۰۴) روش نرو-فازی را برای تخمین TOC بررسی کردند [۶]. سائمی و همکارانش (۲۰۰۷) با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک تراوایی مخزن را در پارس جنوبی تخمین زدند. کدخدایی و همکارانش (۲۰۰۸) ماشینی هوشمند برای پیش‌بینی TOC ساختند. همچنین در ۲۰۰۹، آن‌ها ماشین دیگری برای تخمین محتوای نفت نرمال شده (NOC) ارائه دادند و در ۲۰۱۰، با استفاده از داده‌های Well Log، رزونانس مغناطیسی هسته (NMR) را در پارس جنوبی تخمین زدند [۷]. این تحقیقات نشان می‌دهد که الگوریتم‌های هوش مصنوعی و ژنتیک، مسیر جدیدی در بهینه‌سازی مطالعات اکتشافی و مخازن نفتی ایجاد کرده‌اند.

این تحقیق به دنبال یافتن روشی برای تخمین میزان کل کربن آلی (TOC) در سازندهای زمین‌شناسی، بدون نیاز به آزمایش‌های پیچیده و پرهزینه ژئوشیمیایی است. TOC یکی از مهم‌ترین پارامترها در ارزیابی پتانسیل هیدروکربنی سازندهاست و معمولاً از آزمایش‌های پیرولیز راک-ایول به دست می‌آید. برخلاف داده‌های ژئوشیمیایی که به تجهیزات و زمان زیادی نیاز دارند، نگارهای چاه‌پیمایی^۱ اطلاعاتی ارزان و در دسترس هستند که در همه چاه‌های حفاری ثبت می‌شوند. ارتباط این دو نوع داده، به شناسایی مناطق غنی از مواد آلی، بررسی شرایط رسوب‌گذاری و درک بهتر تجمعات نفت و گاز کمک می‌کند. چون ارتباط بین داده‌های ژئوشیمی و نگارهای پتروفیزیکی پیچیده و غیرخطی است، از تکنیک‌های پیشرفته علوم کامپیوتر و آمار برای حل این مشکل استفاده شده است. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک (GA) به عنوان یک روش بهینه‌سازی استفاده شده تا میزان خطای تخمین TOC کاهش یابد.

۲. اهداف تحقیق

۱. تخمین مقدار TOC (Total Organic Carbon) از داده‌های چاه‌پیمایی با کمک الگوریتم ژنتیک.
۲. مقایسه میزان خطای بین داده‌های لاگ‌ها و مقادیر واقعی TOC.

۳. روش‌ها، پارامترها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

روش‌ها، پارامترها و نرم‌افزارهای مورد استفاده در این مطالعه به ترتیب مراحل انجام پروژه، ابتدا از تکنیک پیرولیز راک-ایول استفاده شده و خرده‌های حفاری مورد آنالیز قرار گرفت. تطابق بین TOC و نگارها از طریق رگرسیون خطی صورت پذیرفت. برای مدل‌سازی پارامتر ژئوشیمیایی TOC توسط نگارها از تکنیک الگوریتم ژنتیک استفاده شد. نتیجه این مدل‌سازی ستون پیوسته‌ای از پارامتر TOC است. مهمترین پارامترهای خروجی پیرولیز راک-ایول شامل TOC, Tmax, S1, S2, S3, PI, OI, HI و ... می‌باشد که برای تفاسیر ژئوشیمیایی سازندها از آن‌ها استفاده شد. در بخش مدل‌سازی داده‌های رقومی نگارهای چاه‌پیمایی به عنوان داده‌های ورودی و پارامتر TOC به عنوان خروجی

مطلوب مدل به کار گرفته شد. هدف اصلی این پژوهش، مدل‌سازی پارامتر TOC است که در محیط نرم‌افزار MATLAB نسخه ۷/۸ از محصولات کمپانی Mathworks انجام گرفته و اصطلاحات دستوری به کار رفته در متن نیز مربوط به این نرم‌افزار می‌باشد.

۴. بحث و بررسی

در این پژوهش با استفاده از داده‌های صوتی، مقاومت، نوترونوگاما به عنوان ورودی، شبکه آموزش دید، سپس چاه‌های مورد مطالعه شبیه‌سازی شده و در نتیجه میزان مواد آلی موجود در سنگ منشاء برآورد گردید.

۴-۱- نتایج آنالیز راک-ایول و تفاسیر ژئوشیمیایی

با استفاده از نتایج آنالیز راک-ایول می‌توان نوع و مقدار ماده آلی و میزان بلوغ آن را به دست آورد. بخشی از نتایج حاصل از آنالیز راک-ایول در جدول (۱) تا (۴) پیوست ارائه شده است. سازندهای مورد مطالعه وضعیت متفاوتی از نظر پتانسیل هیدروکربورزایی نشان می‌دهند. سازند پابده با سن آئوسن-الیگوسن بیشترین مقدار TOC را داراست. از نظر اندکس ژنتیک (S_1+S_2) وضعیت بسیار خوبی را نشان می‌دهد. مقادیر T_{max} این سازند نیز از ۴۱۶ تا ۴۳۷ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و نشانی‌دهد سازند پابده عمده‌تاً در محدوده نابالغ و اوایل پنجره نفتی قرار دارد. همچنین بر اساس تغییرات مقادیر TOC، HI، OI و بالا بودن مقادیر TOC و HI و پایین بودن OI این سازند عمده‌تاً دارای رخساره شیلی است. میزان اندیس هیدروژن این سازند شاخص کروژن‌های تیپ II مولد نفت و گاز می‌باشد. بررسی کلی نتایج نشان می‌دهد سازند پابده در میدان اهواز به اواخر مرحله دیاژنز و ابتدای مرحله کاتائز رسیده و در قسمت‌های مختلف میدان دارای پتانسیل متفاوتی می‌باشد بطوریکه از مقادیر ضعیف تا بسیار عالی متغیر است اما در مجموع این سازند از پتانسیل بالایی جهت تولید نفت برخوردار است. این سازند می‌تواند با گذشت زمان و افزایش دما به یکی از گزینه‌های اصلی شارژ مخازن میدان اهواز تبدیل شود. سازند گورپی با سن کمپانین ماستریخسین از بالا به سازند پابده و از قسمت زیرین به سازند مخزنی ایلام ختم می‌شود، وضعیت ضعیف‌تری از نظر پارامترهای کیفی و کمی مواد آلی در چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. از نظر اندکس ژنتیک (S_1+S_2) وضعیت خوب تا بسیار خوبی را نشان می‌دهد. مقدار T_{max} این سازند نیز از ۴۲۵ تا ۴۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و نشان می‌دهد سازند گورپی عمده‌تاً در محدوده اوایل پنجره نفتی قرار دارد. در این سازند کروژن‌ها عمده‌تاً مخلوطی از کروژن‌های تیپ II و III می‌باشد، ضمن آنکه میزان کروژن‌های تیپ III در چاه ۲۶۵ در مقایسه با تیپ II بیشتر است. به‌همان نسبت HI در این چاه کاهش یافته و میزان OI افزایش می‌یابد. سازند گورپی در این میدان در برخی نقاط در اواخر مرحله دیاژنز و در نواحی دیگر تا اوج پنجره پیش رفته و در حال تولید است. این سازند بیشترین مقدار اندیس اکسیژن را در مقایسه با سایر سازندها از خود نشان می‌دهد و با توجه به میزان کمتر مواد آلی در این سازند این مطلب می‌تواند متأثر از لیتولوژی کربناته سازند گورپی در منطقه باشد. وضعیت پارامترهای TOC، HI و OI نشان می‌دهد که این سازند عمده‌تاً از رخساره‌های کربناته-مارنی تشکیل شده است. پتانسیل تولید این سازند از مقادیر ضعیف تا بسیار خوب گسترده شده و در مقایسه با سازند پابده پتانسیل توانایی کمتری در جهت تولید نفت دارد. همانگونه که از جداول (۱) تا (۴) مشاهده می‌شود سازند گورپی میدان اهواز فاقد زون مشخصی می‌باشد، ولی سازند پابده به طور مشخص به سه زون قابل تقسیم است، یک زون فقیر یا مناسب در قاعده پابده و یک زون خوب یا خیلی خوب در وسط و یک زون فقیر یا مناسب در رأس پابده مشاهده می‌شود.

جدول ۱. مشخصات زون‌های مختلف سازندهای پابده و گورپی در چاه AZ-61

Well no	Unit	Top (m)	Bottom (m)	Thickness (m)	Average TOC %	category
AZ-61	Top - PZ2	3107.28	3134.27	26.99	0.595	FAIR
	PZ2 - PZ1	3134.27	3155.2	20.93	2.387	VERY GOOD
	PZ1 - TOP OF GURPI	3155.2	3224	68.8	1.323	GOOD
	TOP OF GURPI - Bottom	3224	3431.88	207.88	0.634	FAIR

جدول ۲- مشخصات زون‌های مختلف سازندهای پابده و گورپی در چاه AZ-265

Well no	Unit	Top (m)	Bottom (m)	Thickness (m)	Average TOC %	category
AZ-265	TOP PABDEH -PZ2	2924	2998.8	74.8	0.46	POOR
	PZ2 - PZ1	2998.8	3001.4	2.6	2.81	VERY GOOD
	PZ1 - TOP GURPI	3001.4	3078	76.6	0.48	POOR
	TOP GURPI - TOP IL	3078	3271	193	0.31	POOR

جدول ۳- مشخصات زون‌های مختلف سازندهای پابده و گورپی در چاه AZ-55.

Well no	Unit	Top (m)	Bottom (m)	Thickness (m)	Average TOC %	category
AZ-55	Top - TOP OF GURPI	3152.09	3393.2	241.11	1.163	GOOD
	TOP OF GURPI - Bottom	3393.2	3565.83	172.63	0.611	FAIR

سازند کژدمی با سن آلبین از بالا به سازند سروک و از پایین به سازند داریان می‌رسد. این سازند فقط در چاه ۶۷ موجود در بخش شرقی میدان مورد مطالعه قرار گرفت. سازند کژدمی وضعیت بسیار خوبی را از نظر TOC نشان می‌دهد. بر اساس پارامتر T_{max} این سازند در اوج مرحله زایش نفت قرار گرفته و از نظر پارامتر S_1 و S_2 وضعیت خیلی خوب و عالی از خود نشان می‌دهد و کروژنها مخلوطی از تیپ II و III می‌باشند و پتانسیل تولید آن تا حد قابل توجهی بالاست. بر اساس تغییرات مقادیر TOC، HI، OI و بالا بودن مقادیر TOC و HI و پایین بودن OI این سازند عمدتاً دارای رخساره شیلی است.

جدول ۴- مشخصات زون‌های مختلف سازندهای پابده و گورپی در چاه AZ-67

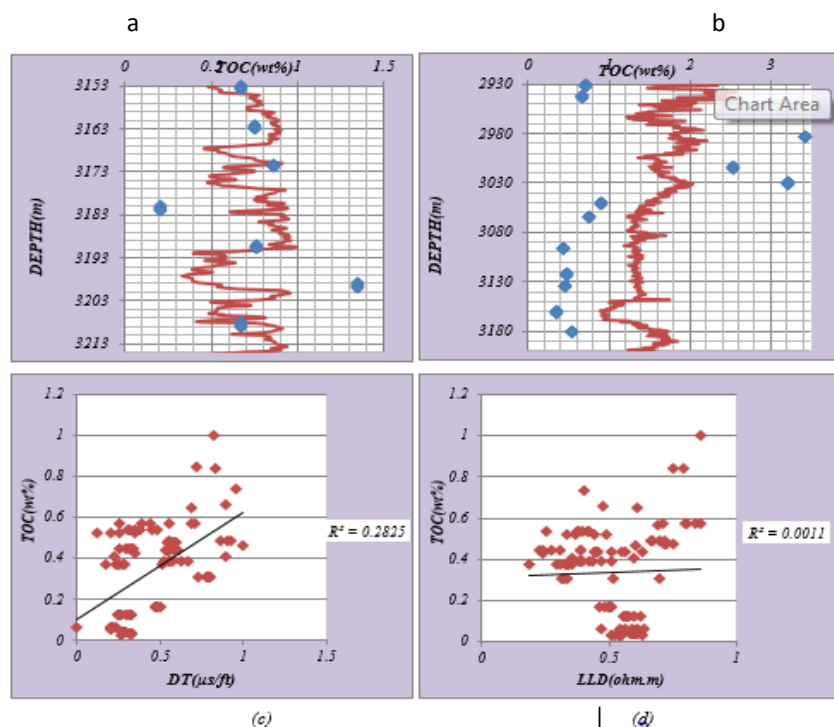
Well no	Unit	Top (m)	Bottom (m)	Thickness (m)	Average TOC %	category
AZ-67	Top - TOP OF GURPI	2804.02	3000	195.98	1.155	GOOD
	TOP OF GURPI - Bottom	3000	3190.95	190.95	0.655	FAIR

۴-۲- نتایج مدل‌سازی TOC چاه‌ها با تکنیک الگوریتم ژنتیک

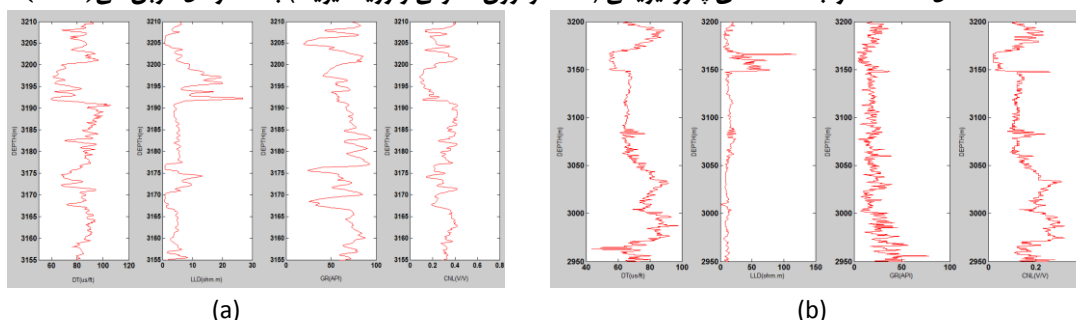
۴-۲-۱- تعیین بهترین ورودی از داده‌های پتروفیزیکی

این گام از کار نقش مهمی را در ساخت مدل ایفا می‌کند. به طور کلی، ارتباط قوی بین داده‌های ورودی و خروجی، می‌تواند پیشگویی دقیق‌تری را نسبت به داده‌های با تطابق ضعیفتر ایجاد کند. در شکل (۱) ارتباط داده‌های پتروفیزیکی (گاما، نوترون، صوتی و رزستیویته) با مقدار کل کربن آلی (TOC) نشان داده شده است. بر اساس این شکل نگار نوترون، گاما و صوتی ارتباط نزدیکی با TOC دارند، در حالیکه نگار رزستیویته رابطه ضعیف با آن نشان می‌دهد. انتخاب بهترین ورودی برای طراحی الگوریتم ژنتیک به کمک الگوریتم‌های آموزشی متفاوت، جهت تولید TOC به کمک نرم‌افزار MATLAB ضروری است. در نرم‌افزار MATLAB داده‌های چاه‌پیمایی (مقدار مقاومت، زمان عبور صوت، نوترون و گاما) در قالب یک ماتریس به عنوان ورودی (Input) و TOC حاصل از آنالیز به عنوان ماتریس خروجی مطلوب شبکه (Output) تعیین و وارد جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک گردید. در بخش زیر توجیحی مبنی بر ارتباط فیزیکی بین داده‌های ورودی و خروجی به طور مختصر شرح داده شده است:

به طور کلی سنگ‌های غنی از مواد آلی، تراکم بالایی از مواد رادیواکتیو (پتاسیم، توریم و اورانیوم) دارند و در این سنگ‌ها نگارگر افزایش می‌یابد. مدت زمان عبور صوت (DT) تابعی از لیتولوژی، تخلخل و مدل توزیع سیالات (آب، گاز، نفت و غیره) می‌باشد. با مقدار DT مشخص، افزایش مقدار TOC سبب افزایش مدت زمان عبور صوت می‌شود [۸]. به طور کلی، لایه‌های دارای مواد آلی رزستیویته بیشتری نسبت به دیگر سنگ‌ها دارند، به خصوص وقتی کروژن بالغ بوده و هیدروکربن تولید شده فضای خالی و شکستگی‌ها را پر می‌کند.



شکل ۱. الف. ارتباط داده‌های پتروفیزیکی (گاما، نوترون، صوتی و رزستیویته) با مقدار کل کربن آلی (TOC)



شکل ۱. ب. کراس پلات ارتباط بین TOC و نگارهای (a) CNL، (b) GR، (c) DT و (d) LLD جهت بهترین ورودی شبکه بر اساس ضریب همبستگی

۴-۲-۲- اجرای الگوریتم ژنتیک جهت تخمین TOC در میدان نفتی اهواز

در این مطالعه سیستم هوشمند الگوریتم ژنتیک برای تولید TOC از داده‌های پتروفیزیکی گاما، نوترون، صوتی و رزستیویته استفاده شده است. مجموعه‌ی داده‌ها شامل ۱۰۴ داده‌ی آموزشی جهت ساخت مدل، ۳۷ داده خارج از روند (outlier data) و ۲۲ داده تست جهت اعتبارسنجی مدل می‌باشد. این مجموعه داده‌ها از سه چاه ۵۵، ۶۷ و ۲۶۵ در میدان نفتی اهواز تهیه شده است. برای آماده‌سازی داده‌ها، داده‌های چاه‌پیمایی تهیه و فواصل بد چاه حذف گردید. نرمالایز کردن امر مهم دیگری است که می‌تواند جهت تولید بهتر داده، بر روی داده‌ها اعمال شود. این کار بخصوص برای تولید TOC مفید است. پس از نرمالایز کردن، ارتباط بین داده‌های پتروفیزیکی و TOC را بررسی نموده و نقاطی که از روند پیروی نکرده (outlier data)، حذف شدند. در جدول (۵) مقدار Max و Min مجموعه داده‌های ورودی نشان داده شده است.

جدول ۵- مقدار Max و Min مجموعه داده‌های ورودی.

Inputs	Min	Max
GR	۵,۳۲	۸۵,۲۳
DT	۵۱,۹۵۱۹	۱۱۸,۸۹۱۲
CNL	-۲,۴۷۹۱	۴۲,۷۸۷۷
LLD	۰,۱	۱,۷۹۸۳۱۷
TOCreal	۰,۱۷	۴,۳۷

طبق رابطه (۱) میزان TOC را می‌توان از الگوریتم ژنتیک محاسبه نمود:

$$TOC_{GA} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot x_i \quad (1)$$

در این معادله، n تعداد کل لاگهای ورودی، C_i ضریب (وزن) هر یک از لاگ‌ها، x_i مقدار عددی هر یک از لاگ‌های پتروفیزیکی می‌باشد. دو نوع مدل الگوریتم ژنتیک جهت تخمین TOC طراحی شد: خطی و غیر خطی.

۴-۲-۳- مدل خطی

در این مدل سیستم هوشمند الگوریتم ژنتیک بر اساس رابطه (۲)، میزان TOC را از داده‌های پتروفیزیکی محاسبه می‌نماید [۹]:

$$TOC_{GA(lin)} = C_1 * GR + C_2 * CNL + C_3 * DT + C_4 * LLD \quad (2)$$

C_1, C_2, C_3 و C_4 به ترتیب ضرایبی برای ورودی‌های GR, CNL, DT و LLD هستند. با این تعریف ۴ پارامتر برای هر خروجی از هر تابع عضویت وجود خواهد داشت. تابع برآزش که نوع خاصی از تابع هدف است، طبق رابطه (۳) زیر در GA بهینه‌سازی می‌شود [۹]:

$$MSE = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} (TOC_{GA(lin)} - TOC_{real})^2 \quad (3)$$

MSE میانگین مربع خطا، TOC_{real} مقدار کل کربن آلی حاصل از آنالیز راک-ایول، $TOC_{GA(lin)}$ مقدار کل کربن آلی محاسبه شده از الگوریتم ژنتیک و N تعداد داده‌های آموزشی (۸۱ داده) می‌باشند. پارامترهای بکار رفته جهت اجرای الگوریتم ژنتیک در زیر شرح داده شده است:

سایز جمعیت آغازی ۳۰ می‌باشد که این، تعداد افراد در هر نسل را مشخص می‌کند و خط مبنای آغازی [۰،۱] می‌باشد که خط سیر در جمعیت آغازی را تعیین می‌کند. جمعیت آغازی طی یک فرایند تصادفی ایجاد می‌شود. حداکثر تعداد نسل ۱۲۰ در نظر گرفته می‌شود. نسل بعد توسط عملگرهای تقاطع و جهش در جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک (MATLAB) تولید می‌شوند و تعدادی از افراد در جمعیت موجود بر اساس مقدار شایستگی کمتر انتخاب می‌شوند (به عنوان مثال افراد نخبه). تابع تقاطع scattered و fraction آن ۰/۸ می‌باشد. تابع جهش روی default تنظیم شد. بعد الگوریتم ژنتیک اجرا شده و ضرایب وزنی برای C_1, C_2, C_3 و C_4 بدست آمد. سپس ضرایب وزنی بهینه شده بر روی داده‌های تست اعمال شده و آخرین خروجی (TOC) تولید شد.

۴-۲-۴- مدل غیر خطی

در این مدل GA برای پیشگویی TOC با استفاده از داده‌های چاه پیمایی از رابطه (۴) استفاده می‌نماید [۹]:

$$TOC_{GA(nlin)} = C_1 * GR^{C_2} + C_3 * CNL^{C_4} + C_5 * DT^{C_6} + C_7 * LLD^{C_8} \quad (4)$$

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7$ و C_8 به ترتیب مقادیر ضرایب وزنی و نمایی برای ورودی‌های GR, CNL, DT و LLD هستند. با این تعریف ۸ پارامتر برای هر خروجی از هر تابع عضویت وجود خواهد داشت. تابع برآزش طبق فرمول (رابطه (۵)) در GA بهینه‌سازی شد [۹]:

$$MSE = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} (TOC_{GA(nlin)} - TOC_{real})^2 \quad (5)$$

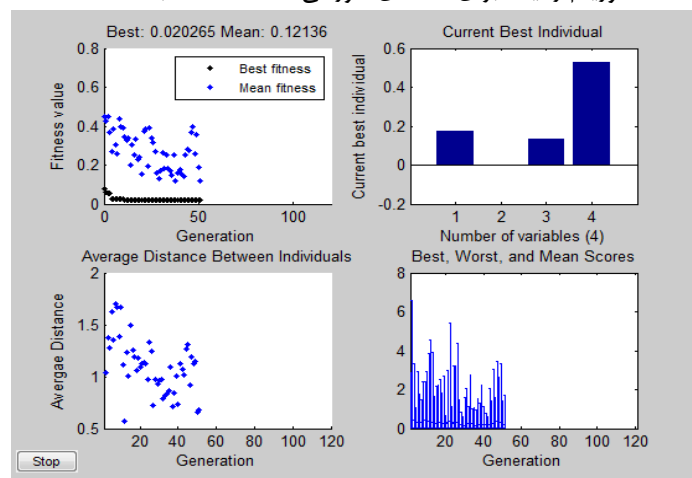
پارامترهای بکار رفته جهت اجرای الگوریتم ژنتیک در زیر شرح داده شده است:

سایز جمعیت آغازی ۲۰ و خط مبنای آغازی [۰،۱] است. جمعیت آغازی طی یک فرایند تصادفی ایجاد می‌شود. حداکثر تعداد نسل ۱۲۰ در نظر گرفته شده است. نسل بعد توسط عملگرهای تقاطع و جهش در جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک تولید می‌شوند و تعدادی از افراد در جمعیت موجود بر اساس مقدار برآزش کمتر انتخاب می‌شوند. تابع تلفیق scattered و fraction آن ۰/۸ می‌باشد. تابع جهش Uniform و Rate آن روی ۰/۰۱ تنظیم شد. بعد الگوریتم ژنتیک اجرا شده و ضرایب وزنی برای $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7$ و C_8 حاصل شدند. سپس با استفاده از ضرایب وزنی بهینه شده TOC برای داده‌های تست محاسبه شده است.

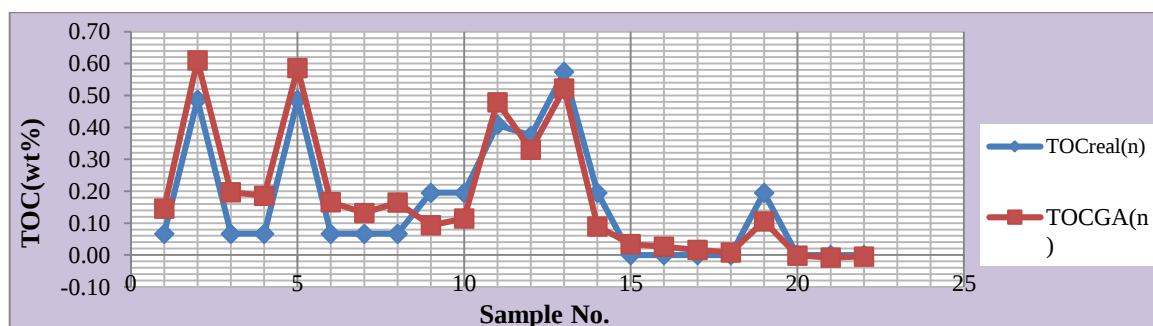
بر اساس شکل (۲) در مدل الگوریتم ژنتیک خطی مقدار میانگین و مقدار تابع شایستگی به ترتیب ۰/۱۲۱ و ۰/۰۲۰ حاصل شد. در این شکل بهترین افراد برای ۴ متغیر، میانگین فاصله بین افراد و بهترین، بدترین و میانگین بین ۱۲۰ نسل نشان داده شده است. در جعبه GA ضرایب وزنی برای C_1, C_2, C_3 و C_4 به ترتیب ۰/۵۲۹، ۰/۱۷۱، ۰/۱۳۳ و ۰/۰۸ (-) محاسبه شد. الگوریتم ژنتیک بر اساس کل الگوریتم‌ها مقدار MSE را برای داده‌های آموزشی و داده‌های تست به ترتیب ۰/۰۲۹۷ و ۰/۰۰۶۰ محاسبه کرد. الگوریتم ژنتیک پارامتر TOC را برای داده‌های تست (۲۲ نقطه) طبق رابطه (۴) زیر محاسبه می‌کند [۹]:

$$TOC_{GALIN} = 0.529 * GR + 0.171 * CNL + 0.133 * DT + (-0.008) * LLD \quad (4)$$

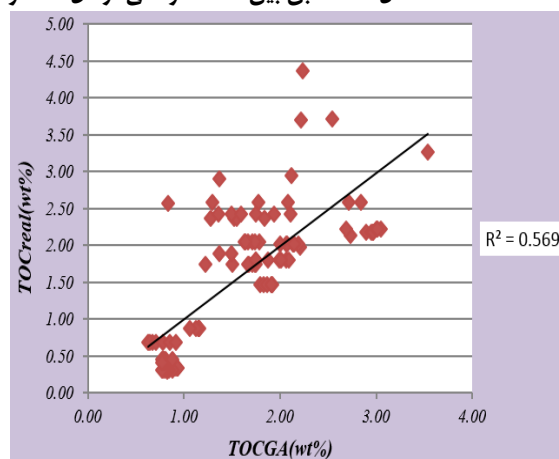
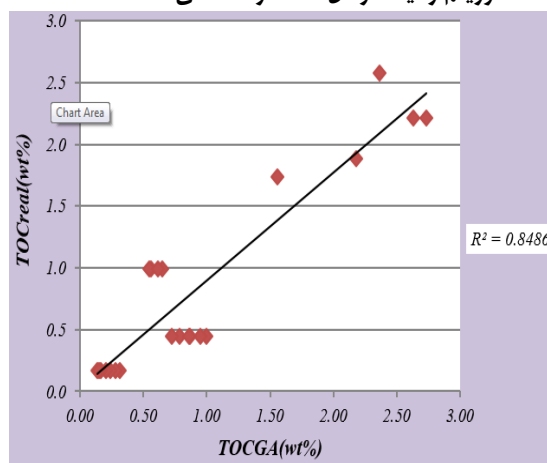
در شکل (۳) تطابق بین TOC نرمالایز واقعی و TOC نرمالایز الگوریتم ژنتیک در داده‌های تست نشان داده شده است. شکل (۴) مقدار ضریب همبستگی بین TOC واقعی و TOC الگوریتم ژنتیک را برای داده‌های تست ۰/۸۴۸۶ نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۵) مقدار ضریب همبستگی بین TOC واقعی و TOC الگوریتم ژنتیک برای داده‌های آموزشی ۰/۵۶۹۳ محاسبه شده است.



شکل ۲- نمایش پلات تابع شایستگی، بهترین افراد، میانگین فاصله بین افراد و خطوط بهترین، بدترین و میانگین بین ۱۲۰ نسل



شکل ۳- تطابق بین TOC واقعی نرمال شده و TOC الگوریتم ژنتیک نرمال شده در داده‌های تست



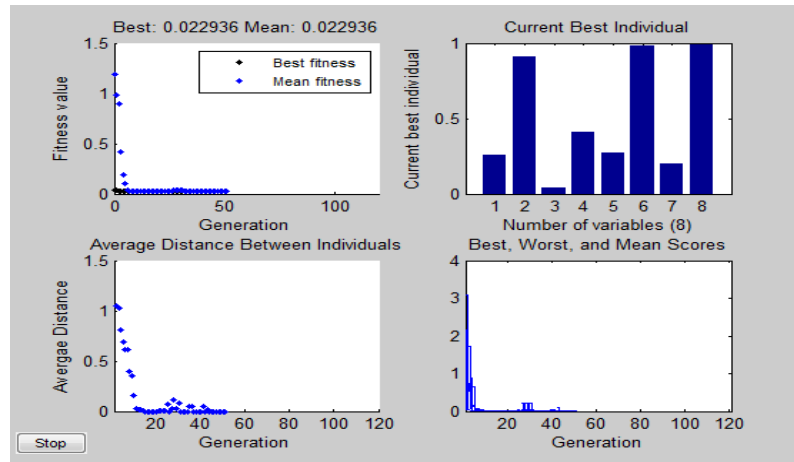
شکل ۴- تطابق بین TOC الگوریتم ژنتیک و TOC واقعی در داده‌های تست

شکل ۵- تطابق بین TOC الگوریتم ژنتیک و TOC واقعی در داده‌های آموزشی

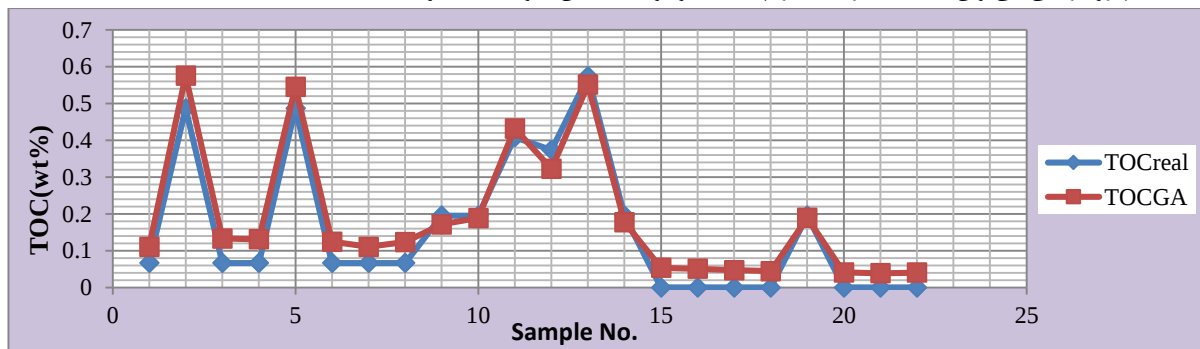
در مدل الگوریتم ژنتیک غیرخطی طبق شکل (۴-۶) مقدار میانگین و مقدار تابع شایستگی به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۲۲ می‌باشد. همچنین در این شکل بهترین افراد برای ۸ متغیر، میانگین فاصله بین افراد و بهترین، بدترین و میانگین را بین ۱۲۰ نسل نشان می‌دهد. در جعبه ابزار GA ضرایب وزنی برای $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7$ و C_8 به ترتیب ۰/۲۰۲، ۰/۹۸۸، ۰/۲۵۷، ۰/۹۱۳، ۰/۲۷۱، ۰/۹۸۲، ۰/۳۹ و ۰/۴۰۹ محاسبه

شد. الگوریتم ژنتیک بر اساس کل الگوریتم‌ها مقدار MSE را برای داده‌های آموزشی و داده‌های تست به ترتیب ۰/۰۲۲ و ۰/۰۲۲۹ محاسبه کرد. الگوریتم ژنتیک پارامتر TOC را برای داده‌های تست (۲۲ نقطه) طبق رابطه (۵) محاسبه می‌کند [۹]:

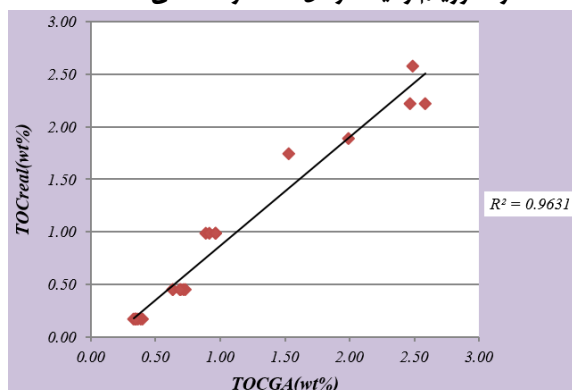
$$TOC_{GANLIN} = 0.202 * GR^{(0.988)} + 0.257 * CNL^{(0.913)} + 0.271 * DT^{(0.982)} + 0.039 * LLD^{(0.409)} \quad (5)$$



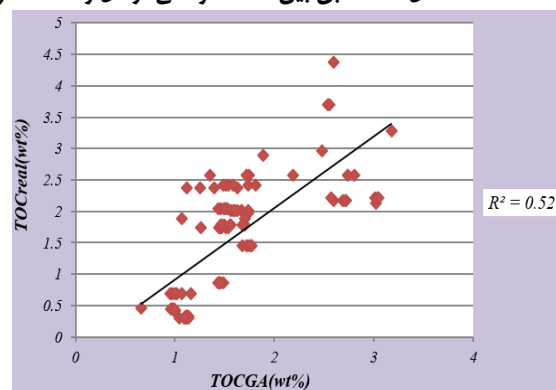
شکل ۶- نمایش پلات تابع شایستگی، بهترین افراد، میانگین فاصله بین افراد و خطوط بهترین، بدترین و میانگین بین ۱۲۰ نسل در شکل (۷) تطابق بین TOC واقعی نرمال شده و TOC الگوریتم ژنتیک نرمال شده در داده‌های تست نشان داده شده است. بر اساس شکل (۸) مقدار ضریب همبستگی بین TOC واقعی و TOC الگوریتم ژنتیک برای داده‌های تست ۰/۹۶۳۱ محاسبه شده است. شکل (۹) نشان می‌دهد که مقدار ضریب همبستگی بین TOC واقعی و TOC الگوریتم ژنتیک برای داده‌های آموزشی ۰/۵۲ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین داده‌های پتروفیزیکی و TOC حاصل از الگوریتم ژنتیک در مدل غیرخطی بیشتر از مدل الگوریتم ژنتیک خطی است. همچنین مقدار MSE داده‌های تست در الگوریتم ژنتیک غیر خطی کمتر از مدل خطی است. با استفاده از این ضرایب وزنی و با داشتن داده‌های پتروفیزیکی می‌توان TOC را برای سایر چاه‌های موجود در میدان اهواز بدست آورد.



شکل ۷- تطابق بین TOC واقعی نرمال شده و TOC تولید شده از الگوریتم ژنتیک نرمال شده در داده‌های تست



شکل ۸- تطابق بین TOC حاصل از الگوریتم ژنتیک و TOC واقعی در داده‌های تست



شکل ۹- تطابق بین TOC حاصل از الگوریتم ژنتیک و TOC واقعی در داده‌های آموزشی

در واقع داده‌های خروجی مدل‌سازی به صورت مقدار عددی پارامتر TOC به ازای اعماق دارای نگار می‌باشد که می‌توان آنها را به صورت نگار پیوسته‌ای در مقابل عمق نشان داد. در شکل ۱۰ (موجود در پیوست) نتایج حاصل از این مدل‌سازی به صورت ستون پیوسته‌ای از TOC

برای سازندهای پایده، گورپی و کژدمی و در هر سه چاه آنالیزی ارائه شده است. در هر قسمت نیز مقادیر به دست آمده از آنالیزهای راک-ایول در مقابل ستون حاصل از مدل پلات شده است تا امکان مقایسه بین مقادیر تخمینی مدل با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده فراهم شود. طبق این نتایج هماهنگی بسیار خوب و قابل اطمینانی بین مقادیر تخمینی و مقادیر اندازه‌گیری شده مشاهده می‌شود که صحت تخمین مدل را هم از لحاظ کیفی (روند تغییرات TOC) و هم از لحاظ کمی (مقدار عددی TOC) تأیید می‌کند. بنابراین الگوریتم ژنتیک می‌تواند به عنوان روشی بهینه، برای پیشگویی پارامتر TOC از داده‌های چاه پیمایی اهمیت بسزایی داشته باشد.

طبق نمودارهای چاه پیمایی و تفاسیر سرچاهی زمین‌شناسان، نمونه‌های آنالیز شده در این مطالعه دارای بازه تغییرات سنگ‌شناسی کربناته-مارنی تا شیلی می‌باشد. بنابراین عملکرد مدل در بازه‌ی نسبتاً وسیعی از تغییرات سنگ‌شناسی مورد ارزیابی قرار گرفته تا محدود به سنگ‌شناسی خاصی نباشد. با توجه به این که الگوریتم ژنتیک در درون‌یابی مقادیر عملکرد مناسبی دارد، بنابراین سعی بر این بوده تا بازه تغییرات سنگ‌شناسی گسترده باشد.

در این مطالعه سعی بر این بوده تا پارامتر TOC نیز به گونه‌ای انتخاب شود که دارای حداکثر گستره تغییرات باشد. در بازه‌های دارای TOC بالا نگارها تحت تأثیر قرار گرفته و در نتیجه، شبکه قادر به مدل‌سازی خواهد بود. مدل ساخته شده قادر است در سازندهای با سنگ‌شناسی و مقادیر TOC متفاوت، پارامتر TOC را با دقت قابل قبولی تخمین بزند.

در برخی از نقاط ستون مدل‌سازی شده ناهماهنگی‌هایی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی مشاهده می‌گردد که البته قابل انتظار می‌باشد، چرا که کارایی هیچ مدلی ۱۰۰٪ نیست. بخشی از این ناهماهنگی‌ها می‌تواند ناشی از دقت پائین عمق ثبت شده برای خرده‌های حفاری باشد که باعث جابه‌جا شدن محل نمونه بر روی نمودار می‌شود. هر چند که در مرحله تطابق عمق این اختلاف به مقدار کمینه رسیده است، با این وجود مقداری خطا به قوت خود باقی خواهد بود. اما در برخی موارد، نظیر عمق ۳۰۳۰ متری در چاه Az-265 (شکل ۱۱-ب) اختلاف زیادی بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار محاسبه شده مشاهده می‌گردد. در این موارد می‌توان به مقادیر محاسبه شده توسط مدل اطمینان بیشتری نمود، چرا که با توجه به نتایج کلی به دست آمده برای سازندهای مورد مطالعه، انتظار چنین مقادیر بالا و ناهماهنگی نمی‌رود. این اختلاف می‌تواند ناشی از عواملی نظیر ریختگی دیواره چاه (Wash out) و اختلاط خرده‌های حفاری بازه‌های غنی‌تر بالایی، خطاهای دستگاهی یا فردی در روند انجام آزمایش و یا عوامل دیگر باشد. از طرفی چون الگوریتم ژنتیک به دلیل ساختار خود توانایی چشم‌پوشی از خطاهای احتمالی را دارد بنابراین در این موارد با اطمینان می‌توان داده‌های خروجی مدل را به کار گرفت. از نقاط قوت الگوریتم ژنتیک می‌توان به این نکته اشاره نمود که به طور خودکار با شرایطی که برای آن تعریف می‌شود کالیبره می‌گردد و بر خلاف برخی روش‌های رایج نیازی به کالیبراسیون دستی نمی‌باشد. به عنوان مثال کالیبراسیون برای سنگ‌شناسی متفاوت، مقادیر بیشینه و کمینه TOC به صورت خودکار انجام می‌گیرد. شایان توجه است که این کالیبراسیون با دقت خوب و سرعت بالایی صورت می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش برقراری ارتباط بین داده‌های ژئوشیمیایی و پتروفیزیکی و به طور خاص پیش‌بینی پارامتر TOC از روی نگارهای چاه پیمایی بود که برای این منظور از فن‌آوری الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از روش‌های هوشمند و از داده‌های میدان نفتی اهواز استفاده شد. نتایجی که از این پژوهش به دست آمد به طور کلی به این شرح می‌باشد:

تطابق بین داده‌های ورودی و خروجی از اهمیت زیادی برخوردار است چنانکه اگر این ارتباط قوی نباشد سیستم هوشمند نمی‌تواند نتایج رضایت بخشی را ایجاد نماید، بنابراین انتخاب ورودی مناسب بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه نگار نوترون، گاما و صوتی ارتباط نزدیکی با TOC داشته، در حالیکه نگار رزستیویته رابطه ضعیف و پیچیده‌ای با آن نشان داد.

الگوریتم ژنتیک در ایجاد تطابق بین پارامتر TOC و داده پتروفیزیکی بسیار موفق عمل نمود. تطابق بین داده‌های پتروفیزیکی و TOC در مدل الگوریتم ژنتیک غیرخطی بیشتر از مدل خطی بود. الگوریتم ژنتیک غیر خطی، مقادیر وزنی را برای (C_1, C_2) (GR)، (C_3, C_4) (CNL)، (C_5, C_6) (DT) و (C_7, C_8) (LLD) به ترتیب ۰/۲۰۲، ۰/۹۸۸، ۰/۲۵۷، ۰/۹۱۳، ۰/۲۷۱، ۰/۹۸۲، ۰/۰۳۹ و ۰/۴۰۹ محاسبه نمود. همچنین میانگین مربعات خطای شبکه (MSE) تشکیل شده و ضریب همبستگی (R^2) بین TOC مدل‌سازی شده و TOC اندازه‌گیری شده برای مجموعه داده‌های تست به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲۲ و ۰/۹۶۳۱ بدست آمد.

شبکه طراحی شده با استفاده از ضرائب وزنی و با داشتن داده‌های پتروفیزیکی قادر است میزان TOC را در سایر چاه‌های میدان نفتی اهواز مدل‌سازی نماید. در چاه‌هایی که فاقد مغزه یا خرده‌های حفاری برای انجام آنالیز می‌باشد می‌توان با استفاده از نگارهای چاه پیمایی مقدار

TOC را تخمین زد که با توجه به بی‌نیازی از انجام آنالیز، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه و زمان خواهد داشت. شایان ذکر است که هر میدان، ضرائب خاص خود را دارد.

به دلیل هزینه بالای آنالیز و همچنین محدودیت استفاده از نمونه‌های مغزه، این مطالعه بر روی تعداد نسبتاً محدودی از خرده‌های حفاری انجام گرفت. با این وجود نتایج تخمین TOC رضایت‌بخش بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مواردی که یک ارتباط منطقی (هرچند پیچیده و غیرخطی) بین دو گروه داده‌ی ورودی و خروجی موجود باشد، حتی با داده‌های اندک الگوریتم ژنتیک قادر به تشخیص الگوی حاکم بین داده‌ها خواهد بود.

ناهمگنی‌های سنگی نظیر کانی‌شناسی، محتوای سیال و میزان اشباع‌شدگی می‌تواند باعث پاسخ‌های غیرعادی از جانب شبکه باشد. ستون TOC مدل‌سازی شده دارای ارزش بسیار بالایی است. این ستون معادل با هزاران دلار هزینه مالی و هفته‌ها کار طاقت‌فرسا در آزمایشگاه است.

References

۱. مطیعی، ۱۳۸۹.ه. زمین‌شناسی نفت زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۵۸۹.
2. Alimi, H., (2005). Application of petroleum geochemistry to hydrocarbon exploration and exploitation, Petroleum Geochemistry Short Course at RIRI, Tehran, November 5-7, 2005.
3. Beydoun, Z.R., (2010). Arabian plate hydrocarbon geology and potential- a plate tectonic approach. Studies in Geology. AAPG Bulletin, v. 33, 77 p.
4. Chen, C.H., Lin, Z.S., (2006). A committee machine with empirical formulas for permeability prediction. Comput. Geosci. 32, 485–496.
5. Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rahimpour-Bonab, H., Rezaee, M.R., (2009). 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. J. Comput. Geosci. 35, 459–474.
۶. علیزاده، ب. و مرادی م. ۱۳۸۴. مقایسه نمودارهای پتروفیزیکی و ژئوشیمیایی در میادین نفتی اهواز و زیلائی، بیست و چهارمین گردهمایی سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران.
7. B Soleimani, F Zamani. (2015). Preliminary petroleum source rock evaluation of the Asmari-Pabdeh reservoirs, Karanj and Parsi oil fields, Zagros, Iran. Journal of Petroleum Science and Engineering, 134, 97-104.
8. Leng, K., Sambridge, M., (2012). A Genetic Algorithm Approach for TOC-based Supply Chain Coordination. Applied Mathematics & Information Sciences.
9. Magoon, L.B., (2012). The petroleum system- A classification scheme for research, resource assessment, and exploration, in Magoon, L.B. (ed.), Petroleum Systems of the United States; USGS Bulletin 1870, pp. 2-15.

پیوست جداول:

جدول ۱- اطلاعات دستگاه راک- ایول ۶ در سازند پابده و گورپی چاه شماره ۲۶۵ میدان نفتی اهواز

Formetion	Depth (m)	S1 mg HC/ g Rock	S2 mg HC/ g Rock	Tmax C°	HI mg HC/ g TOC	OI mg CO ₂ / g TOC	TOC %
Pabdeh	2931	0.15	0.81	436	116	163	0.7
Pabdeh	2942	0.17	0.71	433	106	173	0.67
Pabdeh	2982	0.84	16.65	418	488	51	3.41
Pabdeh	2996	1.29	19.03	416	519	47	3.67
Pabdeh	3014	1.22	11.58	419	456	74	2.54
Pabdeh	3030	1.15	14.93	423	464	64	3.22
Pabdeh	3050	0.18	2.6	433	289	242	0.9
Pabdeh	3064	0.31	1.56	432	208	212	0.75
Gurpi	3096	0.29	0.54	425	123	316	0.44
Gurpi	3122	0.4	0.74	432	157	311	0.47
Gurpi	3134	0.18	0.61	432	136	271	0.45
Gurpi	3160	0.29	0.62	433	182	288	0.34
Gurpi	3180	0.39	1.15	432	209	344	0.55
Gurpi	3230	0.44	1.25	433	223	257	0.56
Gurpi	3260	0.41	1.18	435	223	253	0.53

جدول ۲- اطلاعات دستگاه راک- ایول ۶ در سازند پابده چاه شماره ۵۵ میدان نفتی اهواز

Formetion	Depth (m)	S1 mg HC/ g Rock	S2 mg HC/ g Rock	Tmax C°	HI mg HC/ g TOC	OI mg CO ₂ / g TOC	TOC %
Pabdeh	3153	0.16	0.79	430	117	171	0.67
Pabdeh	3162	0.12	0.19	433	123	255	0.75
Pabdeh	3171	0.09	0.53	427	62	131	0.86
Pabdeh	3181	0.03	0.17	428	86	130	0.2
Pabdeh	3190	0.1	0.69	430	90	205	0.76
Pabdeh	3199	0.27	1.71	437	126	150	1.35
Pabdeh	3208	0.08	0.63	429	94	146	0.67
Pabdeh	3219	0.11	0.98	433	100	216	0.97
Pabdeh	3226	0.1	0.68	428	102	195	0.67
Pabdeh	3239	0.12	0.69	432	98	233	0.7
Pabdeh	3248	0.09	0.52	433	89	227	0.59
Pabdeh	3257	0.31	1.68	435	195	157	0.89
Pabdeh	3266	0.51	1.64	431	185	196	0.89
Pabdeh	3275	1.21	15.37	419	458	56	3.36
Pabdeh	3284	1.22	19.12	416	460	52	4.15
Pabdeh	3293	1.53	18.52	416	462	50	4.01
Pabdeh	3303	0.4	4.5	421	250	110	1.06
Pabdeh	3312	0.57	5.05	420	260	105	1.06
Pabdeh	3321	0.86	4.03	429	230	120	0.84
Pabdeh	3330	2.3	19.12	423	527	55	1.99
Pabdeh	3340	0.4	2.01	427	201	100	0.48
Pabdeh	3348	0.73	2.07	431	248	206	0.84
Pabdeh	3357	0.53	1.51	435	198	211	0.76
Pabdeh	3367	0.45	0.85	433	175	262	0.49
Pabdeh	3376	0.59	0.68	431	167	276	0.41
Pabdeh	3385	0.5	1.24	433	171	225	0.72
Pabdeh	3394	0.42	0.84	428	147	311	0.56

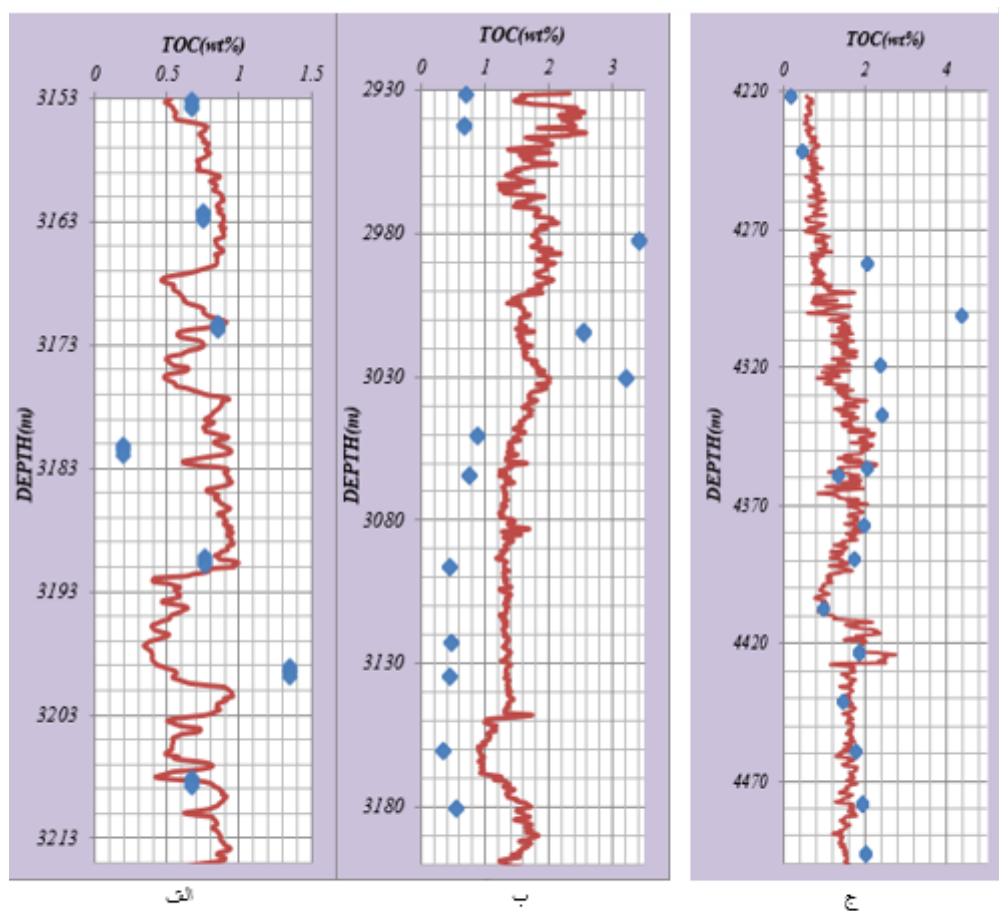
جدول ۳- اطلاعات دستگاه راک- ایول ۶ در سازند کژدمی چاه شماره ۶۷ میدان نفتی اهواز

Formation	Depth (m)	S1 mg HC/ g Rock	S2 mg HC/ g Rock	Tmax C°	HI mg HC / g TOC	OI mg CO2 / g TOC	TOC (%)
Kazhdumi	4221	0.2	0.3	430	176	188	0.17
Kazhdumi	4241	0.7	1.04	430	231	109	0.45
Kazhdumi	4282	2.47	6.36	439	307	70	2.07
Kazhdumi	4301	4.2	17.78	439	407	32	4.37
Kazhdumi	4319	3.61	6.44	436	272	90	2.37
Kazhdumi	4337	2.87	5.31	434	219	100	2.43
Kazhdumi	4356	2.62	5.16	430	253	131	2.04
Kazhdumi	4359	2.16	2.98	433	226	203	1.32
Kazhdumi	4377	2.46	4.19	434	213	127	1.97
Kazhdumi	4389	2.28	4.91	436	282	126	1.74
Kazhdumi	4407	1.18	1.84	430	186	280	0.99
Kazhdumi	4423	2.37	2.74	431	146	105	1.88
Kazhdumi	4441	2.24	2.74	381	188	222	1.46
Kazhdumi	4459	2.85	2.71	429	151	117	1.8
Kazhdumi	4478	3.45	3.55	433	184	105	1.93
Kazhdumi	4496	2.43	4.18	434	208	106	2.01
Kazhdumi	4514	2.92	4.59	437	189	92	2.43
Kazhdumi	4532	3.6	9.6	438	325	59	2.95
Kazhdumi	4606	1.61	1.29	447	161	198	0.8

جدول ۴- اطلاعات دستگاه پیرولیز راک- ایول ۶ در سازند پابده چاه شماره ۶۱ میدان نفتی اهواز

Formation	Depth (m)	S1 mg HC /g Rock	S2 mg HC/ g Rock	Tmax C°	HI mg HC/ g TOC	OI mg CO2 / g TOC	TOC %
Pabdeh	3084	0.37	2.33	430	205	122	1.13
Pabdeh	3094	0.28	1.02	430	136	154	0.75
Pabdeh	3103	0.24	0.63	433	162	361	0.39
Pabdeh	3112	0.26	0.94	432	134	207	0.71
Pabdeh	3129	0.38	1.24	433	140	216	0.89
Pabdeh	3135	0.24	1.84	432	193	142	0.97
Pabdeh	3138	0.92	6.80	425	363	88	1.88
Pabdeh	3141	1.15	11.54	419	462	74	2.50
Pabdeh	3144	1.37	13.88	418	450	65	3.08
Pabdeh	3150	1.73	16.75	417	468	73	3.58
Pabdeh	3153	1.76	15.69	416	512	57	3.07
Pabdeh	3156	1.25	9.56	419	431	72	2.22
Pabdeh	3159	1.14	10.96	416	496	66	2.21
Pabdeh	3162	1.12	9.79	417	398	61	2.46
Pabdeh	3165	0.62	1.72	435	196	188	0.88
Pabdeh	3171	1.97	10.9	426	408	65	2.67
Pabdeh	3174	1.61	6.03	421	205	113	1.16
Pabdeh	3177	0.88	3.34	433	248	127	1.34
Pabdeh	3180	1.01	4.04	421	240	111	1.59
Pabdeh	3186	2.28	11.38	422	416	71	2.74
Pabdeh	3193	1.02	6.03	418	269	98	1.55
Pabdeh	3196	1.10	4.02	419	220	136	1.12
Pabdeh	3202	0.60	4.01	421	240	140	1.58
Pabdeh	3205	0.59	2.1	431	197	138	1.07
Pabdeh	3214	0.70	1.56	432	175	164	0.89
Pabdeh	3217	0.64	0.83	425	181	262	0.46
Pabdeh	3220	0.47	0.86	428	224	267	0.39

پیوست تصاویر:



شکل-۱۱- مقایسه TOC حاصل از GA (خطوط پیوسته) و TOC اندازه‌گیری شده (نقاط لوزی) در ادامه شکل ۱۱- مقایسه TOC حاصل از GA (خطوط پیوسته) و TOC اندازه‌گیری شده (نقاط لوزی) در مقابل عمق، مربوط به چاه Az-55 (الف)، Az-265 (ب) و Az-67 (ج)