

پیش‌بینی گرادیان فشار شکست سازند با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک در یکی از میدان‌های اکتشافی ایران

احمد گنجی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، محمد رستگار، مدیریت اکتشاف

چکیده

تعیین گرادیان شکست سازند یکی از مهمترین پارامترها در صنعت حفاری است. آگاهی از آن برای ایمنی چاه‌ها حیاتی است. تخمین صحیح گرادیان شکست در طراحی چاه، وزن گل، انتخاب عمق جایگذاری لوله جداری و عملیات سیمان‌کاری ضروری است. در این مقاله یک روش جدید جهت پیش‌بینی گرادیان شکست سازند با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش برنامه‌ریزی با بیان ژن پیشنهاد شد. به کمک این روش رابطه‌ای بین متغیرهای مستقل یعنی گرادیان فشار منفذی، گرادیان فشار روباره و ضریب پواسون با متغیر وابسته گرادیان شکست سازند برای هر چاه ارائه گردید. برای این روش اطلاعات دو چاه در یک میدان در ایران مورد مطالعه قرار گرفت. رابطه گرادیان شکست چاه A محاسبه شد و با چاه B اعتبارسنجی گردید. در نهایت یک مدل ریاضی برای میدان توسعه داده شد. نتایج حاصل، موید دقت قابل توجه این روش است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۱۲/۲۰

تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۴/۲۴

واژگان کلیدی:

پیش‌بینی گرادیان شکست، گرادیان فشار منفذی، الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی با بیان

مقدمه

در صنعت نفت، تعیین گرادیان فشار شکست برای طراحی لوله جداری و وزن مناسب سیال حفاری ضروری است که به جلوگیری از هرزروی سیال در حین حفاری کمک می‌کند. پیش‌بینی صحیح گرادیان شکست سازند یکی از پارامترهای اساسی در برنامه‌ریزی چاه است، چرا که اگر سازند در معرض فشاری بالاتر از حد مجاز خود قرار بگیرد، شکست خواهد خورد و هرزروی سیال حفاری رخ می‌دهد. این شرایط ممکن است منجر به فوران چاه گردد. حفارها باید تا آنجا که ممکن است برای جلوگیری از فوران، ناپایداری چاه و هرزروی گردش گل از طریق شکستگی‌ها، وزن گل مناسب را انتخاب کنند. آگاهی از فشار منفذی و گرادیان شکست برای انتخاب یک محدوده ایمن گل حفاری ضروری است. تخمین نادرست گرادیان شکست نیز ممکن است کل عملیات حفاری را به خطر اندازد و باعث مشکلات جدی در چاه شود. محاسبه مقادیر درست گرادیان شکست نقش بسیار مهمی در انتخاب لوله جداری، جلوگیری از هرزروی سیال حفاری و برنامه‌ریزی شکاف هیدرولیکی به منظور افزایش بهره‌وری در بخش‌های مختلف چاه دارد. پیش‌بینی گرادیان شکست به دو روش مستقیم توسط آزمایش نشتی و روش‌های غیرمستقیم براساس پیش‌زمینه تئوری و استفاده از تحلیل و آنالیز تنش انجام می‌گیرد [۱].

هوبرت و ویلیس^۱ (۱۹۵۷) روشی را برای محاسبه گرادیان فشار شکست ارائه کردند که برای ایجاد شکست در سازند باید فشار اعمال شده از مجموع حداقل تنش اصلی و فشار سازند بیشتر باشد [۲]. متیوس و کلی^۲ (۱۹۶۷) رابطه متفاوتی را برای تخمین فشار شکست در مقایسه با هوبرت و ویلیس ارائه کردند [۳]. ایتون^۳ در سال (۱۹۶۹) روش هوبرت

و ویلیس را تصحیح کرد. او فرض کرد که تنش روباره و نسبت پواسون با عمق متغیر است [۴]. در سال (۱۹۷۳) اندرسون^۴ و همکاران مدلی را براساس رابطه تنش و کرنش در یک محیط متخلخل توسعه دادند. دراو و اوسیساینا^۵ (۲۰۰۰) از داده‌های نمودارهای چاه‌پیمایی برای تعیین فشار منفذی و گرادیان شکست سازند استفاده کردند. در سال (۲۰۰۵) نشاوی و ملاله^۶ با استفاده از شبکه عصبی گرادیان شکست را برای یکی از میدان‌های خاورمیانه محاسبه کردند [۵]. اکین‌بینو^۷ در سال (۲۰۱۰) با استفاده از ۲۴ داده دریایی و روش آماری، مدلی برای تخمین گرادیان شکست ارائه کرد [۶]. اونیاینی و البی^۸ (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های آزمایش نشتی^۹ در سرتاسر میدان‌های دلتای نیجر و آنالیز آماری، روابطی را برای تخمین فشار شکست پیشنهاد کردند [۶]. در سال (۲۰۱۵) ماربن^{۱۰} و همکاران یک روش جدید برای تخمین گرادیان شکست بوسیله روابط متیوس-کلی و نسبت تنش ایتون ارائه کردند [۶]. بنابراین برای جلوگیری از شکست سازند و برنامه‌ریزی و کنترل هزینه‌های حفاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش جدید برنامه‌ریزی با بیان ژن^{۱۱}، مدلی ریاضی برای تخمین گرادیان شکست سازند به دست آمد. در این تحقیق با استفاده از روش مذکور تلاش شد تا رابطه ریاضی گرادیان فشار شکست با دقت بالا و خطای کمتر و با در نظر گرفتن حداقل تعداد پارامترهای ورودی ارائه شود.

۱- الگوریتم ژنتیک^{۱۲} و برنامه‌نویسی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روش جستجو در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی در بهینه‌سازی و تخمین مسائل پیچیده است که این الگوریتم تکاملی در

برنامه تخمین زده می‌شود. پس از آن برنامه‌ها بر مبنای برآزش انتخاب می‌گردد تا با اصلاح و تکثیر، نسل تازه‌ای را با ویژگی‌های جدید به وجود بیاورند. این مراحل تا زمانی که یک راه‌حل مناسب یافت شود، برای تعداد مشخصی از نسل‌ها تکرار می‌گردد و سرانجام فرآیند الگوریتم متوقف می‌شود. روش برنامه‌ریزی با بیان ژن توسط نرم‌افزار جین اکس پرو تولز انجام می‌شود. کار این نرم‌افزار پیدا کردن یک مدل ریاضی از روی متغیرهای مستقل با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک می‌باشد [۷].

۲- روش اجرای تحقیق و تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای اجرای این تحقیق، اطلاعات پتروفیزیکی و گزارش‌های حفاری برای دو حلقه چاه (چاه‌های A و B) در یک میدان اکتشافی در ایران (میدان X) که به صورت جهت‌دار حفاری شده‌اند، جمع‌آوری گردید. براساس لیتولوژی و تفکیک سازندها در چاه A و برای ایجاد مدل ریاضی گرادیان شکست طبق داده‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت که بر این اساس، محدوده عمق مطالعات تحقیق روی دو دسته کلی سازندهای کنگان و سازند دالان انجام شد. پارامترهای موثر ورودی شامل، گرادیان فشار منفذی^{۱۸}، گرادیان فشار روباره^{۱۹}، ضریب پواسون^{۲۰} و گرادیان فشار شکست^{۲۱} که این پارامترها با توجه به فرمول‌های تجربی برای هر یک از سازندها به‌طور جداگانه محاسبه شد. ۷۵ درصد داده‌ها به‌صورت آموزش و ۲۵ درصد داده‌ها به‌صورت آزمایش در نظر گرفته

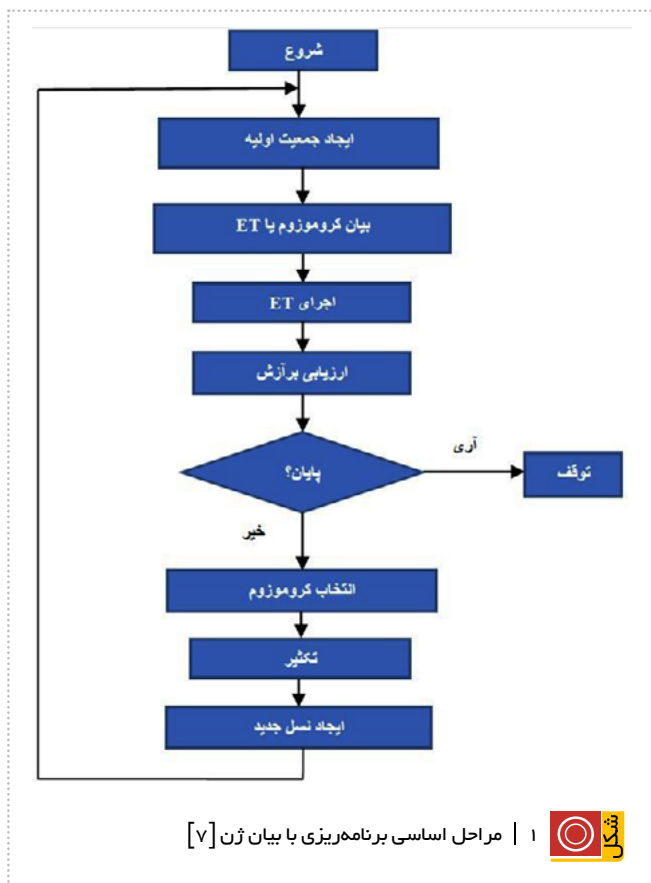
حل مسئله از عملگرهای ژنتیکی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. در واقع الگوریتم ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین^{۲۲} برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی استفاده می‌کند و بطور کلی یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش‌های آن به صورت فرآیندهای تصادفی انتخاب می‌شوند. این الگوریتم از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مسئله‌ای که باید حل شود دارای ورودی‌هایی می‌باشد که طی یک فرآیند الگوبرداری شده از تکامل ژنتیکی به راه‌حل‌ها تبدیل می‌شود. سپس راه‌حل‌ها توسط تابع برآزش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد. در الگوریتم‌های ژنتیک ابتدا به‌طور تصادفی چندین جواب برای مسئله تولید شده، این مجموعه جواب، جمعیت اولیه و هر جواب یک کروموزوم نامیده می‌شود. سپس با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک و پس از انتخاب، کروموزوم‌های بهتر با هم ترکیب شده و جهشی در آنها ایجاد کرده و در نهایت جمعیت فعلی را با جمعیت جدید ترکیب می‌نماید [۷].

برنامه‌ریزی ژنتیک^{۱۴} زیرمجموعه الگوریتم‌های ژنتیک است و یک روش با قابلیت بسیار بالای تکامل خودکار برنامه‌ها می‌باشد. برنامه‌ریزی ژنتیک توسط کوزا^{۱۵} در اواخر دهه ۸۰ میلادی و پس از انجام تحقیقات بر روی رگرسیون نمادین ابداع شد. این روش، برنامه‌ریزی ژنتیک مبتنی بر درخت بیان نیز نامیده می‌شود. تفاوت اساسی میان روش‌های الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی ژنتیک این است که برنامه‌های در حال تکامل در برنامه‌ریزی ژنتیک به‌جای رشته‌های دودویی با طول ثابت در الگوریتم ژنتیک، به‌صورت تفکیک درختی می‌باشد. برنامه‌ریزی ژنتیک در واقع رابطه یک تابع را با استفاده از الگوریتم ژنتیک حدس خواهد زد [۷].

۱-۱- روش برنامه‌ریزی با بیان ژن

کاندیدا فریرا^{۱۶} یک الگوریتم جدید براساس الگوریتم‌های ژنتیک و برنامه‌نویسی ژنتیک پیشنهاد کرد که برنامه‌ریزی با بیان ژن نام دارد. این الگوریتم تکاملی جدید برای غلبه بر بسیاری از محدودیت‌های الگوریتم ژنتیک و برنامه‌نویسی ژنتیک ایجاد شده است. برنامه‌ریزی با بیان ژن را می‌توان یک زیرمجموعه جدیدی از برنامه‌نویسی ژنتیک دانست و تفاوت بین این دو در ارائه راه‌حل‌ها می‌باشد. این روش دارای دو قسمت اصلی شامل، کروموزوم‌ها و درختان بیان^{۱۷} است. روش برنامه‌ریزی با بیان ژن در واقع یک مدل با منطق الگوریتم ژنتیک ایجاد خواهد کرد [۷].

مراحل اساسی روش برنامه‌ریزی با بیان ژن در شکل ۱- نشان داده شده است. در این روش یک تابع ریاضی به عنوان کروموزوم با چند ژن تعریف می‌شود که با استفاده از داده‌های ارائه شده به آن توسعه می‌یابد. همانگونه که مشاهده می‌شود، این روش با یک نسل تصادفی از کروموزوم‌ها به عنوان جمعیت اولیه شروع می‌شود. سپس این کروموزوم‌ها به‌صورت درخت بیان نمایش داده شده و برآزندگی هر

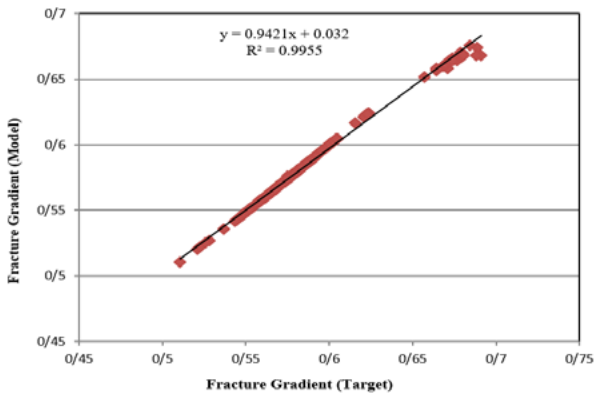


شکل ۱ | مراحل اساسی برنامه‌ریزی با بیان ژن [۷]

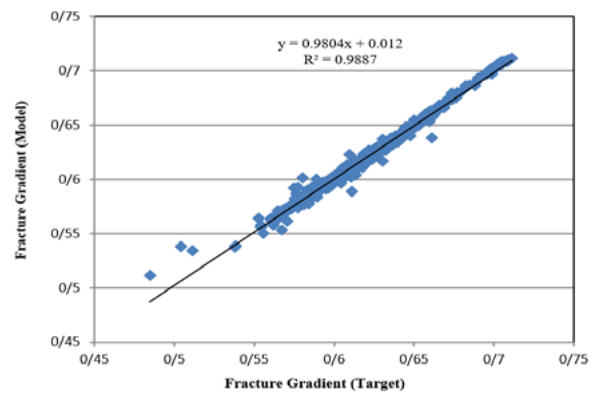


برای پیش‌بینی گرادیان شکست در دو فاز آموزش و آزمایش و برای سازندهای کنگان و دالان در چاه A را نمایش داده که همبستگی خوبی را نشان می‌دهند. در نهایت، بهترین مدل ریاضی سازند کنگان بصورت رابطه (۱) ارائه گردید.

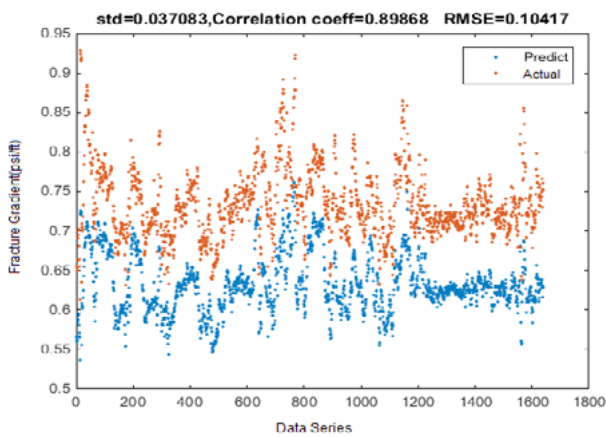
و به نرم‌افزار داده شده‌اند. میزان ضریب تعیین (R^2) این روابط در هر دو فاز آموزش و آزمایش بسیار بالاست. با مقایسه مقادیر واقعی گرادیان شکست و پیش‌بینی‌های روش، مشخص شد که در هر دو فاز دقت بالایی دارد. شکل‌های ۲-۵ تا ۵، نتایج کل بررسی‌های انجام شده



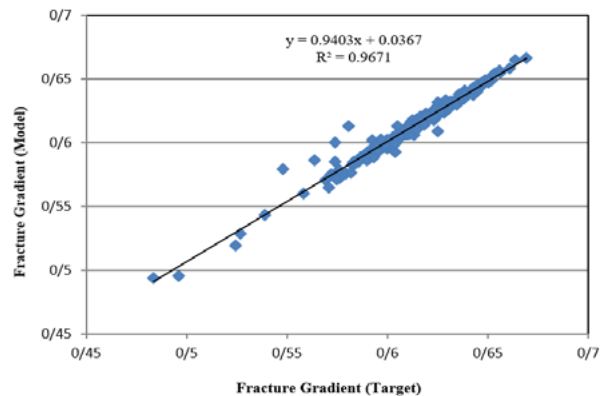
۵ | نمایش داده‌های آزمایش سازند دالان در چاه A



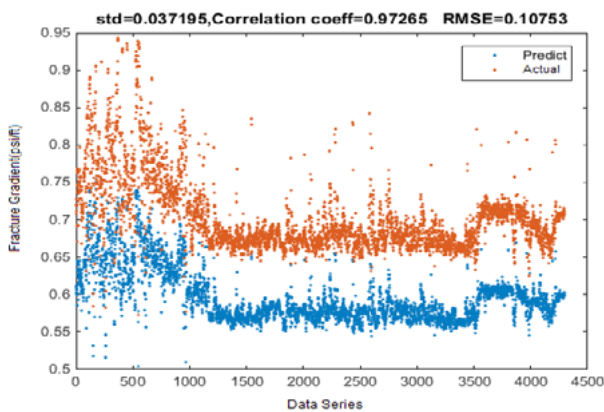
۲ | نمایش داده‌های آموزش سازند کنگان در چاه A



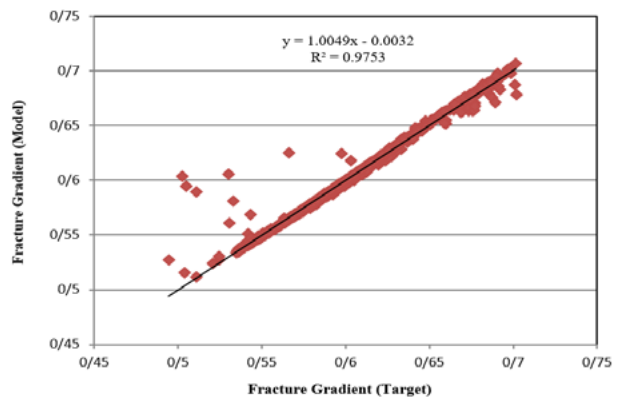
۶ | نمایش اعتبارسنجی آماری مدل سازند کنگان چاه B



۳ | نمایش داده‌های آزمایش سازند کنگان در چاه A



۷ | نمایش اعتبارسنجی آماری مدل سازند دالان چاه B



۴ | نمایش داده‌های آموزش سازند دالان در چاه A

یا هم پوشانی این خطوط نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های این روش نسبت به مقادیر واقعی تطابق خوبی دارند.

نتیجه‌گیری

۱- این تحقیق ارائه‌کننده روشی کاربردی است که می‌تواند مورد توجه بسیاری از شرکت‌های نفتی باشد. با استفاده از روش برنامه‌ریزی با بیان ژن، مدلی ریاضی برای تخمین گرادیان شکست سازند در میدان مورد مطالعه ارائه شد. این روش هیچ محدودیتی در تعداد پارامترهای ورودی ندارد که این یک ویژگی بسیار خوب نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد.

۲- نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد با جای‌گذاری مقادیر واقعی گرادیان شکست چاه B در مدل ریاضی حاصل از چاه A، داده‌های به‌دست آمده از لحاظ ساختار کلی یکسان بوده و به هم نزدیک هستند به طوری که ضریب تعیین (R^2) برای چاه A در سازند کنگان در فاز آزمایش ۰/۹۶۷ و در سازند دالان ۰/۹۹۵ به دست آمد که نتایج بسیار مطلوبی را نشان می‌دهند.

۳- به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که روابط حاصل به‌خوبی می‌توانند روابط بین پارامترهای ورودی و هم‌چنین تأثیر آن‌ها را روی خروجی تشخیص دهند و به‌طور هوشمندانه‌ای نسبت به داده‌های جدید قابلیت تعمیم داشته باشند.

۴- از نمودارهای به‌دست آمده و نتایج حاصل، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های مدل (پیش‌بینی)، داده‌های واقعی را تقریباً تایید می‌کنند.

$$FPG = \left(\left(\frac{PPG}{(PR + OPG)} \right) \times \frac{(PPG)^{1/3}}{OPG} \right) + \left(\exp((PR)^{1/3} \times -7.797821) \right) \quad (1)$$

$$\left(\sqrt{(PR) + (OPG + PPG)} \right) + \left(PR - \left((OPG)^3 \times (PPG - OPG)^3 \right)^{1/3} \right)$$

همچنین مدل ریاضی داده‌های سازند دالان نیز در رابطه (۲) بیان شد.

$$FPG = \left(\left((OPG \times PR) \times -1.663269 \right) + (PR - 1.663269) \right) \quad (2)$$

$$- \text{Log}(\sqrt{PPG}) + \left(\left(\frac{PR^2}{OPG} \right) \times (OPG - PR) - \text{Log}(OPG) \right) + \left(\sqrt{(PR^2) + 6.254486} \right) \times (OPG \times PPG) + PR$$

در روابط (۱) و (۲)، گرادیان فشار منفذی با نام اختصاری PPG برحسب (psi/ft)، گرادیان فشار روباره (OBPG) بر حسب (psi/ft)، ضریب پواسون (PR) بدون بعد و گرادیان فشار شکست سازند (FPG) برحسب (psi/ft) مشخص شده است.

۳- اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی روش، داده‌های واقعی گرادیان شکست محاسبه شده از چاه B در مدل ریاضی حاصل از چاه A برای دو سازند کنگان و دالان جایگذاری شد که در شکل ۶- و شکل ۷- نتایج اعتبارسنجی و میزان همبستگی آنها نمایش داده شده است. نزدیکی

پانویس‌ها

- | | | |
|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1- Hubbert and Willis | 8- Onyinye and Alabi | 15- Koza |
| 2- Matthews and Kelly | 9- Leak-off test | 16- Candida Ferreira |
| 3- Eaton | 10- Marbun et al | 17- Expression Tree |
| 4- Anderson et al | 11- Gene Expression Programming | 18- Pore Pressure Gradient |
| 5- Draou and Osisanya | 12- Genetic Algorithm | 19- Overburden Pressure Gradient |
| 6- Nashawi and Malallah | 13- Darwinian | 20- Poisson's Ratio |
| 7- Akinbinu | 14- Genetic Programming | 21- Fracture Pressure Gradient |

منابع

- [1]- Bourgoyne, A.T., et al, "Applied Drilling Engineering", Society of Petroleum Engineers Richardson, TX, 1991, pp. 265-294.
- [2]- Hubbert, M.K. and Willis, D.G., "Mechanics of Hydraulic Fracturing", Trans. AIME Vol.210, 1957, pp. 153-166.
- [3]- Mathews, W.R. and Kelly, J., "How to predict Formation Pressure and Fracture Gradient from Electric and Sonic logs" Oil and Gas J, (February 20, 1967).
- [4]- Eaton, B.A., "Fracture Gradient Prediction and Its Application in Oilfield Operations", IPT, 1353-60; Trans, AIME, 246, (1969).
- [5]- Nashawi, I.S., Malallah, A., "Predicting the formation fracture gradient of Middle East reservoirs using non-parametric optimal, transformations", SPE 92719. Middle East Oil and Gas Show Manama, Bahrain, 2005.
- [6]- Hossain, M. E. & Al-Majed, A. A., "Fundamentals of Sustainable Drilling Engineering". Massachusetts, Canada, 2015, PP.251-319.
- [7]- Ferreira, C., "Gene Expression Programming (Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence)", (Second, revised and extended edition), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2006).