بهينه سازی توليد ميادين نفتی با استفاده از الگوريتم ژنتيکی

محسن توكليان
انستيتو مهندسي نفت - پرديس دانشكده هاي فني – دانشگاه تهران
فرهنگ جلالی فراهانی
دانشيار انستيتو مهندسي نفت – پرديس دانشكده هاي فني – دانشگاه تهران
fjlali@ut.ac.ir
(تاريخ دريافت ۸۲/۱۲/۱۶ ، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۴/۱۲/۱۳ ، تاريخ تصويب ۸۵/۲/۹)

چكيده

هدف از انجام اين تحقيق، بررسي كارآيي روش ((الگوريتم ژنتيكي)) براي بهينه سازي توليد و طراحي چاههاي هيدروكربني است. اين مقاله روش جديدي براي تحليل يک سيستم توليد هيدروكربوري را ارائه مي كند. اين روش، يک روش آماري – تصادفي[1] است كه مي تواند يک سيستم با تعداد متغيرهاي تصميم بسيار زياد را مورد تحليل قرار داده و بهترين مقدار آنها را به نحوي تعيين كند كه بيشترين سود اقتصادي عايد گردد. روش مورد بحث در اين مقاله، ((الگوريتم ژنتيكي)) است كه پس از تعريف يک مدل مناسب براي توليد از يک ميدان نفتي يا گازي، مي توان با استفاده از اين روش بهينه مدل را به دست آورد.

عملكرد[2] يک چاه توليدي تابعي از متغيرهاي گوناگون است؛ مانند اندازه لوله مغزي، سايز كاهنده و فشار تفكيک كننده ها. هر تغييري در مقدار هر كدام از اين متغيرها باعث تغيير در عملكرد چاه توليدي خواهد شد.

سيستم مفروض در اين مقاله شامل لوله مغزي، كاهنده و تفكيک كننده هاست. برنامه نوشته شده از الگوريتم ژنتيكي بهره مي برد تا بهترين مقادير را براي سايز لوله مغزي، سايز كاهنده و فشار تفكيک كننده ها به دست آورد، به نحوي كه بتوان بيشترين استحصال مايعات هيدروكربوري را داشت. اين برنامه كه در محيط MATLAB نوشته شده است، مي تواند سيستم هاي با دو سايز لوله مغزي (تركيبي از لوله مغزي و جداري) را در نظر گرفته و بهترين عمقي كه بايستي در آن عمق، سايز لوله مغزي تغيير كند را نيز محاسبه نمايد. علاوه بر آن، برنامه مذكور توانايي آن را دارد كه بتواند بهينه تعداد تفكيک كننده ها را نيز مشخص نمايد.

در پايان اين روش براي يک ميدان واقعي مورد بررسي قرار گرفته و نتايج آن با نتايج حاصله از نرم افزار شبيه ساز Prosper مقايسه شده است.

واژه های کليدی: بهينه سازي، الگوريتم ژنتيكي، كروموزوم، ژن، تابع هدف، پارامترهاي تصميم، سيستم توليد، مدل رياضي توليد

مقدمه

هدف اصلي يک مهندس نفت آن است كه پارامترهاي قابل كنترل را به گونه اي تعيين كند كه بيشترين مقدار هيدروكربن حاصل شود. حل اين مساله مشتمل بر دو مقوله است: يكي مدل مخزن و خواص پتروفيزيكي آن و دوم سيستم توليدي ميدان. مقوله اول مي تواند مسائلي از قبيل تعيين بهترين نقاط حفر چاههاي توليدي (و تزريقي)، تعيين مدل استاتيک مخزن[3] و يا نحوه تكميل چاههاي توليدي را در بر گيرد. در مقوله دوم تعداد متغيرهاي قابل تغيير و بازه تغييرات آنها وسيعتر است. در اين مقوله بر حسب آنكه سيستم توليدي مشتمل بر چه قسمتها و ابزارهايي است، تعداد و نوع متغيرها مي تواند بسيار متنوع باشد. اين سيستم مي تواند يک سيستم ساده و معمول يا سيستمي با پيچيدگيهاي خاص خود (مثلاً شامل فرازآوري با گاز[4] و يا سيلابزني[5]) باشد.

روشهايي موجود براي حل اين گونه مسائل را مي توان به دو دسته بزرگ ۱) روشهاي بهينه سازي خطي[6] و ۲) روشهاي بهينه سازي غيرخطي[7] تقسيم كرد.

اولين كارهايي كه در زمينه بهينه سازي توليد صورت گرفت بر اساس برنامه ريزي خطي بود. در اين روش از برخي پيچيدگيهاي سيستم چشم پوشي شده و سيستم با تركيبي از چندين معادله خطي بيان شده

و تحلیل مي گردد. Aronofsky and Lee (1958) [۱] یک مدل خطي را طراحي کردند که بتوانند با استفاده از آن تولید یک میدان را برنامه ریزي کرده و ماگزیمم سود را استحصال کنند. Aronofsky and Williams (1962) [۲] مدلي مشابه را به کار بردند تا مشکلات تولید را براي یک برنامه حفاري مشخص و همچنین مشکلات حفاري را براي یک برنامه تولید مشخص را مورد بررسي قرار دهند. Attra et al. (1961) [۳] یک مدل خطي را بکار بردند تا دبي ماگزیمم را با لحاظ کردن محدودیتهاي تولید بدست آورند. در تمامي کارهاي گفته شده، معمولاً مخازن همگن و تک فاز فرض شده و معادله خطي براي مخزن بر اساس معادلات موازنه مواد بکار برده شده است.

O'Dell et al. (1973) [۴] یک مدل خطي را براي یک مخزن چند گانه بکار بردند تا برنامه تولید را بهینه کنند. Huppler (1979) [۵] یک مدل دینامیک را براي بهینه سازي طراحي و تسهیلات سطح الارض بکار برد.

بسیاري از محققین سعي کردند تا از ترکیب مدلسازي عددي با مدلهاي خطي بهره گیرند. Wattenbarger (1970) [۶] این تکنیک را براي برنامه تولید یک مخزن گازي بکار برد. Rosenwald and Green (1974) [۷] از این روش براي تعیین محل بهینه چاهها استفاده کردند. Murray and Edgar (1978) [۸] مدل مشابهي را براي یافتن بهینه محل چاهها و برنامه تولید بکار بردند. Zakirov and Kolbikov (1982) [۹] از حل عددي مخزن و موازنه مواد (Material Balance) براي بهینه سازي تولید یک مخزن گازي و با فرض تک فاز بودن مخزن و نا همگون بودن محیط متخلخل استفاده کردند.

Lea and Brown (1986) [۱۰] از روش Nodal Analysis براي بدست آوردن بهترین مقدار تولید هر چاه استفاده کردند. Fujii and Horne (1995) [۱۱] از دو روش Polytope و الگوریتم ژنتیکي (GA) براي بهینه سازي تسهیلات سطح الارض و شبکه خطوط لوله استفاده کردند. Carroll and Horne (1992) [۱۲] از سه روش Polytope، نیوتن و Finite Difference استفاده کردند تا کارایي آنها را در حل مسائل بهینه سازي مورد بررسي قرار دهند.

Palke et al. (1998) [۱۳] از دو روش Polytope و الگوریتم ژنتیکي براي طراحي و بهینه سازي مدل چاهي که داراي Gas Lift است استفاده کردند و نشان دادند که الگوریتم ژنتیکي در این کار بسیار توانا و کارآمد است. Yan Pan et al. (1999) [۱۴] از تلفیق دو روش حداقل مربعات (Least Squares) و کریجینگ براي بهینه سازي برنامه تولید و محل چاهها بهره گرفتند.

الگوریتم ژنتیکی (GA)

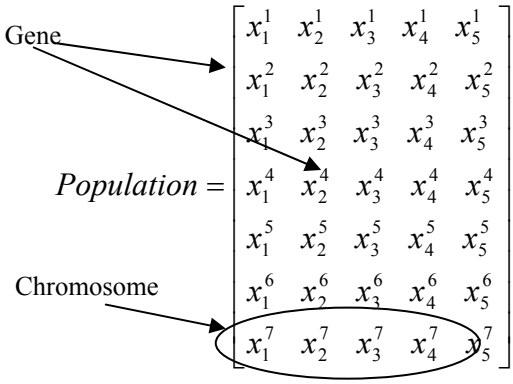
GA یك تكنيك جستجوي آمار تصادفي[۸] و الهام گرفته شده از مكانيزم طبيعي ژنتيك است كه با يك مجموعه جواب تصادفي كه جمعيت[۹] نام دارد شروع ميشود. هر عضو اين جمعيت يك كروموزوم[۱۰] ناميده ميشود و نمايانگر يك جواب مساله مي باشد. كروموزومهاي جديد در طول حلقه هاي مشخصي به نام حلقه هاي توليد[۱۱] مرتبا توليد ميشوند. در طول هر حلقه توليد كروموزومها بر اساس لياقت[۱۲] برآورد ميشوند[۱۳]. براي توليد نسل بعدي كروموزومها، كروموزومهاي فرزند[۱۴] به وسيله دو ابزار لقاح[۱۵] – با تركيب كردن دو كروموزوم والدين[۱۶] – و ابزار جهش[۱۷] – با تغيير ساختار كروموزوم اصلي – توليد ميشوند. از بين تمام كروموزومهاي قبلي و جديد، يك جمعيت جديد بر اساس لياقت انتخاب شده[۱۸] و مابقي كروموزومها حذف ميشوند، به نحوي كه تعداد جمعيت ثابت بماند. بعد از تكرار زياد اين حلقه، بهترين كروموزوم كه جواب نهايي و نقطه بهينه[۱۹] است، محاسبه و انتخاب ميشود.

براي استفاده از اين الگوريتم، مانند هر روش بهينه سازي ديگر، ابتدا بايد تابع هدف[۲۰] تعريف شده و همچنين پارامترهاي متغير اين تابع كه با GA بهينه خواهند شد, مشخص گردد. علاوه بر اين, بايستي محدوديتهايي كه براي متغيرهاي مذكور وجود دارد تعريف شوند. اين محدوديتها كه ميتوانند خود به صورت تابع و يا به صورت نامساوي باشند, توابع جريمه[۲۱] را در الگوريتم تشكيل خواهند داد.

در روش GA, مجموعه اي از مقادير عددي متغيرهاي مورد نظر براي بهينه سازي, تشكيل يک جمعيت ميدهند. همانطور كه در شكل (۱) نشان داده

ميشود، مقدار عددي هر كدام از متغيرها, ژن[۲۲] ناميده ميشود و برداري كه شامل مقدار عددي تمام متغيرها مي باشد, كروموزوم را تشكيل ميدهد. بنابراين هر كروموزوم مشتمل بر چند ژن (به تعداد متغيرها) است.

چنانچه GA در سيستم دودويي[۲۳] استفاده شود, مقادير تمامي متغيرها بايستي در اين سيستم ترجمه[۲۴] شده و در مواقع لزوم مانند بدست آوردن مقدار تابع هدف, دوباره به سيستم اعداد حقيقي برگردانده[۲۵] شوند.



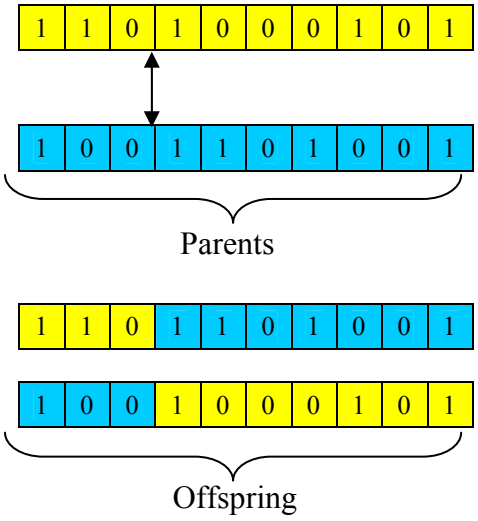
شكل ۱: جمعيت و اجزاى تشكيل دهنده آن در سيستم حقيقى.

لياقت هر كروموزوم بسته به نوع مسأله تعريف ميشود. چنانچه مسأله بيشينه سازي باشد, كروموزومي لياقت بيشتري دارد كه مقدار تابع هدف به ازاي آن بيشتر باشد و بالعكس.

الگوريتم ژنتيكي از يک جمعيت تصادفي به عنوان جمعيت اوليه استفاده مي نمايد و در هر حلقه تكرار مراحل زير بر روي جمعيت انجام مي شود[۱۵] :

۱.انتخاب: در اين مرحله, كروموزومهايي كه لياقت بيشتري دارند انتخاب شده و جمعيت جديدي را تشكيل ميدهند. هر كروموزومي كه لياقت بيشتري دارد, شانس بيشتري براي بقا و انتخاب شدن براي جمعيت جديد دارد. حتي ممكن است كروموزوم هايي كه لياقت خيلي بالايي دارند, دو يا چند بار انتخاب شوند.

۲.لقاح: در اين مرحله, بر حسب مقدار تعريف شده p_c (احتمال لقاح[۲۶]) كه در كل برنامه مقدار ثابتي دارد, تعدادي از كروموزومها به عنوان والدين انتخاب ميشوند. هر جفت كروموزوم طي عمل لقاح تشكيل دو فرزند ميدهند.



شكل ۲ : عمل لقاح در سيستم دودويى.

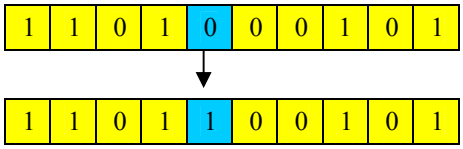
همانطور كه در شكل (۲) نمايش داده شده است، در سيستم دودويي, عمل لقاح كروموزومهاي والدين از يک نقطه برش تصادفي[۲۷], قطع شده و قطعات بريده شده بصورت ضربدري كنار هم قرار گرفته و تشكيل كروموزومهاي فرزند را ميدهند.

مرحله لقاح در سيستم اعداد حقيقي با رويه زير انجام ميگيرد:

$$\mathbf{v}_1' = \mathbf{v}_1 + (1-\lambda)\,\mathbf{v}_2$$
$$\mathbf{v}_2' = \mathbf{v}_2 + (1-\lambda)\,\mathbf{v}_1 \qquad (۱)$$

كه در آن $\mathbf{v}_1$ و $\mathbf{v}_2$ بردارهاي والدين، λ يک عدد تصادفي در بازه (۰,۱) و $\mathbf{v}_1'$ و $\mathbf{v}_2'$ بردارهاي فرزندان هستند.

۳.جهش: اين مرحله براي فرار از بهينه هاي محلي[۲۸] و رسيدن به بهينه كلي[۲۹] انجام ميشود كه در طي آن برخي ژنها بصورت تصادفي انتخاب و تغيير مي كنند. انتخاب تصادفي اين ژنها با چگالي p_m كه در كل برنامه مقداري ثابت دارد, انجام مي شود. عمل جهش در سيستم دودويي به اين صورت است كه چنانچه ژن انتخاب شده يک باشد, مقدار آن به صفر تغيير مي يابد و بالعكس (شكل ۳).



شکل ۳ : عمل جهش در سیستم دودویی.

چنانچه بیشینه سازي[۳۰] مد نظر باشد، این مرحله در سیستم اعداد حقیقي توسط رویه زیر انجام میگیرد[۱۶] :

$$x_k^{'} = x_k + \Delta(t, x_k^U - x_k)$$

(۲)

و چنانچه کمینه سازي[۳۱] مد نظر باشد:

$$x_k^{'} = x_k - \Delta(t, x_k - x_k^L)$$

(۳)

که در آنها x_k^U و x_k^L بترتیب بیشترین مقدار و کمترین مقدار x_k (ستون k ام جمعیت) و t شماره تکرار حلقه است وتابع $\Delta(t,y)$ به این صورت تعریف میشود[۱۶] :

$$\Delta(t,y) = y.r.\left(1 - \frac{t}{T}\right)$$

(۴)

که در آن r یک عدد تصادفي در بازه (۰,۱) و T تعداد کل حلقه هاي تکراري است که بایستي انجام شود.

۴. مرتب سازي (Sorting): کل کروموزوم هاي حاصله از مراحل بالا بر حسب لیاقت مرتب شده و بهترین آنها به عنوان جمعیت جدید وارد حلقه بعد شده و مراحل مذکور دوباره بر روي جمعیت جدید انجام مي شود.

در پایان و پس از تکرار حلقه عملیات ذکر شده به تعداد مشخص, اولین کروموزوم در آخرین تکرار, جواب مسأله خواهد بود.

ساخت مدل

مدلي که در این کار طراحي و تحلیل شده است، یک سیستم معمول در تولید میادین نفتي و گازي است. این مدل از سه قسمت اصلي تشکیل شده است:

۱) لوله مغزي[۳۲] ۲) کاهنده[۳۳] و ۳) تفکیک کننده ها[۳۴].

در مدل جامع طراحي شده، این قسمتها در تعامل با یکدیگر بوده و هر جزء روي اجزاء دیگر اثرگذار است.

سیال مخزن پس از جریان یافتن در دهانه چاه وارد لوله مغزي مي شود. جریان در لوله مغزي، عمودي و به صورت یک یا دو فازي است. جریان سیال پس از عبور از تاج چاه، وارد کاهنده میشود. این جریان دو فازي است و مي تواند به صورت جریان بحراني[۳۵] یا جریان زیر بحراني[۳۶] باشد. پس از عبور از کاهنده، جریان وارد تفکیک کننده ها مي شود تا فازهاي مختلف از هم تفکیک شوند. آخرین مرحله تفکیک در تانک ذخیره[۳۷] و در دما و فشار محیط انجام میشود. تعداد تفکیک کننده ها (بجز تانک ذخیره) مي تواند یک، دو یا سه عدد باشد. خروجي مایع هیدروکربني هر تفکیک کننده، ورودي تفکیک کننده بعدي است.

هدف از طراحي و تحلیل این مدل براي یک میدان نفتي، تعیین پارامترهاي مدل مذکور براي دستیابي به بیشترین میزان مایعات هیدروکربني است.

جریان عمودی سیال (مدل لوله مغزی)

براي آنکه بتوان یک مدل واقعي براي جریان عمودي داخل چاه ارائه داد، یک مدل جریان چند فازي مورد نیاز است. این مدل بایستي توانایي کار با بازه وسیعي از اجزاء هیدروکربني را داشته باشد. یکي از بهترین روابط تجربي ارائه شده که توانائیهاي لازم براي این کار را دارد، رابطه Aziz, Govier, and Fogarasi (AGF) است[۱۷]. در این رابطه، بر اساس خواص فازهاي سیال (که وابسته به فشار و دما هستند)، رژیم جریاني سیال مشخص میشود. این رژیم جریاني یکي از حالات جریان حبابي[۳۸]، جریان لخته اي[۳۹]، جریان انتقالي[۴۰] یا جریان مه آلود[۴۱] خواهد بود. سپس بر اساس نوع رژیم جریاني، افت فشار ایجاد شده توسط جریان عمودي و چند فازي سیال محاسبه مي شود.

در رابطه مذکور ابتدا بایستي رژیم جریاني تشخیص داده شود و با توجه به آن، افت فشار در طول جریان با استفاده از رابطه تجربي مربوطه محاسبه گردد. رژیم جریاني در رابطه (AGF) با پارامترهاي زیر محاسبه میشود:

$$N_x = V_{SG}\left(\frac{\rho_G}{0.0764}\right)^{1/3}\left(\frac{72\,\rho_L}{62.4\,\sigma_L}\right)^{1/4}$$

(۵)

$$N_y = V_{SL}\left(\frac{72\,\rho_L}{62.4\,\sigma_L}\right)^{1/4}$$

(۶)

مقادير محاسبه شده N_x و N_y، رژيم جرياني غالب را مشخص ميكند. رابطه AGF براي هر كدام از چهار رژيم جرياني، يك رابطه تجربي ارايه ميدهد كه بر اساس آن ميتوان افت فشار در طول جريان را بدست آورد.

براي اعمال اين رابطه و يافتن توزيع فشار در لوله مغزي بايستي يک رويه تكرار را انجام داد.در اين رويه كل طول لوله مغزي به چندين بخش (گره) تقسيم شده و محاسبات از فشار ته چاهي[۴۲] (اولين گره) شروع و در هر گام[۴۳] يک فشار حدس زده شده و سيال در آن فشار flash (تبخير آني) ميشود و به اين ترتيب خواص سيال در آن نقطه محاسبه ميشود. با استفاده از خواص محاسبه شده سيال و توسط رابطه AGF، رژيم جرياني، پس ماند مايع[۴۴] و افت فشار محاسبه مي گردد. فشار محاسبه شده توسط رابطه AGF و فشار حدس زده شده با هم مقايسه شده و اين كار تا همگرا شدن اين دو مقدار ادامه مي يابد.

اين رويه تا رسيدن به تاج چاه[۴۵] ادامه مي يابد و به اين ترتيب فشار در تاج چاه محاسبه شده و همچنين توزيع فشار در لوله مغزي به دست مي آيد. رويه ذكر شده به صورت شماتيك در شكل (۴) نمايش داده شده است.

لوله مغزي در چاه مي تواند به صورت تک سايز يا دوگانه (شكل ۵) به كار رود. چنانچه لوله مغزي به صورت دوگانه به كار رود، از دو سايز متوالي استفاده مي شود و بايستي عمقي كه در آن اين تغيير سايز صورت مي گيرد نيز معين گردد.

مدل كاهنده[۴۶]

كاهنده هاي سطحي محدود كننده هايي براي جريان سيال هستند كه بين تاج چاه و تفكيک كننده ها قرار داده مي شوند تا:

۱. دبي جريان نفت و گاز را كنترل كند،
۲. ايجاد يک فشار برگشتي[۴۷] نمايد تا سازند را از آسيب محافظت كند،
۳. از انتشار اغتشاشهاي جريان پايين دستي به جريان بالادستي جلوگيري كند و
۴. تسهيلات سطح الارض را در مقابل لخته اي شدن[۴۸] جريان محافظت كند.

يكي از اهداف اصلي قرار دادن كاهنده در مسير جريان، ايجاد جريان بحراني[۴۹] است كه در اين حالت دبي جريان در كاهنده، مستقل از فشار بالادستي است. جريان بحراني از نظر عملي مزاياي زيادي دارد از جمله آنكه اگر به هر دليلي فشار تفكيک كننده تغيير كند، اثري بر فشار تاج چاه نداشته باشد. جريان بحراني در كاهنده زماني اتفاق مي افتد كه نسبت فشار خروجي به فشار ورودي در كاهنده كمتر از يک مقدار معين (نزديک به ۰/۵) باشد[۱۸].

روابط زيادي براي مدلسازي جريان سيال در كاهنده وجود دارد كه بسياري از آنها محدود به شرايط خاصي از جريان هستند. مثلاً برخي از آنها تنها جريان تک فاز و برخي فقط شرايط جريان بحراني را در نظر گرفته اند. اما كاملترين رابطه اي كه براي كاهنده موجود است رابطه اي است كه توسط Sachdeva, Schmidt, Brill, and Blais پيشنهاد شده است[۷]. اين رابطه توانايي پيش بيني جريان چند فازي در هر دو محدوده جريان بحراني و زير بحراني را دارد. پس از تعيين نوع جريان (بحراني يا زير بحراني)، دبي نفت و گاز خروجي محاسبه مي شود.

مدل تفكيک كننده[۵۰]

تفكيک كننده ظرفي است كه يک جريان چند فازي را دريافت و آنها را بر اساس اختلاف چگالي، تفكيک مي كند. فاكتور كنترل كننده در تفكيک كننده، فشار آنهاست و مقدار خروجي هر فاز بسته به مقدار اين فشار است. چنانچه فشار تفكيک كننده بسيار زياد باشد، مايع خروجي داراي مقدار زيادي گاز محلول خواهد بود و اگر اين فشار بسيار كم باشد، مقدار زيادي از مايعات هيدروكربني با ارزش، با جرم مولكولي متوسط، توسط گاز خروجي از دست خواهند رفت.

جريان سيال پس از عبور از كاهنده، وارد اولين تفكيک كننده مي شود. پس از تفكيک فازهاي مختلف سيال در اين تفكيک كننده، فاز گاز از آن خارج و وارد خط لوله جمع آوري گاز ميشود. فاز مايعات هيدروكربني تفكيک كننده اول، وارد تفكيک كننده

دوم مي شود و مانند تفکیک کننده قبلي عمل میشود. تعداد این تفکیک کننده ها بسته به نوع سیال و فشار ورودي به اولین تفکیک کننده، مي تواند متغیر باشد. آخرین تفکیک کننده، تانک ذخیره است که دما و فشار آن، دما وفشار محیط است. مایع هیدروکربني خروجي از تانک ذخیره، محصول نهایي میدان بوده و گاز خروجي از آن معمولاً در دودکش[۵۱] سوزانده مي شود (شکل ۳).

تفکیک فازهاي سیال در گذر از تفکیک کننده ها یک پروسه تبخیر جزئي[۵۲] است و محاسبات مربوط به هر تفکیک کننده، همان محاسبات تبخیر آني[۵۳] مي باشد[۱۹].

بطور مثال سیستمي‌شبیه شکل (۶) با برنامه زیر شبیه سازي مي‌شود:

۱) ورودي برنامه، خواص سیال خروجي از کاهنده است. ترکیب سیال و دبي جریان به ترتیب Z و N_{wh} است.

۲) سیال Z ابتدا در P_{sep1} فلش مي‌شود. جزء مولي مایع در این مرحله L_1 است. بنابراین دبي جرمي‌فاز گاز با جزء مولي y_1 برابر$N_{wh}(1 - L_1)$ مي‌شود و دبي جرمي فاز مایع با جزء مولي x_1 برابر با $N_{wh}L_1$. فاز گاز از بالاي تفکیك کننده خارج شده و فاز مایع وارد تفکیک کننده بعدي مي شود.

۳) سیال x_1 در P_{sep2} فلش مي‌شود. جزء مولي مایع در این مرحله L_2 است. فاز گاز و مایع به ترتیب با ترکیب y_2 و x_2، دبي جرمي معادل $N_{wh}L_1(1 - L_2)$ و $N_{wh}L_1L_2$ است. فاز گاز از تفکیك کننده خارج شده و در خط گاز خروجي تفکیك کننده قبلي قرار مي‌گیرد.

۴) سیال نهایتاً وارد تانك ذخیره مي‌شود. سیال x_2 در P_{atm} و T_{atm} فلش مي‌شود. جزء مولي مایع معادل L_{st} است. نفت قابل فروش، خروجي از تانك ذخیره، دبي معادل $N_{wh}L_1L_2L_{st}$ و ترکیبي برابر با X_{st} خواهد داشت.

۵) جریان کلي گاز برابر مي‌شود با $N_{wh}(1-L_1)+N_{wh}L_1(1-L_2)$

نسبت مقدار مایع خروجي از تانک ذخیره به مجموع مقدار گازهاي خروجي از تفکیک کننده ها، GOR[۵۴] مي باشد.

مقدار GOR وابسته به مقدار تمامي پارامترهاي تصمیم میباشد. این مقدار همان تابع هدف است که بایستي مینیمم شود. با مینیمم شدن GOR، مقدار B_o مینیمم و ^{o}API ماگزیمم میشود (شکل ۷).

روش بهینه سازی

مدلي که در این کار طراحي و تحلیل شده است، یک سیستم معمول در تولید میادین نفتي و گازي است. این مدل از سه قسمت اصلي تشکیل شده است: ۱) لوله مغزي ۲) کاهنده و ۳) تفکیک کننده‌ها.

در مدل جامع طراحي شده، این قسمتها در تعامل با یکدیگر بوده و هر جزء روي اجزاء دیگر اثرگذار است. سیال مخزن پس از جریان یافتن در دهانه چاه وارد لوله مغزي مي شود. جریان در لوله مغزي، عمودي و به صورت یک یا دو فازي است. جریان سیال پس از عبور از تاج چاه، وارد کاهنده میشود. این جریان دو فازي است و مي تواند به صورت جریان بحراني یا جریان زیر بحراني باشد. پس از عبور از کاهنده، جریان وارد تفکیک کننده ها مي شود تا فازهاي مختلف از هم تفکیک شوند. آخرین مرحله تفکیک در تانک ذخیره و در دما و فشار محیط انجام میشود. تعداد تفکیک کننده ها (بجز تانک ذخیره) مي تواند یک، دو یا سه عدد باشد. خروجي مایع هیدروکربني هر تفکیک کننده، ورودي تفکیک کننده بعدي است. مدل شرح داده شده به صورت شماتیك در شکل (۸) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است، ورودي مدل، اطلاعات مربوط به خواص مخزن و سیال آن است که نهایتاً هدف این مدل، طراحي لوله مغزي (لوله مغزي تک سایز یا دوگانه و عمق تغییر سایز لوله مغزي)، طراحي کاهنده (سایز کاهنده) و طراحي تفکیک کننده‌ها (تعداد تفکیک کننده‌ها و فشار آنها) است، به نحوي که بتوان بیشترین مایع (کمترین GOR) و با بیشترین درجه API استحصال نمود.

برنامه نوشته شده براي این کار در محیط MATLAB بوده و خواص سیال مخزن و پارامترهاي مربوط به مدل مخزن را به عنوان ورودي برنامه دریافت کرده و پارامترهاي زیر را به عنوان پارامترهاي تصمیم در الگوریتم ژنتیکي تغییر و بهینه میکند:

۱.سايز يا سايزهاي لوله مغزي (دامنه تعريف: سايز هاي استاندارد لوله مغزي از ۳ اينچ تا ۷ اينچ)
۲.عمقي كه در آن بايستي سايز لوله مغزي تغيير كند (دامنه تعريف: از عمق كفشك لوله آستري[۵۵] تا عمق نهايي چاه[۵۶]
۳.سايز كاهنده (دامنه تعريف: از ۰/۱ تا ۱ اينچ)
۴.تعداد تفكيک كننده ها (دامنه تعريف: از يك تا سه عدد)
۵.فشار تفكيک كننده ها (دامنه تعريف: بسته به تعداد تفكيك كننده ها از فشار خروجي كاهنده تا فشار اتمسفريك)

بنابراين تعداد پارامترهاي تصميم بين ۶ تا ۹ عدد خواهد بود و اين مقادير بايد به نحوي تعيين شوند كه كمترين مقدار GOR و بيشترين مقدار °API را ايجاد كند. از طرف ديگر، مدل رياضي تابع هدف، تركيبي سري از سه مدل لوله مغزي، كاهنده و تفكيك كننده خواهد بود.

از آنجاييكه مقدار GOR وابسته به تمامي پارامترهاي فوق ميباشد، براي حل مساله بايستي الگوريتمي انتخاب كرد كه هر سه مدل لوله مغزي، كاهنده و تفكيک كننده ها را به صورت پيوسته در نظر بگيرد. از طرف ديگر چون رويه هاي مربوط به مدل لوله مغزي و تفكيک كننده ها به صورت يک تابع مشخص نبوده و به صورت يک رويه تكرار است، نمي توان از روشهاي تحليلي يا عددي مرسوم از آن مشتق گرفت و نقطه اكسترمم را به دست آورد.

يكي از جديدترين و قويترين روشهاي بهينه سازي كه ميتواند با مرتفع كردن اين مشكلات و بدون افتادن در دام بهينه هاي محلي، بهينه كلي را به دست آورد، «الگوريتم ژنتيكي» است. با استفاده از اين روش مي توان تمام پارامترهاي تصميم را به صورت موازي تحليل و بهينه كرد و بدون نياز به محاسبات پيچيده رياضي، بهينه كلي را به دست آورد. (هر چند اين روش نمي تواند همواره رسيدن به بهينه كلي را تضمين نمايد.)

در برنامه نوشته شده خواص سيال مخزن و پارامترهاي مربوط به مدل مخزن به عنوان ورودي به برنامه داده مي شود. هر جمعيت شامل چندين مجموعه از پارامترهاي تصميم با مقادير مختلف است كه اين مقادير جمعيت در طي حلقه هاي تكرار و بر اساس مينيمم سازي GOR و ماگزيمم سازي °API مرتباً بهينه مي شود و پس از چندين حلقه تكرار، بهترين مقادير پارامترهاي تصميم مشخص مي شود.

در اين برنامه، از يك جمعيت ۳۰ تايي كروموزوم استفاده شده و مقادير احتمال لقاح و احتمال جهش به ترتيب ۰/۳ و ۰/۱ در نظر گرفته شده است.

در هر اجراي جداگانه از برنامه، يك حدس اوليه توسط نرم افزار در دامنه تعريف پارامترها توليد خواهد شد كه پس از چندين تكرار، نقطه بهينه توسط برنامه محاسبه خواهد گرديد. اين حدس اوليه با هر بار اجراي نرم افزار، تغيير خواهد كرد. اما همواره محاسبات، اين حدس اوليه را به يك نقطه بهينه كلي (با كمي تغييرات جزيي و قابل اغماض) خواهد برد.

در برنامه مذكور علاوه بر اينكه پارامترهاي مرسوم يک سيستم توليدي در نظر گرفته شده اند، دو پارامتر مهم ديگر نيز مد نظر قرار گرفته اند. اين دو پارامتر جديد عبارتند از مدل سايز دو گانه لوله مغزي (تركيب لوله مغزي و جداري) و همچنين تعداد بهينه تفكيک كننده ها كه مورد اول خود شامل سه متغير تصميم (سايز لوله مغزي اول، سايز لوله مغزي دوم و عمقي كه در آن اين تغيير سايز رخ مي دهد) مي باشد. دو پارامتر مذكور در هيچ كدام از كارهاي قبلي مد نظر قرار نگرفته اند، در صورتيكه اين دو پارامتر از موارد بسيار مهم در سيستم توليدي است كه بايستي در طراحي سيستم، تعيين شوند. اين كار در بسياري از نرم افزارهاي شبيه ساز، مانند Prosper با روش سعي و خطا تعيين مي شوند كه كاري وقت گير و خسته كننده است. اما در برنامه نوشته شده در اين تحقيق، مقدار بهينه اين موارد توسط خود برنامه مشخص ميشوند. تطابق بسيار نزديک مقادير تعيين شده توسط برنامه مذكور (در زمان بسيار كمتر و بدون استفاده از روش سعي و خطا) و نرم افزار شبيه ساز، كارآيي اين برنامه و روش GA را نشان مي دهد.

نتايج

برنامه نوشته شده براي يكي از مخازن گاز ميعاني جنوب كشور به كار گرفته شد. اين مخزن در حال توليد و توسعه است و تسهيلات توليدي توسط

جدیدترین و قویترین نرم افزارها طراحي شده است. جدول (۱) نتایج حاصله از برنامه نوشته شده را با نتایج این نرم افزارها مقایسه کرده است و همانطور که مشاهده مي شود این نتایج با هم تطابق بسیار خوبي دارند. بنابراین مي توان الگوریتم ژنتیکي را به عنوان یک ابزار بسیار قوي و کارآمد براي حل مسائل بهینه سازي مهندسي نفت دانست.

۱) بهینه سازي سیستم تولید داراي تابعي غیر خطي است.

۲) این سیستم داراي اجزائي است که وابسته به هم بوده و بر هم اثر متقابل دارند.

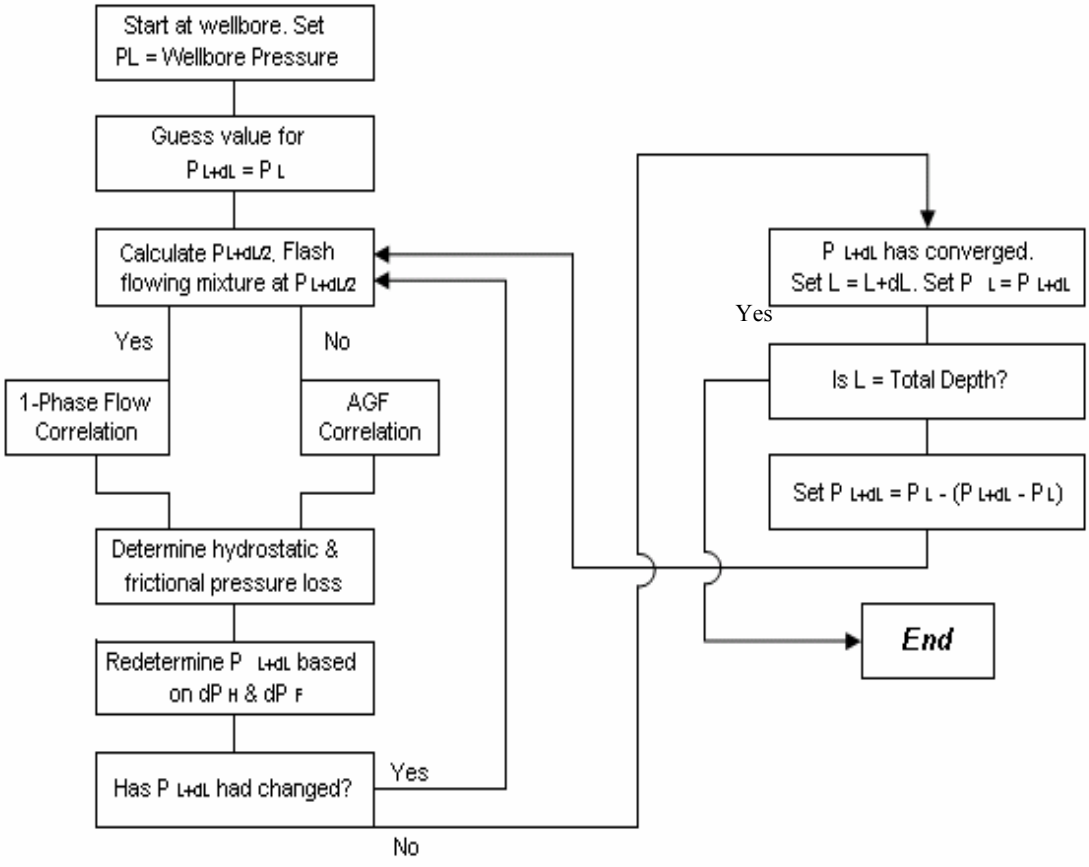
۳) برخي از این اجزاء را نمي توان توسط یک تابع مشخص مدلسازي کرد و مدل آنها یک الگوریتم تکرار است که در هر حلقه آن، بسته به شرایطي مثل دما و فشار، تابعي مربوط به همان شرایط به کار میرود.

۴) الگوریتم ژنتیکي ابزاري تواناست که مي تواند در حل مسائل پیچیده مهندسي نفت به کار رود. این روش میتواند پارامترهاي بسیار زیادي را به طور همزمان و بدون نیاز به محاسبات پیچیده تحلیلي و عددي بهینه کند و بدون افتادن در دام بهینه هاي محلي، بهینه کلي را به دست آورد.

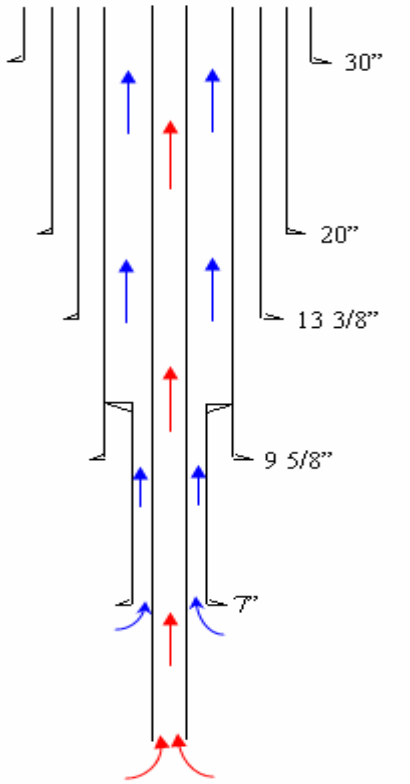
۵) برنامه نوشته شده در این تحقیق، دو پارامتر جدید (سایز دوگانه لوله مغزي و تعداد بهینه تفکیک کننده ها) را مد نظر قرار داده است. این دو پارامتر مهم در کارهاي قبلي مد نظر قرار نگرفته اند.

تقدیر و تشکر

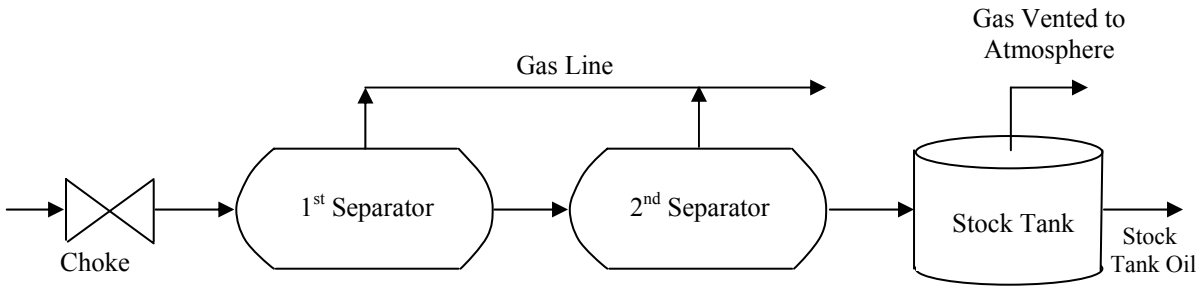
نویسندگان این مقاله بر خود لازم مي دانند از زحمات صمیمانه مهندس صادق طاهري که در جمع آوري اطلاعات و مهندس سحر صابري که در یادگیري روش الگوریتم ژنتیکي همکاري نمودند، صمیمانه تشکر نمایند.



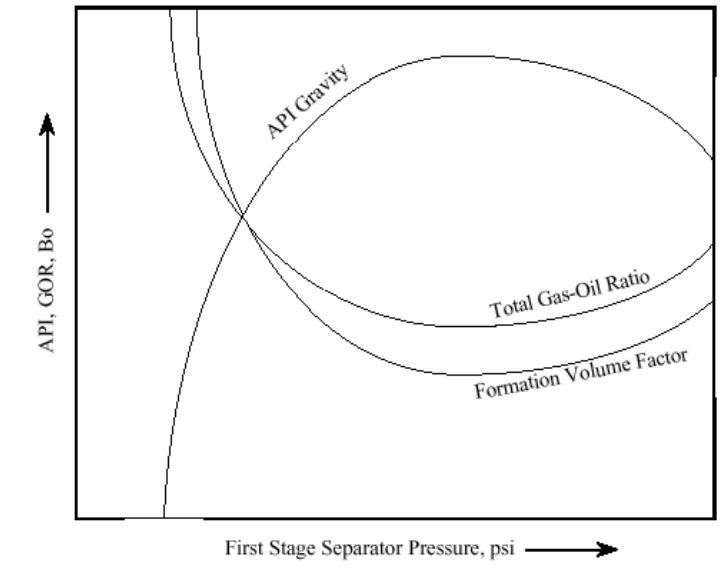
شکل ۴ : رویه مورد استفاده برای تعیین توزیع فشار در لوله مغزی.



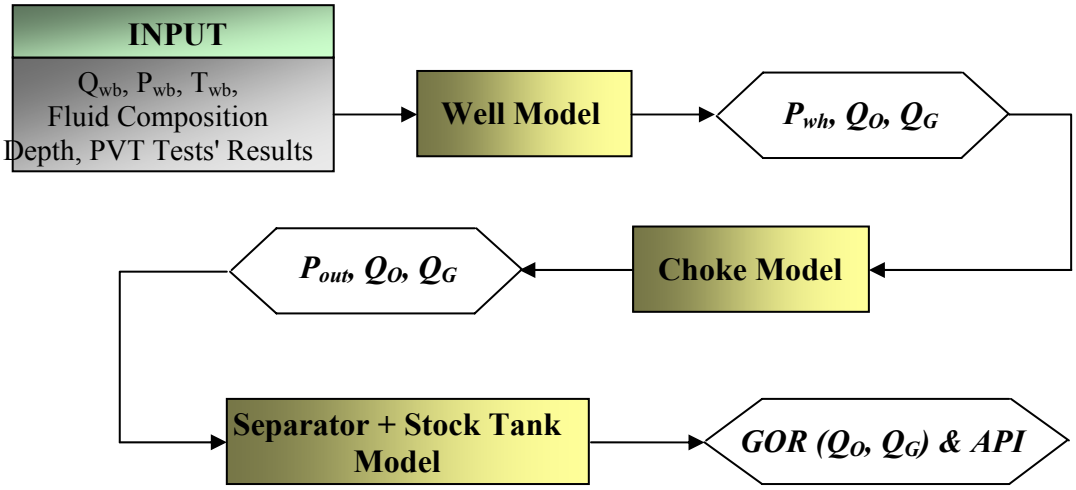
شکل ۵ : نمائی از لوله مغزی با سایز دو گانه.



شکل ۶ : مراحل تفکیک نفت و گاز پس از عبور از کاهنده.



شکل ۷ : اثر فشار تفکیک کننده در کیفیت نفت خروجی.



شکل ۸: مدل کامل طراحی شده در نرم افزار.

جدول ۱: مقایسه نتایج نرم افزارهای شبیه ساز با نتایج برنامه نوشته شده.

	تعداد لوله مغزي	سایز لوله مغزي اول (اینچ)	سایز لوله مغزي دوم (اینچ)	عمق تغییر سایز لوله مغزي (فوت)	سایز کاهنده (اینچ)	تعداد تفکیک کننده	فشار تفکیک کننده (psig)
نتایج حاصله از نرم افزارها	۲	۷	۹ ۵/۸	۱۱۵۲۰	(۰/۵) ۳۲/۶۴	۱	۵۹۵
نتایج حاصله از برنامه نوشته شده	۲	۷	۹ ۵/۸	۱۱۵۴۲	۰/۵۱۵۶	۱	۶۱۵

مراجع

1 - Aronofsky, J. S. and Lee, A. S. (1958). “A linear programming model for scheduling crude oil production.” P*aper SPE 862-G.*

2 - Aronofsky, J. S. and Williams, A. C. (1962). “The use of linear programming and mathematical models of underground oil production.” *Management Science,* PP. 394 – 407.

3 - Attra, H. D., Wise, W. B. and Black, W. M. “Application of optimization techniques for studying field producing operations.” *Paper SPE 1338.*

4 - O’Dell, P. M., Steubing, N. W. and Gray, J. W. (1973). “Optimization of gas field operations.” *Paper SPE 2992.*

5 - Huppler, John D. (1974). “Scheduling gas field production for maximum profit.” *SPEJ 279 – 294; Trans., AIME, 257.*

6 - Wattenbarger, R. A. (1970). “Maximizing seasonal withdrawals from gas storage reservoir.” *JPT* , PP. 994 – 998.

7 - Rosenwald, G. W. and Green, D. W. (1974). “A method for determining the optimum location of wells in a reservoir using mixed integer programming.” *SPEJ 44 – 54; Trans., AIME, 257.*

8 - Murray, J. E. and Edgar, T. F. (1978). "Optimal scheduling of production and compression in gas fields." *SPEJ,* PP. 109 – 116.

9 - Zakirov, S. N. and Kolbikov, S. V. (1982). "Mathematical modeling of gas field development and production optimization." *Paper SPE 11181, Presented at the 57th Annual Fall Tech. Conf. and Exhibition of SPE*, Sept. 26 – 29.

10 - Lea, J. F. and Brown, K. E. "Production optimization using a computerized well model." *Paper SPE 14121, Presented at the SPE 1986 International Meeting on Pet. Eng.,* March 17 – 20.

11 - Fujii, H. and Horne, R. "Multivariate optimization of networked production system." *Paper SPE 27617, presented at the 1994 SPE European Production Operation Conf. and Exhibition,* March 15 – 17.

12 - Carroll, J. A. and Horne, R. N. (1992). "Multivariate optimization of production systems*." JPT, 782 – 793; Trans., AIME, 293.*

13 - Palke, M. R. and Horne, R. N. "Determining the value of reservoir data by using nonlinear production optimization techniques." *Paper SPE 38047, Presented at the 1998 Asia Pacific Oil & Gas Conf. and Exhibition,* Apr. 14 – 16.

14 - Yan Pan and Horne, R. N. "Improved methods for multivariate optimization of field development scheduling and well placement design." *Paper SPE 49055, presented at the 1999 SPE Annual Technical Conf. and Exhibition,* Sept. 27 – 30.

15 - Haupt, Randy L. *Practical Genetic Algorithm*, Canada, John Wiley & Sons, PP. 35 – 45.

16 - Mitsuo Gen and Runwei Cheng. *Genetic Algorithms and Engineering Design*, New York, John Wiley & Sons, PP. 9 – 15, 44 – 59.

17 - Aziz, K., Govier, G. W. and Fogarasi, M. (1972). "Pressure drop in wells producing oil and gas." *JCPT*.

18 - Sachdeva, R., Schmidt, Z., Brill, J. P. and Blais, R. M. (1986). "Two phase flow through chokes." *Paper SPE 15657, Presented at SPE Annual Tech. Conf. and Exhibition,* Oct. 5 – 8.

19 - Danesh, A. *PVT and Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids,* Netherlands, Elsevier, PP. 167 – 180.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Stochastic
2 - Performance
3 - Reservoir Characterization
4 - Gas Lift
5 - Water Flooding
6 - Linear Optimization
7 - Nonlinear Optimization
8 - Stochastic
9 - Population
10 - Chromosome
11- Generations
12 - Fitness
13 - Evaluation
14 - Offspring
15 - Crossover
16 - Parent
17 - Mutation
18 - Selection
19 - Optimum
20 - Objective Function
21 - Penalty Functions
22 - Gene
23 - Binary
24 - Encode
25 - Decode
26 - Probability of Crossover
27 - Random Cut-Point
28 - Local Optima
29 - Global Optima
30 - Maximization
31 - Minimization
32 - Tubing
33 - Choke
34 - Separators
35 - Critical
36 - Subcritical
37 - Stock Tank
38 - Bubble
39 - Slug
40 - Transition
41 - Annular-Mist
42 - Wellbore Pressure
43 - Step
44 - Liquid Holdup
45 - Wellhead
46 - Choke Model
47 - Back Pressure
48 - Slugging
49 - Critical Flow
50 - Separator Model
51 - Flare
52 - Differential Liberation
53 - Flash Calculation
54 - Gas Oil Ratio
55 - Liner Shoe
56 - Total Depth