

بهینه‌سازی مکان چاه‌ها در مخازن نفت و گاز به کمک الگوریتم ژنتیک

محمد آقاییگی^۱، ظهراست دستخوان^۱ و محمد کمال قاسم العسکری^{۲*}

۱- اهواز، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

۲- اهواز، دانشگاه صنعت نفت، دانشکده مهندسی نفت

پیام‌نگار: aghabeigi60@yahoo.com

چکیده

مکان چاه‌ها، فاصله چاه‌ها، نحوه‌ی قرار گرفتن و تعداد آنها عامل مهمی در میزان برداشت نفت یا گاز در یک میدان در یک بازه‌ی زمانی معین است. تعیین مکان حفر چاه‌های جدید به عوامل پیچیده‌ی متعددی بستگی دارد. برخی از این متغیرها علاوه بر تنوع و پیچیدگی، به زمان و فرآیند تولید وابسته‌اند و عدم قطعیت‌های فراوانی نیز دارند. از طرفی بین اکثر آنها رابطه‌ی مشخصی وجود ندارد و نمی‌توان برهمکنش‌های آنها را در قالب یک رابطه ریاضی بیان کرد.

تنها مدل‌های عددی قادر هستند که تمام برهمکنش‌های متغیرهای مؤثر در مسأله را در نظر بگیرند. بنابراین یک روش برای تعیین بهترین فاصله و مکان حفر چاه‌ها، استفاده از شبیه‌سازی‌های عددی مخزن است. این روش اگرچه دقیق است، ولی از نظر عملی، غیرممکن است زیرا باید تعداد بیشماری حالت و مکان قرارگرفتن چاه‌ها در یک مخزن بررسی شوند. بنابراین در تعیین مکان بهینه‌ی چاه به یک ابزار بهینه‌سازی نیاز است.

در این مقاله، الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی مکان چاه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. الگوریتم ژنتیک در قالب یک نرم‌افزار نوشته شده است که می‌تواند فایل‌های مدل را برای شبیه‌سازی Eclipse تهیه کند. در این مقاله نشان داده شده است که اگر الگوریتم ژنتیک به خوبی برای مسأله‌ی مورد نظر تنظیم شود، تعداد شبیه‌سازی‌های لازم را به میزان قابل توجهی کم می‌کند.

کلمات کلیدی: مکان بهینه‌ی چاه، الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی عددی مخزن

۱- مقدمه

کارگیری آنها، به اقتصادی بودن آنها که بعد تجاری مسأله است، بستگی دارد.

از آنجا که هزینه‌های عملیات حفاری، بیشترین سهم از کل هزینه‌های مصرفی در تولید نفت یا گاز از یک میدان را دارند، لذا لازم است از حفر چاه‌های غیر ضروری جلوگیری شود و محل حفر آنها نیز با دقت

هدف از انجام هرگونه مطالعه بر روی مخازن نفت و گاز، شناخت بهتر آنها به منظور ارائه راهکارهایی جهت دستیابی به حداکثر میزان برداشت از آنهاست. راهکارهای پیشنهادی که بر مبنای مفاهیم مهندسی ارائه می‌شوند بعد فنی مسأله را تشکیل می‌دهند که به

پیچیده متغیرهای مختلف مؤثر در تصمیمات توسعه‌ای از قبیل خواص سنگ و سیالات مخزن و ویژگیهای تجهیزات سرچاهی و سطحی را ارزیابی کنند. سود دهی سناریوهای توسعه‌ای مختلف با جفت کردن خروجی مدل‌های عددی با یک بسته نرم‌افزاری اقتصادی ارزیابی می‌شود. بنابراین شبیه‌ساز به عنوان رکن اول فرآیند بهینه‌سازی در ارزیابی و تعیین تابع هدف به‌کار گرفته می‌شود.

بنابراین برای تعیین بهترین فاصله حفر چاه‌ها یک روش ممکن، استفاده از شبیه‌سازهای عددی مخزن است. استفاده مستقیم از این روش در مواردی که تعداد چاه‌ها زیاد است و یا مخزن دارای پیچیدگی‌های فراوان است، از نظر عملی غیر ممکن است زیرا باید تعداد بیشماری حالت و مکان قرارگرفتن چاه‌ها بررسی شوند. به عنوان مثال، در یک مدل عددی مخزن که ۵۰۰ سلول یا بلوک دارد، ۵۰۰ حالت مختلف برای قرار دادن یک چاه وجود دارد که این به معنی ۵۰۰ بار اجرای برنامه شبیه‌ساز در حالت‌های مختلف می‌باشد که کاری طاقت فرسا و زمانبر است. مسأله وقتی پیچیده‌تر و غیر عملی‌تر می‌شود که تعداد بیشتری چاه مورد نظر باشد.

برای عملی کردن فرایند جستجوی مکان بهینه چاه می‌توان دو دسته روش را مورد بررسی قرار داد: یکی روشی‌هایی که تعداد اجراهای مورد نیاز شبیه‌ساز را کاهش دهند (یعنی اینکه فضای جستجو را کوچک و محدود کنند)؛ و دوم روشهایی که مدل یا ابزاری ساده‌تر از شبیه‌ساز ارائه دهند به طوری که استفاده از آن، آسان‌تر باشد. به دلیل پیچیدگی متغیرهای مهندسی مخازن و روابط غیر خطی آنها با یکدیگر، روش دوم یعنی یافتن یک رابطه‌ی ریاضی که موقعیت مناسب چاه‌ها را مشخص کند غیر ممکن است. در نهایت، به نظر می‌رسد تنها روش عملی، یافتن راهی برای کاهش تعداد اجراهای مورد نیاز برنامه شبیه‌ساز عددی یا به عبارت دیگر کاهش فضای جستجو است.

فضای جستجو در مسأله یافتن مکان بهینه چاه‌های یک پیکر بندی متشکل از تعداد n_w چاه در یک صفحه‌ی افقی با تعداد بلوک‌های N_x در جهت محور x و N_y در جهت محور y ، در صورتی که بخواهیم چاه‌ها را یکی پس از دیگری و به ترتیب و با فاصله زمانی مشخص حفر کنیم، از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\text{فضای جستجو} = n_w \times \prod_{w_i=0}^{n_w-1} [(N_x \times N_y) - (n_w + w_i)] \quad (1)$$

کافی انتخاب شود. برای حفاری چاه‌های جدید و توسعه یک میدان، دو دسته ملاحظات وجود دارند، یکی ملاحظات مهندسی نفت و دیگری ملاحظات اقتصادی. برای انجام برنامه‌های توسعه‌ای باید بین این دو دسته عوامل و ملاحظات، بهینه‌سازی صورت پذیرد.

در یک مخزن نفت یا گاز، هر چه تعداد بیشتری چاه حفر گردد در زمان معین نفت یا گاز بیشتری تولید می‌شود. به عبارت دیگر، اگر تعداد بیشتری چاه تولیدی وجود داشته باشد نرخ تخلیه‌ی مخزن بیشتر خواهد بود. از سوی دیگر حفر تعداد زیادی چاه از نظر اقتصادی، مقرون به صرفه نیست، لذا باید از هر دو دیدگاه مهندسی نفت و ملاحظات اقتصادی، در مورد تعداد چاه‌های تولیدی نیز بهینه‌سازی انجام شود.

علاوه بر تعداد چاه‌ها، مکان یابی بهینه‌ی چاه نیز مهم است. برای بهینه‌سازی مکان چاه آگاهی از خصوصیات سنگ و سیال مخزن، تاریخچه‌ی تولید از چاه‌های مجاور، رفتار فشاری و ضخامت هر لایه تولیدی، سطوح تماس سیالات، و در نهایت هزینه‌های حفاری و تکمیل چاه، ضروری است. چون بررسی همزمان این متغیرها و عوامل، مشکل است لذا باید از یکی از روش‌های بهینه‌سازی استفاده شود.

بهینه‌سازی را می‌توان بصورت "فرآیند تنظیم ورودیها به یک تابع ریاضی یا آزمایش یا وسیله‌ای به منظور یافتن نتیجه کمینه یا بیشینه" تعریف کرد [۱]. یک فرایند بهینه‌سازی نیازمند تعیین ویژگیهای تابعی با عنوان تابع هدف است که می‌خواهیم کمینه یا بیشینه‌ی آن را بیابیم. از طرفی باید روش بهینه‌سازی مناسبی نیز انتخاب کنیم. واژه بهینه و بهینه‌سازی در صنعت نفت، مفهوم آزمایش دستی چندین متغیر و انتخاب بهترین ترکیب آنها را در ذهن تداعی می‌کند در حالی که منظور ما از بهینه‌سازی، یافتن مقادیر بیشینه (یا کمینه) یک تابع به وسیله یک الگوریتم ساختار یافته و خودکار است. در بهینه‌سازی مکان چاه متغیرهای تصمیم‌گیری یا ورودی‌های فرآیند، مکان‌های جغرافیایی حفر چاه‌ها هستند و خروجی یا تابع هدف، اغلب کل هیدروکربن برداشت شده و یا ارزش خالص کنونی^۱ یا NPV است.

مسأله بهینه‌سازی مکان چاه یک مسأله‌ی پیچیده است و در آن، شبیه‌سازهای عددی به عنوان وسیله‌ی ارزیابی تابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌های عددی قادر هستند که تمام برهمکنش‌های

1. Net Present Value

به عنوان مثال تعداد حالت‌های ممکن برای قرار گرفتن سه چاه در صفحه‌ای به ابعاد 20×30 بلوک، برابر است با:

$$10^{11} \times \frac{6}{3} \approx 3 \times 597 \times 596 \times 595 = \text{فضای جستجو}$$

در صورتی که بخواهیم چاه‌ها را به طور همزمان حفر کنیم و ترتیب آنها مهم نباشد، فضای جستجوی مسأله از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$(2) \quad \text{فضای جستجو} = \frac{(N_x \times N_y)!}{n_w(N_x \times N_y - n_w)!}$$

که تعداد حالت‌های ممکن برای قرار گرفتن سه چاه در صفحه‌ای با همان ابعاد 20×30 ، برابر است با:

$$10^{11} \times \frac{7}{1} = \text{فضای جستجو}$$

و این بدان معنی است که این تعداد ارزیابی تابع هدف در هر حالت باید انجام پذیرد. بدیهی است که استفاده از شبیه ساز برای این تعداد ارزیابی عملاً امکان پذیر نیست. بنابراین در تعیین مکان بهینه‌ی چاه به یک ابزار بهینه‌سازی نیاز است تا فضای جستجو را محدود کند. روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی در علوم و مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به موجود نبودن مشتق تابع هدف در مسأله یافتن مکان چاه‌ها، در اینجا فقط الگوریتم ژنتیک، مورد بررسی و استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی است که قابلیت‌های خود را در زمینه‌های مختلف از جمله مهندسی نفت نشان داده است.

۲- تئوری و پیشینه‌ی تحقیق

پس از اکتشاف یک مخزن و حفاری چاه‌های اولیه‌ی آن، مرحله توسعه چاه‌ها و افزایش دبی (شدت جریان) تولید فرا می‌رسد. یک چاه به تنهایی نمی‌تواند با دبی بالای نفت و یا گاز یک مخزن را تخلیه کند و بخش‌هایی از مخزن که در فاصله دورتری از چاه قرار دارند در تولید مشارکت نمی‌کنند. از سوی دیگر با افزایش تعداد چاه‌ها هزینه‌های حفاری، تکمیل، تعمیر، نصب تسهیلات سطحی و فرآوری افزایش می‌یابد. حتی با وجود تعداد زیادی چاه هنوز هم بخش‌هایی از مخزن وجود دارند که در فواصل مساوی از چاه‌ها قرار دارند و تخلیه

نمی‌شوند. بنابراین لازم است تعداد چاه‌ها و در نتیجه فاصله‌ی بین چاه‌ها بطور بهینه محاسبه شود تا میان دو عامل کنترل کننده یعنی ملاحظات اقتصادی و خصوصیات مخزن، توازن برقرار شود.

فاصله بهینه چاه‌ها^۱ به صورت "چگالی و پراکندگی چاه‌ها به طوری که بیشترین سود و بهره نهایی را در پی داشته باشد" تعریف می‌شود [۲]. فاصله بهینه چاه‌ها در یک میدان نفتی پس از انجام مطالعات مهندسی مخازن، مطالعات اقتصادی و با در نظر گرفتن برنامه‌ها و قوانینی که بر تولید و صادرات نفت وضع شده است، مشخص می‌شود. بخش مطالعات مهندسی مخازن، شامل تخمین میزان نفت و گاز در جای اولیه و فعلی مخزن، خصوصیات سنگ‌ها و سیالات مخزن، مکانیزم رانش، روند کاهش فشار، روش‌های افزایش برداشت و سناریوی تولید است. مطالعات اقتصادی نیز قیمت فعلی و رشد آتی بهای نفت، هزینه‌های توسعه، حفاری و تکمیل چاه‌ها، هزینه نصب و نگهداری تسهیلات سرچاهی، واحدهای بهره برداری، نمک زدایی، فرورش و انتقال را در بر دارد. هر زمان که اطلاعات جدیدی از مخزن بدست آید و یا تغییری در شرایط اقتصادی حاصل شود لازم است در تعیین فاصله بهینه‌ی چاه‌ها تجدید نظر شود.

تعیین فاصله بهینه چاه‌ها اگر چه از قدمت زیادی برخوردار است ولی هنوز هم دارای ابهامات و عدم قطعیت‌های فراوانی است. گروهی از محققان فقط ملاحظات اقتصادی را در نظر می‌گیرند، در حالی که گروه دیگر مطالعات مخزنی و میدانی را هم مدنظر قرار می‌دهند. به هر حال تقاضای روز افزون برای نفت و افزایش قیمت جهانی آن و لزوم بازیافت و تخلیه بیشینه از مخازن، ضرورت توسعه و تدوین روشی برای تعیین فاصله بهینه چاه‌ها را مشخص می‌کند.

مطالعات انجام شده در زمینه تعیین مکان بهینه چاه، برای دستیابی به دو هدف بوده است. هدف اول کم کردن تعداد اجزای شبیه‌سازی و هدف دوم، یافتن یک جایگزین مناسب برای شبیه ساز بوده است. گروهی در جهت دستیابی به یکی از این دو و گروهی به دنبال هر دوی آنها بوده‌اند. مهمترین آنها در ادامه بررسی شده‌اند.

آنونسن و همکارانش^۲ در سال ۱۹۹۵ مجموعه‌ای از پیکر بندی‌های چاه‌ها را برای شبیه‌سازی انتخاب کردند و با نتایج حاصل با استفاده از تکنیک‌های رگرسیون، سطوح پاسخ^۳ را ساختند [۳]. سپس بر روی این

1. Optimum Well Spacing
2. Aanonsen et al.
3. Response Surface

در فرآیند بهینه‌سازی ابتدا یک مجموعه جواب برای مکان چاه‌ها توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌شود که این پیشنهاد می‌تواند بر اساس قضاوت مهندسی یا حتی بصورت تصادفی انجام شود. سپس این اطلاعات در فایل ورودی شبیه‌ساز وارد می‌شود. آنها از شبیه‌سازهای تجاری در تولید داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی‌های تابع هدف استفاده کردند.

شبیه‌سازی، شامل دو قسمت است. ابتدا شبیه‌ساز جریان، میزان نفت تولیدی هر مجموعه جواب را محاسبه می‌کند و سپس نتایج حاصل به همراه اطلاعات مربوط به مکان چاه‌ها را به قسمت ارزیابی اقتصادی می‌فرستد تا هزینه‌های مربوطه و درآمد کل و خالص تعیین شوند. سپس نتایج نهایی ارزیابی‌ها که شامل مقدار درآمد خالص هر مجموعه‌ی جواب به همراه مکان چاه‌هاست دوباره به الگوریتم ژنتیک وارد می‌شود تا آن الگوریتم با استفاده از آنها مجموعه‌ی جدیدی از مکان چاه‌ها را ارائه نماید. در این فرآیند از روش جستجوی پلی‌توپ به دو منظور استفاده شده است. یکی در انتخاب جمعیت جدید در الگوریتم ژنتیک و دیگری در بررسی جهت سیر فرآیند بهینه‌سازی؛ بدین معنی که اگر بهبودی در جوابها حاصل نگردد جهت فرآیند عوض شود و یا فرآیند پایان یابد.

بزرگترین ایراد این روش بر هزینه بودن آن از لحاظ زمان محاسباتی مورد نیاز در آن است. اما استفاده از روش پلی‌توپ، زمان محاسباتی آن را نسبت به روش الگوریتم ژنتیک کاهش داده است. برتری قابل ملاحظه این روش علاوه بر تعیین تعداد و مکان بهینه چاه‌ها، قابلیت بررسی اقتصادی سناریوهای مختلف تولید با آن است.

باریس گویاگولار^۳ در سال ۲۰۰۱ با ترکیب الگوریتم ژنتیک و روشهای دیگری موسوم به روشهای کمکی به بهینه‌سازی مکان چاه‌ها پرداخت [۶]. روش وی که الگوریتم ژنتیک ترکیبی نام گرفت قدرتمندترین روشی است که تا به حال ارائه شده است. این روش شباهت زیادی به روش بیتن کارت دارد. در این روش بصورت همزمان از شبیه‌ساز و روشهای جایگزین استفاده می‌شود. جایگزین‌های به کار گرفته شده، روشهای تقریب کریجینگ و شبکه‌های عصبی هستند. ابتدا یک مجموعه جواب یا همان مکان چاه‌ها، توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌شود و مقادیر نفت انباشته تولیدی تعدادی از آنها با شبیه‌ساز جریان محاسبه می‌شود. از کریجینگ و شبکه‌های عصبی به عنوان

سطوح مکان چاه‌ها را تخمین زدند و به شکل ساده‌ای عدم قطعیت را در نظر گرفتند. آنها در چند حالت نسبتاً ساده، نشان دادند که سطح پاسخ تخمین زده شده رگرسیونی، با دقت خوبی مکان مناسب چاه‌ها را پیدا می‌کند.

گویلمو مونتز^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۱ با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌ساز Eclipse مسأله تعیین مکان چاه را بهینه‌سازی کردند [۴]. بدین ترتیب که الگوریتم ژنتیک مکان‌هایی برای حفر چاه‌ها به شبیه‌ساز پیشنهاد می‌کند و نفت تولیدی حاصل که توسط شبیه‌ساز محاسبه می‌شود به عنوان مقدار تابع هدف در ارزیابی‌های بعدی الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به آنها مکان‌های جدید حفر چاه تعیین می‌گردد. این چرخه تا حصول جواب مناسب ادامه می‌یابد.

در این مطالعه اثر پارامترهای مختلف الگوریتم ژنتیک از قبیل اندازه‌ی جمعیت، نرخ تقاطع و جهش و تعداد تکرارها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. اما جز مقدار نفت انباشته تولیدی، پارامترهای اقتصادی مؤثر دیگری از قبیل هزینه‌های عملیات حفاری، وسایل و تجهیزات مورد نیاز در حفاری و تکمیل چاه‌ها و هزینه‌های تولید و انتقال و فراورش و قیمت فروش نفت را در نظر نگرفته‌اند.

بیتن کارت و هورن^۲ در سال ۱۹۹۷ مکان چاه را با ترکیب الگوریتم ژنتیک و روش پلی‌توپ بهینه‌سازی کردند [۵]. در بین مطالعات انجام شده تا این زمان، مطالعه این افراد اهمیت بیشتری دارد، لذا لازم است که مفصل‌تر به بررسی آن بپردازیم. یکی از اهداف اصلی این مطالعه، تعیین نحوه اثر چگونگی تعیین مکان چاه‌ها بر سوددهی پروژه‌ی توسعه‌ی میدان است. لذا مکان چاه‌ها به عنوان متغیر اصلی در بهینه‌سازی به کار رفته است. علاوه بر این، تعداد چاه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. برای ساخت تابع هدف از درآمد خالص استفاده شده است. ابتدا هزینه‌هایی از قبیل هزینه‌ی اجاره‌ی دکل حفاری، عملیات حفاری، وسایل و تجهیزات مورد نیاز در حفاری و تکمیل چاه‌ها و هزینه‌های تولید و انتقال و فراورش و ... متناظر با هر مجموعه، جواب مسأله و سپس درآمد کل حاصل از فروش نفت تولیدی آن مجموعه محاسبه می‌شود. سپس با کم کردن هزینه‌ها از درآمد کل، درآمد خالص محاسبه می‌گردد و از آن به عنوان تابع هدف در فرآیند بهینه‌سازی استفاده می‌شود.

3. Baris Guyagular

1. Guillermo Montes et al.
2. Bittencourt & Horne

نحوه دست یابی به جواب بهینه در الگوریتم ژنتیک، جستجوی جمعیت به جمعیت است، در حالی که در دیگر روشها از جستجوی نقطه به نقطه استفاده می‌شود. این الگوریتم‌ها در حین اجرا به تکنیک‌های پیچیده ریاضی نیازی ندارند. همچنین عملگرهای^۵ مورد استفاده، آن قدر موفق و کارآمد هستند که دیگر به شیوه‌های قدیمی که از یک روش همگرایی^۶ غیر هوشمند استفاده می‌کردند و به صورت نسبی به جستجو می‌پرداختن، نیازی نخواهد بود. علاوه بر همه موارد ذکر شده، مزیت عمده الگوریتم‌های ژنتیک این است که دارای خاصیت انعطاف پذیری قابل توجهی می‌باشد که این ویژگی مهم، که امروزه کمبود آن بسیار محسوس شده است، ما را در حل انواع مسایل یاری می‌دهد.

الگوریتم‌های ژنتیک تکنیک‌های تصادفی^۷ هستند که بر اساس مکانیسم انتخاب طبیعی پی‌ریزی شده اند. آنها برای شروع کار، یک جمعیت از فضای جواب را انتخاب می‌کنند و با توجه به تابع هدف شروع به جستجو می‌نمایند. جواب مسأله به شکل کروموزوم که خود شامل یک رشته از اعداد و نمادها است، نمایش داده می‌شود. دو عامل ژنتیکی تقاطع^۸ (شکل ۱) و جهش^۹ (شکل ۲) در جهت رسیدن به جواب بهینه در الگوریتم مداخله می‌کنند. این دو عامل با توجه به ارزش گذاری کروموزومها سعی می‌کنند بهترین‌ها را نسل به نسل انتقال دهند تا جواب بهینه به دست آید. برای ایجاد نسل بعدی، کروموزوم‌های جدید که فرزند نامیده می‌شوند یا به وسیله عملگر تقاطع از کروموزوم‌های نسل جاری و یا به وسیله اصلاح یک کروموزوم با استفاده از عملگر جهش شکل می‌گیرند.

اولین و مهمترین نقطه قوت این الگوریتم‌ها موازی بودن ذاتی آنهاست. اکثر الگوریتم‌های دیگر موازی نیستند و فقط می‌توانند فضای مسئله‌ی مورد نظر را در یک جهت در یک لحظه جستجو کنند و اگر راه حل پیدا شده یک جواب بهینه‌ی محلی باشد و یا زیر مجموعه‌ای از جواب اصلی باشد باید تمام کارهایی را که تا به حال انجام شده کنار گذاشت و دوباره از اول شروع کرد. از آنجایی که الگوریتم ژنتیک چندین نقطه شروع دارد، در یک لحظه می‌تواند فضای مسئله را از چند جهت مختلف جستجو کند. اگر یکی به نتیجه نرسید، سایر راه‌ها ادامه

جایگزین شبیه‌ساز در تقریب مقادیر نفت انباشته تولیدی سایر جوابها استفاده می‌شود. در هر زایش الگوریتم ژنتیک نیز از روش جستجوی پلی توپ در انتخاب مجموعه جواب‌های مستعد استفاده می‌شود. این روش در تعیین مکان بهینه‌ی چاه‌های تولیدی و تزریقی میدان پومپانو^۱ واقع در خلیج مکزیک به کار گرفته شد که نتایج قابل قبولی از آن به دست آمده است.

داکروز^۲ و همکارانش در سال ۱۹۹۹ با معرفی مفهوم جدید نقشه کیفیت، از آن برای مقدار دهی عدم قطعیت مخزن و تصمیم گیری‌ها استفاده کردند. این نقشه در سال ۲۰۰۴ توسط خودشان برای تعیین مکان چاهها به کار گرفته شد. این روش به خودی خود یک جایگزین برای شبیه ساز است که البته اساس ساخت آن نیز خود شبیه ساز بوده است.

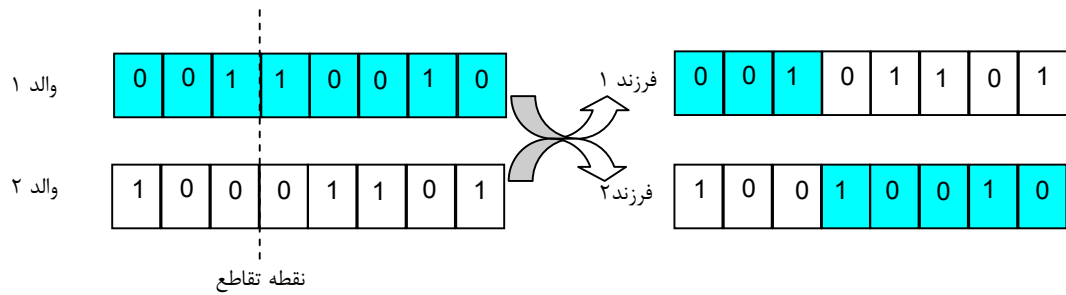
۳- آشنایی با الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک را پرفسور هولند^۳ با نوشتن کتاب [۷] "تطابق در سیستم‌های طبیعی و مصنوعی" در سال ۱۹۷۵ بنا نهاد که در واقع، این کتاب، عصاره‌ی ایده‌ها و دریافته‌های او از سالهای قبل بود. در دهه‌ی ۱۹۸۰ الگوریتم ژنتیک در کاربردهای مختلفی مورد آزمایش قرار گرفت که باعث پیشرفت آن شد. این الگوریتم می‌تواند انواع مسائل را حل کند و شیوه‌هایی از برنامه ریزی کامپیوتری بر پایه آن بنا شده است که اکنون با سایر سیستم‌های خبره برابری می‌کند.

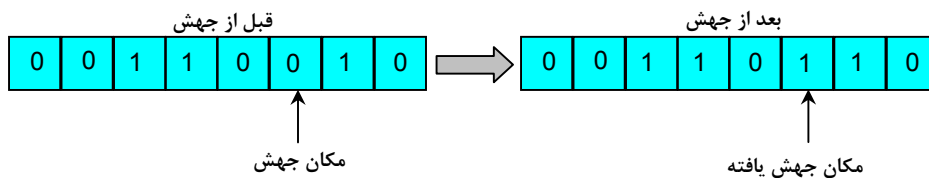
الگوریتم ژنتیک از اصل تکامل طبیعی داروین گرفته شده است. در حالت کلی، الگوریتم ژنتیک بر اساس سیستم‌های تکاملی و تدریجی و قواعد موروثی استوار است و روش حل آن بدین صورت است که با مجموعه‌ای از راه حل‌های بالقوه از جمعیت مورد مطالعه، از آن برای تولید نسل آینده استفاده می‌کند. این الگوریتم همانطور که از نام آن پیداست از توارث صفات والدین به فرزندان به وسیله ترکیب کروموزوم^۴ های والدین ایده می‌گیرد. بدین طریق که تعدادی کروموزوم تولید و بعد آنها را ترکیب کرده و کروموزوم‌های جدید ایجاد می‌کند و از آنجا که والدین قوی با احتمال بیشتری فرزندان قوی تولید می‌کنند بنابراین از ترکیب کروموزوم‌های قوی می‌توان به کروموزوم‌های قوی‌تر دست پیدا کرد.

5. Operators
6. Convergence
7. Random
8. Crossover
9. Mutation

1. Pompano Field
2. Da Cruze
3. J.H. Holland
4. Chromosome



شکل ۱- نمایش عملگر تقاطع در الگوریتم ژنتیک.



شکل ۲- نمایش عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک.

جدول ۱ آورده شده است. برای پیچیده کردن مدل مخزن، تخلخل و تراوایی آن به ترتیب مطابق شکل‌های (۴) و (۵) تغییر داده شدند. برای یافتن بلوکی که حداکثر تولید تجمعی نفت را داشته باشد، هر بار چاه در یک بلوک قرار داده شد و شبیه‌سازی اجرا گردید. شکل (۶) نتایج ۲۵۶ اجرای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در این مرحله مشخص شد که بهترین مکان چاه در بلوک (۱۰ و ۱۱) با مقدار تولید تجمعی ۳۳ میلیون بشکه نفت انباری است.

جدول ۱- خصوصیات مدل به کار رفته در این مطالعه.

۱۶	تعداد بلوک‌های افقی
۱۶	تعداد بلوک‌های عمودی
۲	تعداد لایه‌ها
ft۱۰۰۰	طول بلوک‌ها
ft۱۰۰۰	عرض بلوک‌ها
ft۲۰۰	ارتفاع بلوک‌ها

می‌یابند و منابع بیشتری در اختیارشان قرار می‌گیرد. بطور کلی الگوریتم ژنتیک از مراحل زیر تشکیل شده است:

۱- انتخاب مجموعه‌ی جوابهای اولیه که می‌تواند به صورت تصادفی یا بر اساس قضاوت مهندسی انجام شود.
 ۲- ساخت جمعیت جدید به وسیله کپی کردن رشته‌های موجود به این جمعیت با توجه به عملکرد یا همان شایستگی آنها (انتخاب)

۳- اجرای عملگرهای تقاطع و جهش و تولید نسل جدید

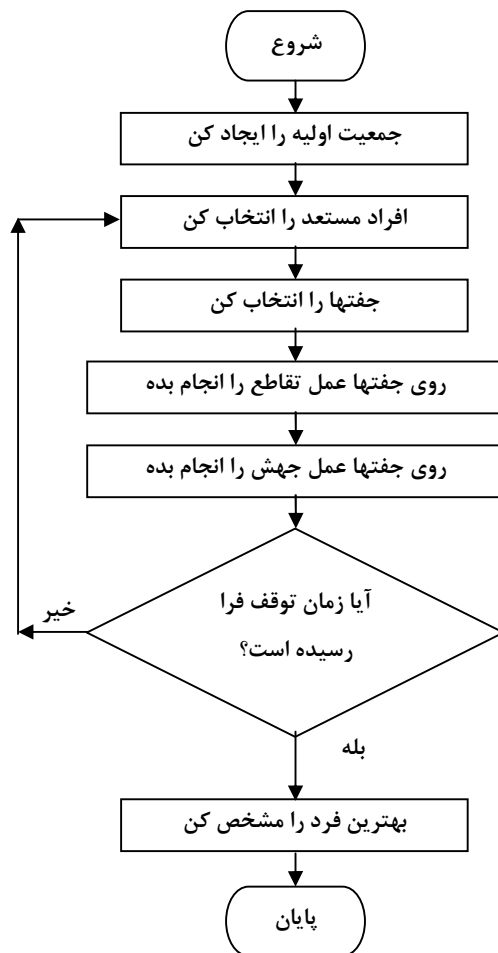
۴- ارزیابی میزان برازندگی رشته‌های جمعیت جدید

۵- تکرار مراحل ۲ تا ۵ تا حصول شرط توقف الگوریتم
 روند نمای (نمودار جریان) ساده الگوریتم ژنتیک در شکل (۳) نشان داده شده است.

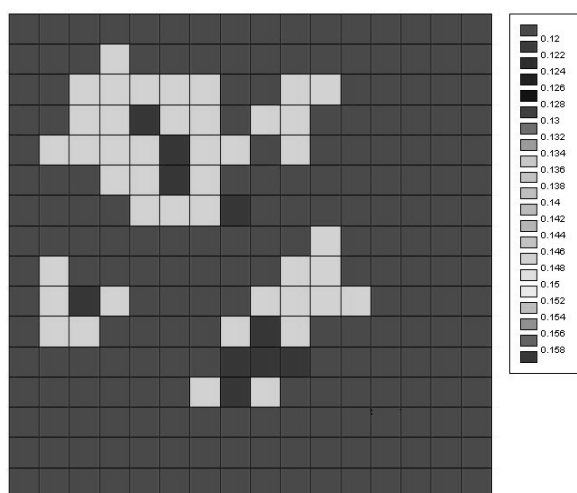
۴- مطالعه‌ی موردی

برای مطالعه میزان مفید بودن الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی مکان چاه، یک مدل مربعی مخزن نفت سیاه^۱ بر پایه خواص واقعی سیال یکی از میدان‌های نفتی امریکای شمالی ساخته شد. مدل ساختاری در

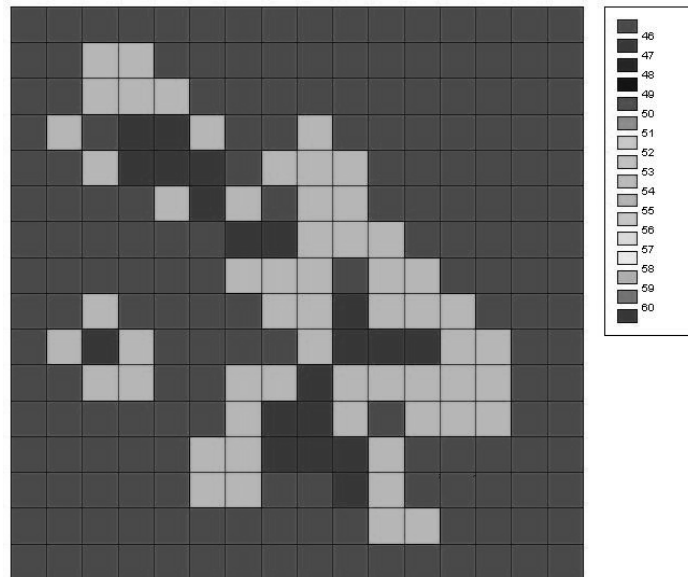
1. Black oil model



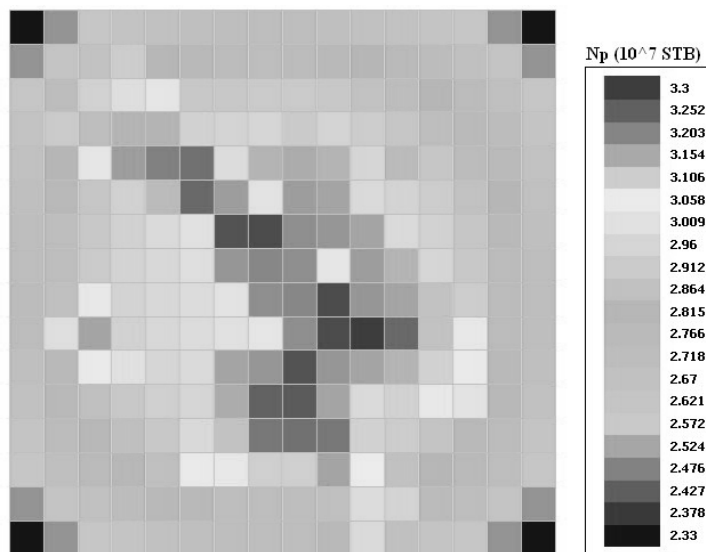
شکل ۳- روند نمای ساده‌ی (نمودار جریان) الگوریتم ژنتیک استاندارد.



شکل ۴- توزیع تخلخل در مدل ساخته شده.



شکل ۵- توزیع تراوایی در مدل ساخته شده.



شکل ۶- توزیع مقدار تجمعی نفت تولیدی پس از ۳۰ سال.

جدول (۲) نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک در بهترین مورد ۱۶ و در بدترین مورد ۳۵ بار به اجرای شبیه‌سازی نیاز داشته است. به طور متوسط ۲۵ بار شبیه‌سازی انجام شده است که به معنی کاهش ده برابری در تعداد اجراهای مورد نیاز است.

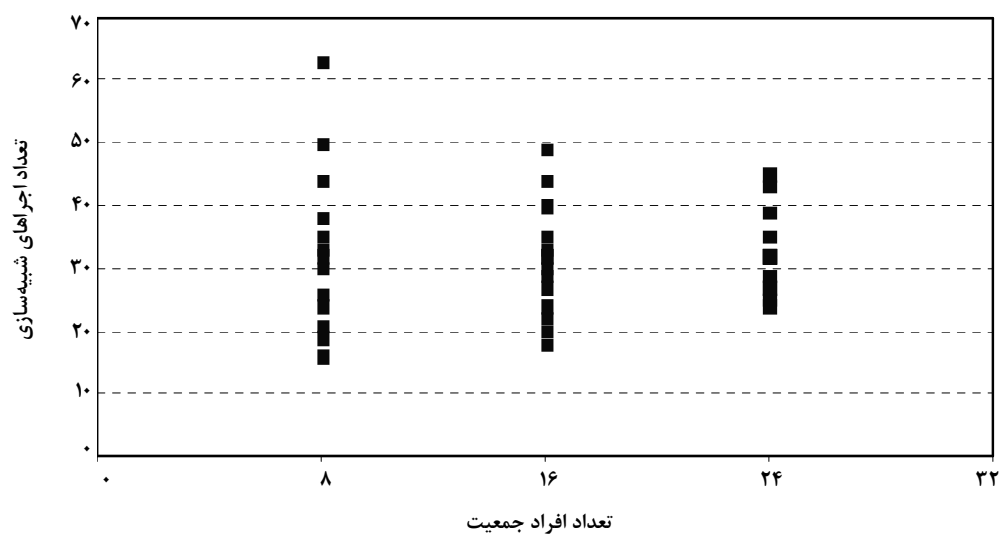
در مرحله بعد تلاش شد که تعداد دفعات اجرای شبیه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک کاهش داده شود. تعداد جمعیت، احتمال تقاطع، و احتمال جهش به ترتیب ۱۶، ۰/۷، و ۰/۰۶۳ انتخاب شدند. جدول (۲) خلاصه نتایج ۵ اجرای برنامه را نشان می‌دهد. در همه اجراها به جز در اجرای شماره ۴ بهترین مکان چاه بوسیله الگوریتم ژنتیک پیدا شد.

جدول ۲- نتایج چند اجرای برنامه بهینه‌سازی

ردیف	تعداد شبیه سازی	شماره نسل ژنتیک	تولید نهایی، میلیون بشکه
۱	۲۹	۴	$3 \times 10^7/3$
۲	۳۵	۶	$3 \times 10^7/3$
۳	۲۷	۵	$3 \times 10^7/3$
۴	۱۶	۱	$28 \times 10^7/3$
۵	۲۱	۳	$3 \times 10^7/3$

نشان می‌دهد، انتخاب تعداد کم و یا تعداد زیاد هردو به تعداد اجراهای شبیه‌سازی بیشتر می‌انجامد. شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب اثر احتمال تقاطع و احتمال جهش را بر تعداد اجراهای شبیه‌سازی نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد مقادیر $0/7$ و $0/063$ به ترتیب برای احتمال تقاطع و احتمال جهش بهینه باشند.

در مرحله بعد تلاش شد که پارامترهای الگوریتم ژنتیک طوری تنظیم شوند تا سرعت رسیدن به جواب بهینه بیشتر شود یا به عبارت دیگر تعداد اجراهای مورد نیاز برنامه باز هم کاهش یابد. سه پارامتر در این روش، قابل تنظیم هستند: تعداد جمعیت، احتمال تقاطع، و احتمال جهش برای تعداد جمعیت (که همیشه باید عددی زوج انتخاب شود) مقادیر ۸، ۱۶، و ۲۴ انتخاب شد. شکل (۷) اثر تعداد جمعیت بر تعداد اجراهای برنامه شبیه ساز را نشان می‌دهد. همانطور که این شکل



شکل ۷- اثر تعداد جمعیت بر تعداد اجراهای شبیه سازی.

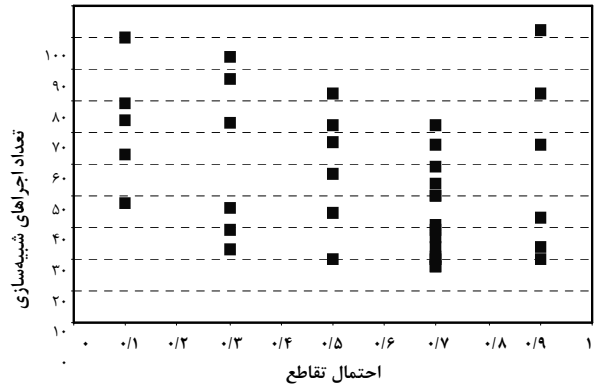
بررسی شد و جنبه اقتصادی مسأله مورد بررسی قرار نگرفت. برای تکمیل این بهینه‌سازی لازم است عوامل اقتصادی از قبیل هزینه احداث خطوط انتقال و واحدهای بهره‌برداری، هزینه‌های حفاری و تکمیل چاه، میزان تقاضا و قیمت نفت، زمان تولید و ... نیز در بهینه‌سازی وارد شوند.

تشکر و قدردانی

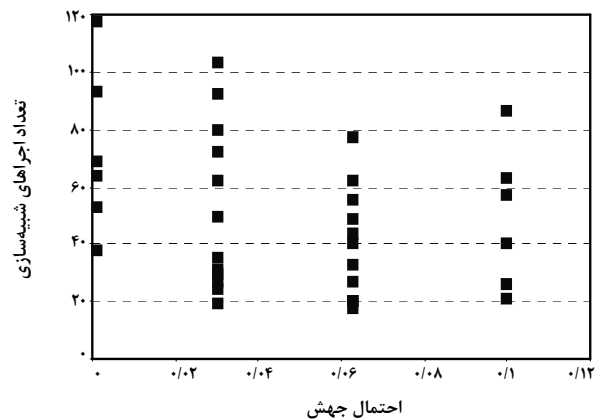
مؤلفان مقاله بر خود لازم می‌دانند از مدیریت پژوهش و توسعه شرکت ملی نفت ایران به دلیل حمایت‌های مالی از این تحقیق تشکر و قدردانی کنند.

مراجع

- [1] Haupt, R. L., and Haupt, S. E., "Practical Genetic Algorithms". John Wiley & Sons, Inc., New York, New York, (1998).
- [2] Muskat, M., "Physical Principles of Oil Production", Tulsa, OK, P. 810- 904, (1952).
- [3] Aanonsen, S. I., et al., "Optimizing Reservoir Performance under Uncertainty with Application to Well Location", Paper SPE 30710, (1995).
- [4] Montes, G., et al, "The Use of Genetic Algorithm in Well Placement Optimization", Paper SPE 69439, (2001).
- [5] Bittencourt A. C., and Horne R. N., "Reservoir Development and Design Optimization", Paper SPE 38895, (1997).
- [6] Guyaguler B., et al., "Uncertainty Assessment of Well Placement Optimization", Paper SPE 71625, (2001).
- [7] Holland, J. H.: "Adaptation in Natural and Artificial Systems", The University of Michigan Press, Ann Harbor, (1975).



شکل ۸- اثر احتمال تقاطع بر تعداد اجراهای شبیه‌سازی.



شکل ۹- اثر احتمال جهش بر تعداد اجراهای شبیه‌سازی.

۵- نتیجه‌گیری

انتخاب مکان‌های مناسب برای حفر چاه‌های جدید مسأله بسیار پیچیده‌ای است که در آن باید به عوامل بسیار زیادی در دو زمینه مهندسی نفت و ملاحظات اقتصادی توجه کرد.

برای بهینه‌سازی انتخاب موقعیت‌های مناسب برای حفر چاه (های) جدید، دقیق‌ترین روش استفاده از شبیه‌سازی است ولی از آنجا که تعداد زیادی شبیه‌سازی مورد نیاز است باید یکی از روش‌های بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد تا تعداد اجراها کاهش یابد.

در این مقاله توانایی الگوریتم ژنتیک در کاهش تعداد شبیه‌سازی‌های مورد نیاز بررسی شد. برای مدل مورد مطالعه، تعداد جمعیت، احتمال تقاطع، و احتمال جهش، به ترتیب، ۱۶، ۰/۷، و ۰/۰۰۶۳ به عنوان بهترین مقادیر انتخاب شدند.

در این مطالعه تنها جنبه مهندسی مخزن مسأله تعیین مکان چاه