



بهینه‌سازی مسیر چاه‌های جهت‌دار با استفاده از الگوریتم زنبور عسل مصنوعی

بهوش‌زری میدانی^۱، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

سپاسک حسینی^{۲*}، مهدی زلفی^۳، شرکت ملی حفاری ایران

چکیده

حفاری چاه‌های جهت‌دار، علی‌رغم آنکه متأثر از شرایط عملیاتی است، اما در آن، انتخاب مسیر مناسب بسیار حائز اهمیت است. یکی از شاخصه‌های مهم در انتخاب این مسیر، کمتر بودن میزان درگ و گشتاورِ اعمالی به رشته حفاری است. این مهم به‌ویژه در چاه‌های بادسترسی گسترده و یا چاه‌های افقی بیش از پیش نمایان می‌شود چرا که هر چه میزان درگ چاه با رشته حفاری کاهش یابد، امکان حفاری در حالت بدون چرخش رشته حفاری (سُریدن) بیشتر می‌گردد. به‌ویژه آنکه استفاده از تکنولوژی‌های جدید مستلزم صرف هزینه بیشتر است. در این مقاله، بهینه‌کردن مسیر یک چاه جهت‌دار با اولویت کمتر بودن میزان درگ و گشتاورِ اعمالی به رشته حفاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدیهی است هر چه میزان درگ کمتر شود، امکان اعمال وزن بیشتر بر روی مته و به تبع آن، سرعت حفاری افزایش پیدا می‌کند. جهت بهینه‌کردن مسیر حفاری از الگوریتم زنبور عسل مصنوعی استفاده می‌گردد. در این روش، با انتخاب عمق اندازه‌گیری شده‌ی نهایی به‌عنوان تابع هدف و دخالت پارامترهای مسیر نظیر شدت سگدست و زاویه نهایی چاه و تأثیر این پارامترها بر روی درگ اعمالی به رشته حفاری، مسیر بهینه در دو حالت کوتاه‌ترین مسیر و کوتاه‌ترین مسیر با توجه به کمترین درگ اعمالی به رشته حفاری انتخاب می‌گردد. لزوم رسیدن به نقطه هدف در چاه‌های جهت‌دار مسأله را به یک مسأله مقید تبدیل می‌کند، نکته قابل توجه در روند بهینه‌سازی، آن است که محدودیت‌های عملیاتی رانیز می‌توان به‌عنوان قید در نظر گرفت و از این روش برای الگوهای مختلف چاه‌های جهت‌دار استفاده کرد.

واژگان کلیدی | الگوریتم زنبور عسل مصنوعی، بهینه‌سازی، حفاری جهت‌دار، درگ

مقدمه

بهینه‌سازی در حوزه‌های مختلف علوم، نظیر اقتصاد و مهندسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سهولت استفاده، دامنه کاربرد وسیع و قابلیت دستیابی به جواب‌های قابل قبول، از جمله دلایل محبوبیت این روش‌هاست. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم زنبور عسل مصنوعی که بر گرفته از رفتار زنبورهای عسل در طبیعت است، اشاره کرد. در این مقاله، با استفاده از این الگوریتم به طراحی بهینه یک چاه جهت‌دار اشاره خواهد شد.

از آنجایی که طراحی یک چاه جهت‌دار تابع مسیر حفاری بوده و همچنین، با توجه به الگوهای مختلف در چاه‌های جهت‌دار، الگوی افزایش - حفظ زاویه، به‌عنوان کاربردی‌ترین الگوی چاه‌های جهت‌دار به‌عنوان نمونه انتخاب می‌گردد. میزان گشتاور و درگ چاه در طول مسیر حفاری، ارزیابی شده و بهترین مسیر حفاری از نظر کمترین درگ رشته حفاری انتخاب می‌گردد.

نکته قابل توجه در این بهینه‌سازی آن است که پارامترهای جانبی دیگر که به نوعی، مسیر چاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند و همچنین، محدودیت‌های عملیاتی رانیز می‌توان در روند بهینه‌سازی دخالت داد.

بهینه‌سازی مسیر چاه‌های جهت‌دار با الگوهای مختلف آن همواره مورد توجه کارشناسان بوده و مقالات متعددی در این زمینه نوشته شده است. هرچند این مسیر متأثر از شرایط مختلف نظیر شرایط عملیاتی و یا زمین‌ساختاری نیز می‌باشد، اما این روش‌ها کمک شایانی به روند حفاری جهت‌دار می‌کنند.

بهبود پارامترهای حفاری جهت‌دار هنگام کار با موتورهای درون‌چاهی [۱]، بهبود مسیر حفاری با استفاده از روش‌های متفاوت نظیر روش نامقید کمینه‌سازی متوالی [۲]، از جمله فعالیت‌هایی است که در راستای بهینه‌سازی این نوع حفاری انجام پذیرفته است. وابستگی پارامترهای مختلف حفاری به یکدیگر و همچنین ابداع روش‌های نوین و هوشمند بهینه‌سازی، باعث گردید که نگاه‌های کارشناسان به این روش‌های جدید معطوف گردد، به‌گونه‌ای که امروزه صحبت از حفاری هوشمند نیز به میان می‌آید. بهینه‌سازی مسیر یک چاه S شکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک که توسط شوکیر و همکارانش انجام گرفت [۳]، از جمله این اقدامات است. در دهه‌های اخیر، روش‌های تکاملی به‌عنوان یک ابزار مفید

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (smk.hosseini@yahoo.com)

۱- روش تحقیق

به منظور بهینه‌سازی مسیر با توجه به درگ رشته حفاری، ابتدا معادلات مسیر برای یک چاه جهت‌دار با الگوی افزایش و حفظ زاویه بیان می‌گردد. سپس، درگ اعمالی به رشته حفاری از طریق معادلات مربوطه محاسبه گردیده و پس از آن، با استفاده از الگوریتم زنبور عسل مصنوعی، مسیر بهینه به دست می‌آید. انتخاب مسیر بهینه از طریق کدنویسی در برنامه متلب و حل همزمان معادلات مربوط به مسیر و درگ رشته حفاری، صورت می‌پذیرد.

۲-۱- نیروی درگ

در چاه‌های جهت‌دار، میزان درگ اعمالی به رشته حفاری را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: بخش زاویه ثابت چاه و بخش منحنی شکل چاه. در بخش زاویه ثابت، رشته حفاری مانند قرار گرفتن یک جسم روی سطح شیب‌دار است. جهت سهولت کار و با توجه به آنکه رشته حفاری آرایش اجزای مختلفی از لوله‌های وزنه، لوله‌های حفاری سنگین، لوله‌های حفاری و... را در برمی‌گیرد، لذا از وزن شناوری واحد طول استفاده می‌گردد. از طرفی، هر بخش از رشته حفاری همواره تحت تأثیر دو نیرو قرار دارد (شکل-۲).

با توجه به شکل-۲، معادلات-۶ و ۷ به دست می‌آید.

هنگام بالا رفتن رشته حفاری

$$F_2 - F_1 = \mu \cdot W \cdot \sin \alpha + W \cos \alpha \quad (6)$$

هنگام پایین رفتن رشته حفاری

$$F_2 - F_1 = -\mu \cdot W \cdot \sin \alpha + W \cos \alpha \quad (7)$$

F نیروی کششی، W وزن واحد شناوری، μ ضریب اصطکاک و L طول هر بخش از رشته حفاری است. مقدار ضریب اصطکاک با توجه به نوع گل حفاری انتخاب می‌گردد [۴].

در بخش منحنی شکل چاه، نیروی درگ و گشتاور اعمالی به رشته حفاری تابعی از کشش رشته حفاری و میزان تغییرات انحناء (شدت سگدست) خواهد بود. با توجه به شکل-۳، مقدار نیروی درگ به کمک معادله-۸ به دست می‌آید [۵].

$$F_2 = f(\alpha) + (F_1 - f(\alpha)) \cdot e^{k \cdot \mu (\alpha_0 - \alpha)} \quad (8)$$

$$f(\alpha) = \frac{(w \cdot R)}{(1 + \mu^2)} \{ (1 - \mu^2) \sin(\alpha) - 2k \cdot \mu \cos(\alpha) \}$$

با توجه به انتخاب الگوی افزایش - حفظ زاویه، مقادیر پارامترهای معادلات-۶ تا ۸ عبارتند از:

$$k=1$$

$$\alpha_1 = 360 - \alpha$$

۱-۱- معادلات مسیر چاه در الگوی افزایش - حفظ زاویه

الگوی افزایش - حفظ زاویه از مرسوم‌ترین الگوهای حفاری جهت‌دار است که در شکل-۱ نشان داده شده است. در این الگو، سه متغیر با دو درجه آزادی وجود دارد؛ این متغیرها عبارتند از: نقطه شروع انحراف^۱، شدت سگدست^۲ و زاویه نهایی چاه. ارتباط بین این پارامترها در معادلات-۱ تا ۵ نشان داده شده است.

$$DLS = \frac{18000}{\pi R} \quad (1)$$

$$\alpha = \arccos \frac{R-X}{d} - \arccos \frac{R}{d} \quad (2)$$

$$d = \sqrt{(D_3 - D_1)^2 + (X - R)^2} \quad (3)$$

$$MD_{EOB} = D_1 + \frac{100\alpha}{DLS} \quad (4)$$

$$MD = MD_{EOB} + \frac{D_3 - D_{EOB}}{\cos \alpha} \quad (5)$$

برنامه‌های پیشنهادی حفاری جهت‌دار، میزان جابه‌جایی افقی و همچنین عمق قائم حقیقی تا رسیدن به نقطه هدف، مشخص است. در این معادلات DLS شدت سگدست، R شعاع انحناء، α زاویه نهایی چاه، MD عمق اندازه‌گیری شده نهایی و MD_{EOB} عمق چاه تا پایان نقطه انحناء است.

جدول ۱ | برنامه پیشنهادی حفاری جهت‌دار

جایجایی افقی در جهت ۲۲۵/۸۵ درجه							
شدت سگدست (درجه در ۳۰ متر)	جایجایی افقی (متر)	محور شرق (متر)	محور شمال (متر)	عمق قائم (متر)	جهت (درجه)	زاویه (درجه)	عمق (درجه)
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴/۹۹	۰/۰۲	-۱۷/۹۷	-۱۷/۹۷	۱۹۰۸/۷۸	۲۲۶	۱/۵	۱۹۰۹
۱۱۷/۴۲	۴	-۸۴/۳۰	-۸۱/۷۳	۲۱۶۳/۹۷	۲۲۵/۸۵	۳۸/۳۲	۲۱۸۵/۱۴
۴۲۶/۴۵	۰	-۳۰۶/۰۴	-۲۹۶/۹۸	۲۵۵۵	۲۲۵/۸۵	۳۸/۳۲	۲۶۸۴/۵۴



موجود در هر منبع بیانگر کیفیت (برازندگی) آن منبع است [۸،۷]. تعداد زنبورهای استفاده شده یا زنبورهای جستجوگر برابر تعداد پاسخ‌های موجود در جمعیت زنبورهاست. در مرحله اول، یک جمعیت اولیه از جواب‌ها SN که برابر همان موقعیت منبع غذایی است، تولید می‌شود؛ در جایی که SN بیانگر تعداد زنبورهای استفاده شده یا جستجوگر است. هر پاسخ X_{ij} ($j=1, 2, 3, \dots, SN$) یک بردار D بعدی است که D تعداد پارامترهای بهینه‌سازی است.

زنبورهای جستجوگر یک منبع غذایی را بر اساس احتمال، انتخاب می‌کنند. این انتخاب، متأثر از کیفیت آن منبع غذایی است. احتمال انتخاب هر منبع توسط معادله ۹ محاسبه می‌گردد.

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{N=1}^{SN} fit_i} \quad (9)$$

در معادله ۹ مقدار برازندگی پاسخ i است و انتخاب منبع غذایی جدید V_{ij} ، با توجه به منبع غذایی پیشین X_{ij} توسط معادله ۱۰ صورت می‌گیرد.

$$V_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij}(X_{ij} - X_{kj}) \quad (10)$$

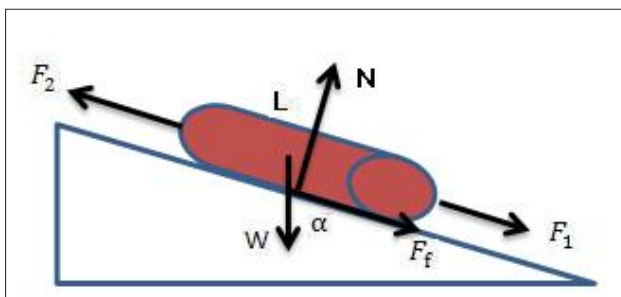
$k \in \{1, 2, \dots, SN\}$ و $j \in \{1, 2, \dots, SN\}$ شاخص‌های تصادفی انتخاب شده هستند. اگر چه k به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد، اما باید متفاوت از j باشد. ϕ_{ij} یک عدد تصادفی بین $[-1, 1]$ بوده و کنترل‌کننده منبع غذایی تولید شده در همسایگی X_{ij} است. در الگوریتم زنبور عسل مصنوعی، اگر یک منبع غذایی بعد از تعداد

مقدار زاویه در هنگام بالا رفتن رشته حفاری $\alpha_2 = 360$
مقدار زاویه در هنگام پایین رفتن رشته حفاری $\alpha_1 = 180\alpha_2 = 180 + \alpha$
هر چه میزان درگ رشته حفاری کمتر باشد، امکان اعمال وزن بیشتر بر روی مته بهتر صورت می‌گیرد. این مسأله به‌ویژه در چاه‌های با دسترسی گسترده و یا چاه‌های افقی بسیار حائز اهمیت است، چراکه افزایش بیش از حد درگ پیش از آنکه باعث اعمال وزن بر روی مته گردد، سبب کماتش در رشته حفاری خواهد شد. در این حالت، به استفاده از سیستم‌های جدید، نظیر سیستم‌های دورانی هدایت‌پذیر، نیاز بوده که مستلزم صرف هزینه‌های بیشتر است.

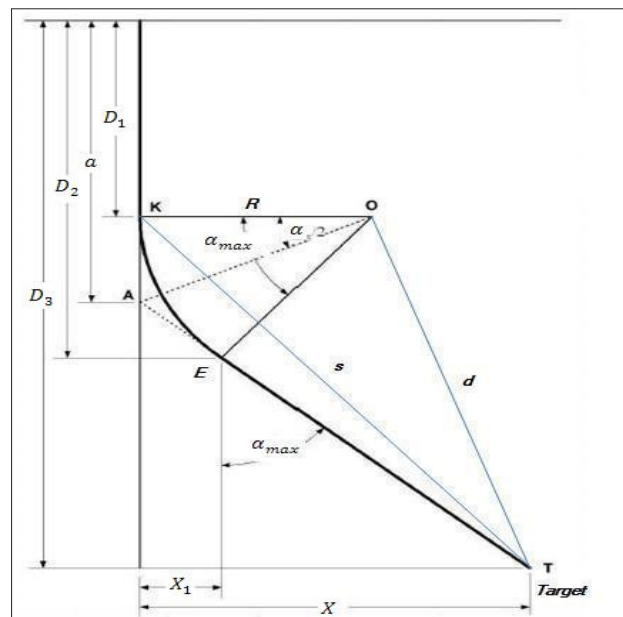
۱-۳- الگوریتم زنبور عسل مصنوعی

این الگوریتم در سال ۲۰۰۵ توسط درویش کارابوا معرفی گردید [۶] که برگرفته از رفتار زنبورهای عسل در یافتن گلزارهای مطلوب جهت جمع‌آوری شهد مناسب است. الگوریتم زنبور عسل مصنوعی از جمله الگوریتم‌های مبتنی بر هوش جمعی و حاصل ارتباط زنبورهای عسل با یکدیگر است. در این الگوریتم، هر زنبور به تنهایی قادر به یافتن گلزار مناسب نیست، بلکه همکاری و تبادل اطلاعات بین مجموعه‌ای از زنبورها منجر به یافتن گلزار مناسب خواهد شد.

در الگوریتم زنبور عسل مصنوعی، اجتماع و کلونی زنبورها شامل سه گروه است: زنبورهای استفاده شده، زنبورهای جستجوگر و زنبورهای دیده‌بان. در این الگوریتم، هر منبع غذایی نشان‌دهنده یک جواب ممکن برای مسأله بهینه‌سازی است و مقدار شهد



شکل ۲ | رشته حفاری در بخش زاویه ثابت چاه.



شکل ۱ | نمای قائم چاه در الگوی افزایش و حفظ زاویه.

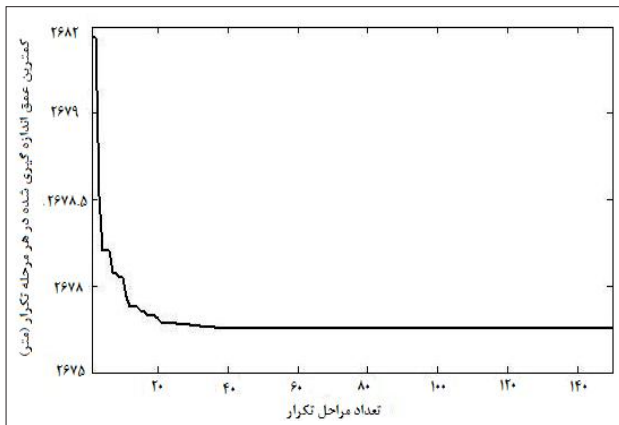
۲ حدود شدت سگدست و نقطه شروع انحراف		
متغیر	حد پایین	حد بالا
نقطه شروع انحراف (متر)	۱۹۰۹	۲۵۵۵
شدت سگدست (درجه در هر ۳۰ متر)	۱	۷

جدید غذایی

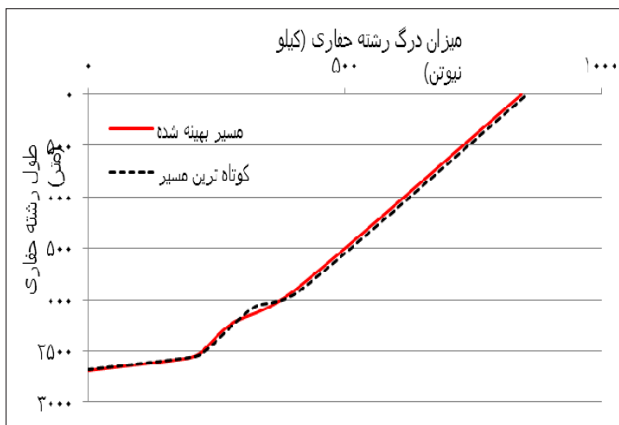
- به خاطر سپردن بهترین منبع غذایی
- تکرار مراحل قبل به گونه‌ای که شرایط مطلوب حاصل گردد.

۲- مدل سازی

به منظور تعیین پاسخ‌های تصادفی اولیه در الگوریتم زنبور عسل مصنوعی و با توجه به معادلات الگوی افزایش و حفظ زاویه بهینه‌سازی، باید محدودده متغیرهای مسیر تعریف گردند. برای این کار با توجه به سه متغیر با دو درجه آزادی می‌توان محدودده دو متغیر نقطه انحراف و شدت سگدست را تعیین کرده و متغیر سوم را که زاویه نهایی چاه است، به عنوان قید در نظر گرفت. اما از آنجایی که محدودده نقطه شروع انحراف با محدودده شدت سگدست متفاوت است، جهت ایجاد پاسخ‌های اولیه، هر دو متغیر در دو بردار جداگانه تعریف و سپس، با ترکیب آن‌ها در یک ماتریس مجزا، پاسخ‌های اولیه ایجاد می‌گردد. پس، هر پاسخ دارای دو مشخصه خواهد بود: شروع نقطه انحراف و شدت سگدست.



شکل ۵ | کمترین عمق اندازه‌گیری شده در هر مرحله تکرار.



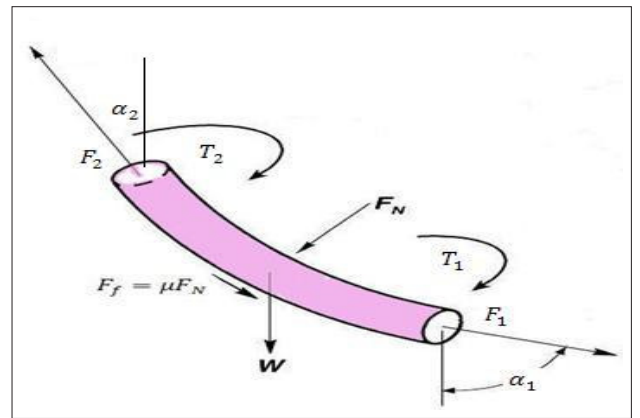
شکل ۶ | مقایسه میزان درگ رشته حفاری بین مسیر بهینه شده و کوتاه‌ترین مسیر حفاری

مراحل تکرار مشخصی هیچ بهبودی حاصل نکند، به آن، منبع غذایی متروکه گفته می‌شود. به تعداد مراحل تکرار، پارامتر حد گفته و معمولاً با حرف L نشان داده می‌شود [۷]. در این صورت، زنبورهای دیده‌بان با توجه به معادله ۱۱ و به صورت تصادفی منبع غذایی جدیدی را جایگزین آن خواهند کرد.

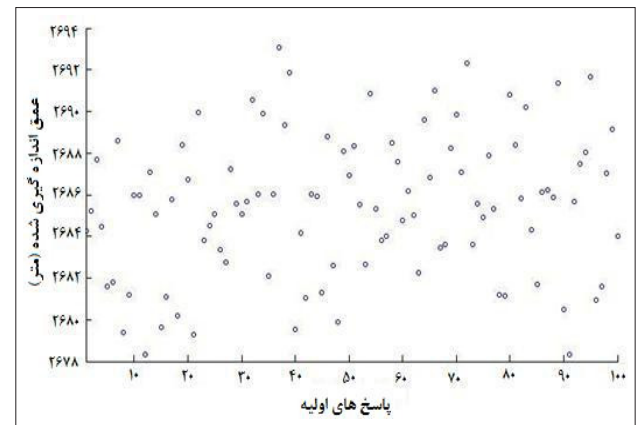
$$x_i^j = x_{\min}^j + \text{rand}[0,1](x_{\max}^j - x_{\min}^j) \quad (11)$$

ز برابر تعداد متغیرهای بهینه‌سازی است. در حالت کلی، روند بهینه‌سازی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ایجاد مجموعه‌ای از پاسخ‌های تصادفی اولیه در فضای جستجو
- اختصاص زنبورهای استخدام شده به منابع غذایی (هر زنبور یک منبع غذایی)
- اختصاص زنبورهای جستجوگر به منابع غذایی با توجه به میزان شهد آن‌ها
- فرستادن زنبورهای دیده‌بان به فضای جستجو جهت کشف منابع



شکل ۷ | رشته حفاری در بخش منحنی شکل چاه



شکل ۸ | پراکندگی پاسخ‌های اولیه در فضای جستجو



خواهند شد. منابع غذایی (شدت سگدست و شروع نقطه انحراف) که در برازندگی آن‌ها بهبودی حاصل نشود، رها می‌گردند و زنبورهای دیده‌بان با توجه به معادله-۱۱، منبع غذایی دیگری را جایگزین می‌کنند. در پایان، بهترین منبع غذایی (بهترین شدت سگدست و بهترین نقطه شروع انحراف)، انتخاب می‌گردد. این روند به صورت تکراری تا جایی ادامه می‌یابد که شرایط مناسب محقق گردد. شرایط مناسب می‌تواند یک برازندگی خوب و یا مراحل تکرار مشخصی باشد.

در مرحله تکرار آخر، شرط کمترین درگ رشته حفاری از طریق دنبال کردن آن در هر مرحله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در پایان، شرایط بهینه برای دو حالت به دست می‌آید:

الف- کوتاه‌ترین مسیر حفاری،

ب- کوتاه‌ترین مسیر با توجه به کمترین میزان درگ رشته حفاری.

۲-۱- اعمال بهینه‌سازی بر یک چاه واقعی حفاری شده

با توجه به مطالب گفته شده اکنون به بهینه‌سازی مسیر چاه و پارامترهای حفاری جهت‌دار می‌پردازیم: بهینه‌سازی بر روی چاه شماره ۳۵۹ اهواز و در حفره $\frac{1}{4}$ ۱۲ انجام گرفته است. مشخصات چاه، خواص گل حفاری و مجموعه ته‌چاهی، از گزارش‌های روزانه حفاری استخراج گردیده و مورد استفاده قرار گرفته است.

بازه شروع نقطه انحراف را می‌توان با توجه به مطالعات زمین‌شناسی و همچنین برنامه پیشنهادی حفاری جهت‌دار برای حفره‌های مختلف تعیین کرد. به عنوان مثال، برای حفره $\frac{1}{4}$ ۱۲ اینچ این محدوده می‌تواند از عمق قائم حقیقی نقطه جداره گذاری $\frac{3}{8}$ ۱۳ اینچ تا عمق قائم حقیقی نقطه جداره گذاری $\frac{5}{8}$ ۹ اینچ باشد. بازه شدت سگدست نیز تابع نوع حفره و همچنین، محدودیت‌های عملیاتی و مکانیکی رشته حفاری است. به عنوان نمونه با توجه به محدودیت‌های حفاری در سازند گچساران و همچنین اطلاعات میدانی، می‌توان این محدوده را بین ۷ تا ۱۰ در نظر گرفت. محدودیت‌های مکانیکی رشته حفاری را نیز می‌توان به عنوان قید در معادلات بهینه‌سازی اعمال نمود. محدوده در نظر گرفته شده یک محدوده اختیاری است و معمولاً در برنامه‌ریزی چاه این محدوده تعریف می‌شود.

در مرحله نخست مجموعه‌ای از پاسخ‌های تصادفی اولیه ایجاد می‌گردد. سپس زنبورهای استخدام شده با توجه به معادله-۱۰ پاسخ‌های جدیدی ایجاد می‌کنند. ارزیابی منابع غذایی (پاسخ‌های اولیه) با توجه به تابع هدف که عمق اندازه‌گیری شده نهایی است، انجام می‌شود. عمق اندازه‌گیری شده نهایی به کمک معادله-۵ به دست می‌آید. پس از ارزیابی تمام منابع غذایی، با توجه به کیفیت هر منبع غذایی که برازندگی آن توسط معادله-۹ مشخص می‌گردد، زنبورهای جستجوگر به منابع غذایی، اختصاص داده

۳ | طراحی مسیر برای حالتی که فقط پارامترهای مسیر در نظر گرفته شوند.

جابجایی افقی در جهت ۲۲۵/۸۵ درجه								
شدت سگدست (درجه در ۳۰ متر)	جابجایی افقی (متر)	محور شرق (متر)	محور شمال (متر)	عمق قائم (متر)	جهت (درجه)	زاویه (درجه)	عمق (درجه)	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰/۰۲	۲۴/۹۹	-۱۷/۹۷	-۱۷/۹۷	۱۹۰۸/۷۸	۲۲۶	۱/۵	۱۹۰۹	۱
۷	۶۹/۰۹	-۴۹/۶۲	-۴۸/۰۷	۲۰۴۲/۸۴	۲۲۵/۸۵	۳۴/۹۱	۲۰۵۲/۱۷	۲
۰	۴۲۶/۴۷	-۳۰۶/۰۵	-۲۹۷	۲۵۵۵	۲۲۵/۸۵	۳۴/۹۱	۲۶۷۶/۶۵	۳

۴ | طراحی برای حالتی که علاوه بر پارامترهای مسیر، کمترین درگ رشته حفاری نیز در نظر گرفته شده است.

جابجایی افقی در جهت ۲۲۵/۸۵ درجه								
شدت سگدست (درجه در ۳۰ متر)	جابجایی افقی (متر)	محور شرق (متر)	محور شمال (متر)	عمق قائم (متر)	جهت (درجه)	زاویه (درجه)	عمق (درجه)	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰/۰۲	۲۴/۹۹	-۱۷/۹۷	-۱۷/۹۷	۱۹۰۸/۷۸	۲۲۶	۱/۵	۱۹۰۹	۱
۳/۸۸	۱۲۱/۷۶	-۸۹/۳۷	-۸۴/۸۰	۲۱۷۳/۶۹	۲۲۵/۸۵	۳۸/۶۳	۲۱۹۶/۰۶	۲
۰	۴۲۶/۴۵	-۳۰۶/۰۲	-۲۹۶/۹۸	۲۵۵۵	۲۲۵/۸۵	۳۸/۶۳	۲۶۸۴/۱۶	۳

مناسب انتخاب می گردد. جهت تبیین موضوع، به ذکر یک مثال عملی پرداخته شده است. با توجه به پاسخ های به دست آمده از بهینه سازی می توان نتیجه گرفت که:

■ مقایسه مسیر پیشنهادی حفاری جهت دار چاه شماره ۳۵۹ اهواز (جدول-۱) و مسیر به دست آمده از بهینه سازی (جدول-۴) نشان می دهد که مسیر پیشنهادی حفاری جهت دار به لحاظ کمتر بودن درگ، با مسیر بهینه شده توسط الگوریتم زنبور عسل طبیعی از هم خوانی خوبی برخوردار است.

■ امکان اضافه نمودن قیدهای مختلف دیگر و همچنین، محدودیت های عملیاتی حفاری در روند بهینه سازی وجود دارد. در مثال ذکر شده، با توجه به مشکلات حفاری در زوایای بالاتر از ۴۰ درجه در سازند گچساران، قید حداکثر زاویه ۴۰ درجه اعمال شده است.

■ الگوریتم زنبور عسل طبیعی در یافتن کوتاه ترین مسیر حفاری جهت دار، همگرایی بسیار خوبی دارد که از مزیت های استفاده از این الگوریتم است (جدول-۳). این مسأله در شکل-۶ نشان داده شده است.

■ مقایسه جداول-۳ و ۴ نشان می دهد، علی رغم آنکه مسیر حفاری کمتر بوده اما میزان درگ بیشتر است. با توجه به شکل-۷ میزان این اختلاف در حدود ۱۱ کیلونیوتن است. اگرچه این مقدار با توجه به کوتاه بودن مسیر حفاری جهت دار تفاوت زیادی ندارد اما استفاده از این روش به ویژه در چاه های با دسترسی گسترده، بسیار ثمربخش خواهد بود. (چاه هایی که جابجایی افقی در آنها بیش از ۲/۵ کیلومتر است).

■ استفاده از الگوریتم زنبور عسل طبیعی در بهینه سازی الگوهای دیگر چاه های جهت دار پیشنهاد می گردد.

برنامه پیشنهادی حفاری جهت دار در مختصات محلی طبق جدول-۱ خواهد شد. همچنین، حدود متغیرها با توجه به مباحث ارائه شده در بخش مدل سازی و همچنین مشکلات حفاری در میدان های مجاور اهواز و همچنین اطلاعات میدانی به صورت جدول-۲ در نظر گرفته می شود.

شروع نقطه انحراف را می توان از نقطه جداره گذاری $\frac{3}{8}$ -۱۳ اینچ یعنی عمق ۱۸۹۳/۵ متر در نظر گرفت، اما با توجه به ملاحظات زمین شناسی، عمق ۱۹۰۹ متر جهت شروع نقطه انحراف در نظر گرفته شده است. حدود شدت سگدست نیز کاملاً اختیاری است، اما باید شرایط مسأله را احصاء کند و محدودیت های عملیاتی و رشته حفاری نیز در نظر گرفته شوند. با توجه به اطلاعات میدانی، این محدوده بین ۱ تا ۷ در نظر گرفته شده است. میزان جابه جایی افقی تا نقطه هدف (جداره گذاری $\frac{5}{8}$ -۱۹ اینچ) با توجه به اطلاعات داده شده برابر ۴۲۶/۴۵ متر است. برای شروع بهینه سازی، پاسخ های اولیه ۱۰۰ در نظر گرفته می شود. با توجه به پاسخ های اولیه، پراکندگی جواب ها به شکل ۵- خواهد بود.

پس از انجام بهینه سازی (کد نوشته شده توسط نرم افزار متلب) دو جواب برای دو حالت به دست می آید:

الف- کوتاه ترین مسیر با توجه به پارامترهای مسیر (جدول-۳).

ب- کوتاه ترین مسیر با توجه اعمال شرط کمترین درگ رشته (جدول-۴).

نتیجه گیری

به منظور بهینه سازی مسیر چاه های جهت دار با استفاده از الگوریتم زنبور عسل مصنوعی ابتدا پارامترها و قیدهای وابسته به مسیر تعریف و سپس با اعمال قید کمترین درگ در حین بهینه سازی مسیر در هر مرحله، مسیر

پانویس ها

¹ Dogleg Severity

² Kick of Point (KOP)

منابع

- [1] Robello S.G. and Miska S.(1998). " Optimization of Drilling Parameters with The Performance of Multilobe Positive Displacement Motor." IADC/SPE Asia Pacific Drilling Conference., Jakarta, Indonesia.
- [2] Helmy, M. and Khalaf, W. and Darwish, F.(1998). "Well Design Using a Computer Model", Journal SPE Drilling & Completion, 13:1, 4246-.
- [3] Shokir, E.M. and Eid, E.M, Waly, S.M.(2002). " Optimal 3-D Directional & Horizontal Wells Planning Using Genetic Algorithm" Annual International SPE Conference and Exhibition, Abuja, Nigeria.
- [4] Carden, S. and Grace, R. and Robert, D.(2007), Horizontal and Directional Drilling, Tulsa Petroskills Ilc & OGI Company.
- [5] Aadnoy, B.S.(2008). "Theory and Application of New Generalized Model for Torque and Drag" ADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, Jakarta, Indonesia.
- [6] Chang, T.S. and Tiwari, M.K.(2007). Swarm Intelligence, I-Tech, Vienna, Austria.
- [7] Nadezda, S. and Milan, T. and Nebojsa, B.(2011). " Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Constrained Problems Optimization", Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, 5:3, 644651-.
- [8] Karaboga, D. and Bahriye, A.(2009). "A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm", Journal of Applied Mathematics and Computation, 214, 108132-