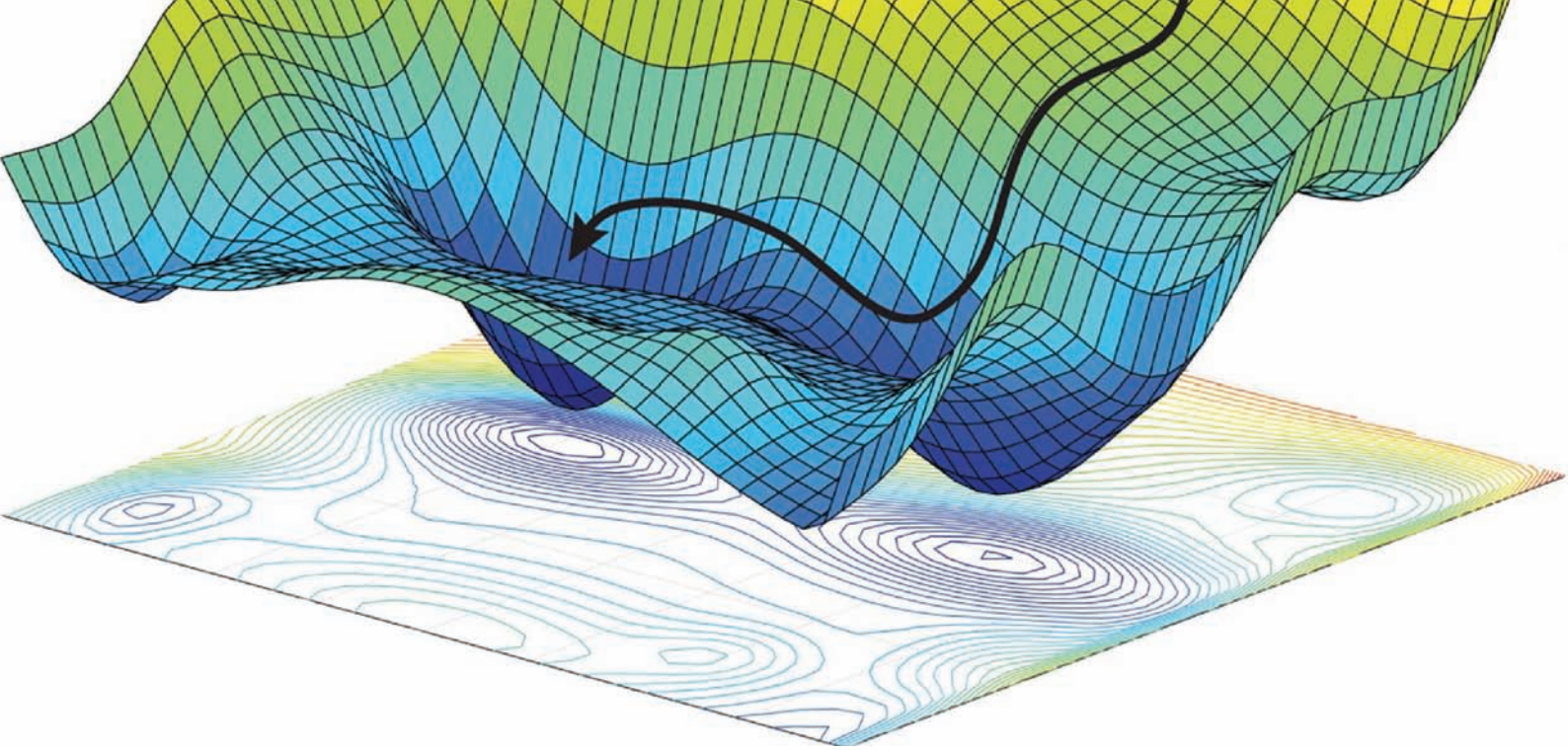


مقاله علمی-ترویجی

الگوریتم‌های فراکاوشی جدید

علی کارساز/ عضو هیئت‌علمی موسسه آموزش عالی خراسان/ a.karsaz@khorasan.ac.ir
محبوبه قاسمی/ موسسه آموزش عالی خراسان/ m.ghasemi@khorasan.ac.ir

چکیده

پیچیدگی مدل‌های ریاضی، افزایش نمایی زمان حل بسیاری از روش‌ها، عدم دسترسی به اطلاعات گرادیان و همگرایی به بهینه محلی، از جمله مشکلاتی هستند که الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلاسیک در حل مسایل پیچیده با آن‌ها مواجه هستند. به‌منظور رفع این مشکلات از الگوریتم‌های فراکاوشی به طور گسترده برای حل مسایل پیچیده و چند متغیره استفاده می‌شود. انتخاب بهترین و مناسب‌ترین الگوریتم به دلیل تنوع بالای آن‌ها کاری دشوار است. در پژوهش‌های گذشته برخی از این روش‌ها جمع‌بندی شده‌اند ولی به دلیل انتشار بیش از اندازه این الگوریتم‌ها در سال‌های اخیر، مقاله‌ای مشخصی که تمامی این روش‌ها را بیان و مقایسه نماید وجود ندارد. در این مقاله مهم‌ترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراکاوشی از سال ۲۰۱۲ تاکنون معرفی شده است. در بخش‌های مجزا برای هر الگوریتم، تاریخچه، منبع الهام، تابع هدف و تعداد پارامترهای تنظیم آن بیان‌شده است. سپس با استفاده از چندین نظریه، این الگوریتم‌ها دسته‌بندی و مقایسه شده‌اند. با توجه به نوع کاربرد هر الگوریتم در مسایل مهندسی، نمی‌توان الگوریتم واحدی را به‌عنوان بهترین روش معرفی نمود با این وجود الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO)، یکی از الگوریتم‌های با تعداد ارجاع بالا در سال‌های اخیر می‌باشد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، الگوریتم‌های فراکاوشی، تکامل، بهینه‌سازی ازدحام موجودات.

New Metaheuristic Algorithms

Ali Karsaz/ Khorasan Institute of Higher Education/ a.karsaz@khorasan.ac.ir
Mahboobe Ghasemi/ Khorasan Institute of Higher Education/ m.ghasemi@khorasan.ac.ir

Abstract

The complexity of mathematical models, exponential growth of the solution time for many methods, lack of access to gradient information and optimal local convergence are some of the problems that optimal classical algorithms face in solving complex problems. In order to eliminate these drawbacks, metaheuristic algorithms are widely used to solve complex and multivariate problems. Choosing the best and most suitable algorithm is difficult due to their high diversity. In previous studies, some of these methods have been summarized, but due to overpublicize of these methods in recent years, there is no specific article to describe and compare all of these methods. In this paper, the most important metaheuristic optimization

algorithms are introduced from 2012 till now. In separate sections for each algorithm, the history, source of inspiration, objective function and number of its setting parameters are stated. These algorithms are then categorized and compared using several theories. Due to the type of application of each algorithm in engineering problems, it is not possible to introduce a single algorithm as the best methodology, but the Gray Wolf Optimization (GWO) algorithm is one of the algorithms with a high number of citations in recent years.

Keywords: Optimization, Metaheuristic algorithms, Evolution, Particle swarm optimization.

۱- مقدمه

بهینه‌سازی، عمل به‌دست آوردن بهترین نتیجه تحت یک شرایط مشخص است. در مسایل مهندسی با مواردی مانند حداقل کردن هزینه، کوتاه‌ترین طول، بیشترین استقامت، بهترین ساختار و ... برخورد می‌شود که نیاز به مدل‌سازی ریاضی با ساختار یک مساله بهینه‌سازی و حل آن با روش‌های مناسب است. روش‌های بهینه‌سازی متنوعی به‌تناسب نوع مدل‌سازی مساله مانند خطی یا غیرخطی، مقید یا نامقید، پیوسته یا گسسته و ... معرفی‌شده‌اند.

به‌طور کلی، روش‌های موجود برای بهینه‌سازی به دو دسته کلی روش‌های کلاسیک (ریاضی) و الگوریتم‌های فراکاوشی تقسیم می‌شوند:

- به مفاهیم به نسبت ساده تکیه می‌کنند.
- به اطلاعات مشتق تابع هدف نیازی ندارند.
- با عملگرهای خاص خود قادر به فرار از بهینه محلی و کشف بهینه کلی هستند.
- در بیشتر مسایل موجود در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲].

انتخاب الگوریتمی مناسب برای مسایل مختلف دارای اهمیت زیادی می‌باشد و ممکن است محققان برای انتخاب آن، زمان زیادی را صرف نمایند. هدف از این تحقیق جمع‌بندی الگوریتم‌های کاربردی با بیشترین ارجاع در سال‌های اخیر می‌باشد. آقای شریف‌زاده و امجدی در سال ۹۳ تعدادی از این روش‌ها را از سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۲ گردآوری کرده‌اند و این تحقیق به معرفی سایر روش‌ها از سال ۲۰۱۲ به بعد می‌پردازد [۱].

در بخش دوم، حدود ۳۰ الگوریتم بهینه‌سازی فراکاوشی معرفی‌شده است و همچنین سال انتشار، اولین مقاله‌ی بیان‌کننده، تعداد پارامترهای تنظیم، منبع الهام و برتری هرکدام از این روش‌ها نسبت به سایر روش‌ها بررسی‌شده است. در بخش سوم، جمع‌بندی و مقایسه این روش‌ها بیان‌شده است و در آخر به بحث و نتیجه‌گیری درباره‌ی این روش‌ها پرداخته‌شده است.

۲. بررسی الگوریتم‌های فراکاوشی

الگوریتم‌های فراکاوشی یا فراتکاملی یا فرااکتشافی نوعی از الگوریتم‌های تصادفی هستند که برای یافتن پاسخ بهینه به کار می‌روند. رده‌های گوناگونی از این نوع الگوریتم در دهه‌های اخیر توسعه یافته است که همه این‌ها زیرمجموعه الگوریتم فراکاوشی می‌باشند. معیارهای مختلفی می‌تواند برای طبقه‌بندی الگوریتم‌های فراکاوشی استفاده شود:

- الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت (در مقابل الگوریتم‌های مبتنی بر یک جواب): مانند الگوریتم جستجوی جغد و الگوریتم انفجار معدن
- الگوریتم‌های الهام گرفته‌شده از طبیعت: مانند جستجوی کلونی ویروس، الگوریتم بویایی کوسه، بهینه‌سازی نهنگ
- الگوریتم‌های حافظه‌دار (در مقابل الگوریتم‌های بدون حافظه): مانند الگوریتم کلونی امپراتور و جستجوی کلاغ‌ها
- الگوریتم‌های قطعی در مقابل الگوریتم‌های احتمالی
- الگوریتم‌های دارای ساختار همسایگی متغیر در برابر ساختار همسایگی واحد [۳]

در ادامه تعدادی از این الگوریتم‌ها از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۹ معرفی و بررسی‌شده است:

۲-۱- الگوریتم کلونی پنگوئن‌های امپراتور (EPC)

در مرجع [۴] یک الگوریتم جدید فراکاوشی مبتنی بر رفتار پنگوئن‌های امپراتور در مستعمرات خود پیشنهاد شده است. این الگوریتم مبتنی بر ازدحام موجودات و الهام گرفته از طبیعت می‌باشد که توسط تابش گرمای بدن پنگوئن‌ها و حرکت مارپیچی آن‌ها در مستعمره خود کنترل می‌شود. در مقاله [۴] الگوریتم پیشنهادی با هشت الگوریتم شناخته‌شده (GWO و GA، ICA، PSO، ABC، DE، HS، IWO) در ده تابع محک استاندارد مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌های آماری ایمان دیوین پورت و فرایدمن، نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در هشت تابع بهتر از سایر الگوریتم‌های شناخته‌شده است و تنها در دو تابع الگوریتم GWO عملکرد بهتری نسبت به این الگوریتم دارد. الگوریتم EPC یک الگوریتم حافظه‌دار می‌باشد و برای حل مسایل چند متغیره مناسب است.

۲-۲- الگوریتم سنجاقک (DA)

الگوریتم سنجاقک در دسته الگوریتم‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت مبتنی بر ازدحام موجودات قرار می‌گیرد که ایده آن از رفتار سنجاقک‌ها در شکار طعمه الهام گرفته‌شده است و دارای پنج پارامتر کنترلی شامل: انسجام، اتحاد، جداسازی، جذب (افراد نسبت به منابع غذایی) و حواس‌پرتی (دشمنان بیرون) از افراد درون گروه، می‌باشد. در مرجع [۳] علاوه بر الگوریتم DA، الگوریتم سنجاقک باینری و الگوریتم سنجاقک چند هدفه را نیز معرفی کرده است. نتایج نشان داده‌اند که این روش کارایی بیشتری نسبت به الگوریتم‌های GA و PSO دارد.

۲-۳- الگوریتم جستجوی جغد (OSA)

الگوریتم جستجوی جغد یک الگوریتم بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت است که برای حل مشکلات بهینه‌سازی جهانی طراحی‌شده است. OSA یک روش مبتنی بر جمعیت است که بر اساس مکانیزم شکار کردن جغدها در تاریکی مدل‌سازی شده است. در مرجع [۵] نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که OSA نتایج امیدوارکننده‌ای را نسبت به شش الگوریتم بهینه‌سازی فراکاوشی دیگر ارایه می‌دهد.

۲-۴- الگوریتم ریشه رونده (RRA)

یکی از جدیدترین الگوریتم‌های تکاملی که اخیراً معرفی‌شده است الگوریتم فراکاوشی بهینه‌سازی ریشه رونده می‌باشد که از ساقه‌های رونده و ریشه‌های بعضی از گیاهان در طبیعت الهام گرفته‌شده است.

این الگوریتم سرعت همگرایی و دقت بالایی در حل مسایل و دستیابی بـه نقطه بهینه سراسری دارد. در مرجع [۶] پس از مقایسه این روش با چند الگوریتم فراکاوشـی دیگر و دستیابی به نتایج مطلوب، از این الگوریتم برای حل یک مساله مجهول در حوزه کنترل مقاوم استفاده شده است.

۲-۵- الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی اتم (ASO)

الگوریتـم ASO بـا ایجـاد مجموعـه‌ای از راه‌حل‌هـای تصادفـی، بهینه‌سـازی را آغـاز می‌کند. اتم‌ها موقعیـت و سرعت خود را در هر تکرار به روز می‌کنند. شتاب اتم‌ها از دو بخش تشکیل‌شده است. یکی نیروی متقابل ایجادشـده توسط پتانسیل لنارد- جونز است و دیگری نیروی محدود است که تفاوت موقعیت وزن بین هر اتم و بهترین اتم اسـت. الگوریتم تا زمانی که متغیر توقف بـه مقدار نهایی خود برسد به‌روزرسانی می‌گردد. در نهایت، موقعیت و ارزش بهترین اتم به عنوان پاسخ در هر تکرار بازگردانده می‌شـود. الگوریتم ASO تنها دو پارامتر تنظیـم دارد که در بین الگوریتم‌های فراکاوشـی یک مزیت محسوب می‌شـود. الگوریتم پیشنهادی با پنج الگوریتم بهینه‌سازی دیگر (GA ،GSA ،SA ،PSO و WDO) در ۳۷ تابع محک استاندارد و مساله واقعی تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی مقایسه شده است. نتایج آزمون آماری ویلکاکسـون نشان می‌دهند که ایـن الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌ها عملکرد بهتری دارد [۷].

۲-۶- الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ یا وال (WOA)

شکل ۱: روش شکار ویژه نهنگ کوهان‌دار [۸]

ساختار این الگوریتم از شـیوه شکار حباب خالص وال‌ها الهام گرفته است.. نهنگ کوهان‌دار ترجیح می‌دهد تا گروهی از کریل‌ها یا ماهیان کوچـک که نزدیک بـه سطح آب هستند را شـکار کنـد که در آن حباب‌هـای متمایز همراه یک دایره یا مسیـر ۹ وجهی توسط نهنگ ایجادشـده است. (شـکل ۱) مدل ریاضی الگوریتم WOA که مبتنی بـر روش تغذیه حباب خالص است؛ شـامل مراحـل محاصره طعمه، مانور تغذیه حباب خالص به‌صورت مارپیچی و به دام انداختن شـکار می‌باشد [۸].

۲-۷- الگوریتم بهینه‌سازی بویایی کوسه (SSO)

این الگوریتم بر اساس توانایی کوسه، به‌عنوان یک شـکارچی برتر در طبیعت، برای یافتن طعمه طراحی و مدل‌سازی شده است که از حس بویایـی کوسه و حرکـت آن به سمت منبع بو الهـام گرفته است. در مرجع [۹] مدل ریاضی رفتارهای مختلف کوسه برای جستجو طعمه در دریـا بیان‌شـده است. برای نشان دادن کارایـی این روش در حل مسایل مهندسی واقعی، از این روش برای بهینه‌سازی کنترل فرکانس بار در سیستم‌های برق استفاده شـده است. نتایج به‌دست‌آمده اعتبار الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی را تأیید می‌کند [۹].

شکل ۲: نحوه به دام افتادن مورچه‌ها توسط شیر مورچه [۱۰]

۲-۸- الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه (ALO)

این الگوریتم از نحوه‌ی خاص شکار مورچه‌ها توسط شیر مورچه الهام گرفته است. شـیر مورچه تلـه‌ی خود را به‌صورت گـودال مخروطی شـکل می‌سازد و به‌محض اینکه از حضور مورچه در تله آگاه می‌شود؛ دانه‌هـای ماسه را به‌طرف لبـه‌ی گودال پرتاب می‌کنـد و در نهایت مورچه را شکار می‌کند [۱۰].

الگوریتـم ALO به عنوان یک تابع سه متغیره می‌باشـد که به‌صورت معادله ۱ تعریف می‌شـود که در آن A یک تابع است که راه‌حل‌های تصادفی اولیه را تولید می‌کند (معادله ۲)، تابع B دست‌کاری جمعیت اولیه‌ای است (معادله ۳) که توسط تابع A ارایه‌شـده و تابع C زمانی کـه معیـار پایانی راضی کننده اسـت، مقدار درسـت را برمی‌گرداند (معادله۴).

$$(۱)\quad ALO(A,B,C)$$

$$(۲)\quad \phi \xrightarrow{A} \{M_{Ant}, M_{OA}, M_{Antlion}, M_{OAL}\}$$

$$(۳)\quad \{M_{Ant}, M_{Antlion}\} \xrightarrow{B} \{M_{Ant}, M_{Antlion}\}$$

$$(۴)\quad \{M_{Ant}, M_{Antlion}\} \xrightarrow{C} \{true, false\}$$

کـه در آن M_{Ant} ماتریـس موقعیـت مورچه‌ها، $M_{Antlion}$ شـامل موقعیت شیر مورچه‌ها، M_{OA} مورچه‌های شکار شده و M_{OAL} شیر مورچه‌های شـکار کننده می‌باشند. یکی از موارد کاربرد این الگوریتم در انتخـاب حسگر مناسـب بـرای ربات‌های زیرسطحی هوشـمند می‌باشد.

۲-۹- الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO[۳۲])

آقـای میـر جلیلی نویسنـده و مبتکـر الگوریتم بهینه‌سـازی گرگ خاکستری و الگوریتم‌های SCA، MVO، WOA، SSA، RRA و ALO که در این مقاله بیان‌شـده‌اند می‌باشـند. الگوریتم گرگ خاکستری، یک الگوریتم فراکاوشـی الهام گرفته از طبیعـت است که اساس آن بـر پایه‌ی ساختار سلسله مراتبی و رفتـار اجتماعی گرگ‌ها در زمان شکار می‌باشـد. الگوریتم GWO فرایند ساده‌ای را در تنظیمات دارد و به‌راحتی قابلیت تعمیم به مسایل با ابعاد بزرگ را دارا می‌باشـد. در پیاده‌سـازی این پروژه، چهار نـوع از گرگ‌های خاکستری مانند آلفا، بتا، دلتا و امگا برای شـبیه‌سازی سلسله مراتب رهبری استفاده‌شـده است که در آن سه‌گام اصلی از شـکار، جستجو برای طعمه، محاصره طعمه و حمله به طعمه، اجرا می‌شـوند. ایـن الگوریتم تنها دارای دو پارامتر تنظیم می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که الگوریتم گرگ خاکستری عملکرد بهتری در مقایسه با الگوریتم PSO داشـته است [۱۱].

۲-۱۰- الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA[۳۳])

ایـن الگوریتم با الهـام از رفتار اجتماعی ملخ‌ها و نحـوه تأثیرپذیری هـر ملخ از محیـط پیرامونش طراحی‌شـده است. در ایـن الگوریتم

به‌روزرسانی موقعیت هر ملخ به فاصله هر ملخ از تمام جمعیت ملخ‌ها در نسل جاری و موقعیت بهترین ملخ وابسته است. از ویژگی‌های این الگوریتم می‌توان به‌سادگی و دارا بودن فقط یک پارامتر تنظیم، ارجاع کـرد. نتایج حاصل از توابع هدف گوناگـون حاکی از عملکرد مطلوب الگوریتم در مقایسه با الگوریتم‌های مشابه است [۱۲].

۲-۱۱- الگوریتم گرده‌افشانی گل‌ها (FPA[۲۴])

ایـن الگوریتم از نحوه‌ی گرده‌افشانی گل‌هـا الهام گرفته است. برخی گل‌هـا و حشرات با یک مشارکت بسیار حرفه‌ای گرده‌افشانی را انجام می‌دهنـد. به‌عنوان‌مثـال، برخی ازگل‌ها فقـط می‌توانند به یک‌گونه خاص حشرات برای گرده‌افشانی موفق جذب شوند.

در مرجـع [۱۳] مقادیر بهینه‌سازی الگوریتـم FPA، الگوریتم GA و الگوریتم PSO بر روی ده تابع محک استاندارد (روزنبرگ، رستریگ، اکلـی و ...) و یک مساله مهندسی واقعی (طراحی مخازن تحت‌فشار) به‌دست‌آمده است.

۲-۱۲- الگوریتم جستجوی کلاغ‌ها (CSA[۲۵])

کلاغ‌هـا می‌توانند از ابزارهـا استفاده کنند، بـا روش‌های پیچیده‌ای ارتبـاط برقرار کنند و مکان‌های مخفی غذا خود را تا چند ماه بعد به یادآورنـد. آن‌ها مکان‌هایی را که پرندگـان دیگر غذای خود را پنهان می‌کننـد، مشاهـده می‌کننـد و زمانی که صاحـب آن محل را ترک می‌کند، آن‌ها را سرقت می‌کنند [۱۴].

ایـن الگوریتم بر روی چند تابع محک آزمایش‌شـده و سپس بر روی شـش مساله واقعی (طراحی خرپا سه‌پایه، طراحی مخازن تحت‌فشار، طراحـی کشش/ فشرده‌سازی فنر، طراحی پرتو جوشـکاری، طراحی چرخ قطار و طراحی فنر بلویل) پیاده‌سازی شده است. نتایج الگوریتم در هر کدام از این مسایل با تعداد متفاوتی از الگوریتم‌های فراکاوشی دیگر مقایسه شده است.

۲-۱۳- الگوریتم بهینه‌سازی شیر (LOA[۲۶])

در ایـن مقالـه، یک الگوریتـم مبتنی بر جمعیت معرفی‌شـده است. سبـک زندگی خاص شـیرها و ویژگی‌هـای هم کاری آن‌هـا انگیزه اصلـی برای توسعه ایـن الگوریتم بهینه‌سازی بـوده است. در مرجع [۱۵] ایـن الگوریتـم و شـش الگوریتم فراکاوشـی دیگـر (BBO[۲۷]، IWO، GSA، HuS[۲۸]، WWO[۲۹] و BA[۳۰]) بـر روی ۳۰ تابع محک استاندارد اعمال شده است و نتایج حاکی از برتری این روش نسبت به شش روش دیگر می‌باشد. الگوریتم بهینه‌سازی شیر برای بهینه‌سازی مسایلی مانند؛ کنتـرل سیستم‌های قدرت، پخش بار اقتصادی بهینه در سیستم‌هـای قـدرت و بهینه‌سـازی پارامترهـای پرداخت کردن سطوح حاصل از روش رولر برنیشینگ در مقالات استفاده شده است.

۲-۱۴- الگوریتم بهینه‌سازی پروانه (ABO[۳۱])

در مرجع [۱۶]، یـک الگوریتم جدید الهام گرفته از طبیعت با عنوان الگوریتم بهینه‌سازی پروانه ارایه‌شـده است که از رفتار جستجوی غذا و زادوولد پروانه‌ها برای حل مسایل بهینه‌سازی جهانی تقلید می‌کند. ایـن چارچوب عمدتاً بر مبنای استراتژی تغذیـه پروانه‌ها است که از حس بویایی برای تعیین موقعیت شـهد یا زادوولد استفاده می‌کنند. الگوریتم ABO و چهار الگوریتم دیگر بر روی ۲۲ تابع محک استاندارد (تابـع تـوان، تابع مجموع مربعات و ...) اعمال‌شـده است. به منظور بررسـی عملکرد این الگوریتم نسبت بـه سایر الگوریتم‌ها از دو روش تحلیل آماری برای مقایسه نتایج استفاده‌شده است.

۲-۱۵- الگوریتم جستجوی سنجاب (SSA[۳۲])

ایـن الگوریتـم یـک روش الهـام گرفتـه از طبیعـت می‌باشـد که از شـیوه خـاص پـرواز سنجاب‌هـای جنوبـی و روش حرکـت آن‌هـا معـروف بـه گلایدینـگ (بدون نیـرو پـرواز کـردن) تقلید می‌کنـد. ایـن الگوریتم با شـش الگوریتـم دیگـر (BA، GA[۳۳]، FF، PSO، MVO و KH[۳۴]) ازلحـاظ دقت بهینه‌سازی و میزان همگرایی مقایسه شـده اسـت. نتایج نشـان می‌دهد که الگوریتـم جستجوی سنجـاب پاسخ‌هـای دقیق‌تر را با سرعت همگرایـی بالاتر در مقایسه بـا دیگـر الگوریتم‌هـا ارایه می‌دهـد. از ایـن الگوریتـم در طراحی کنترل‌کننـده دو درجه آزادی تناسبی – انتگرال گیر برای کنترل دما HFE استفاده‌شده است [۱۷].

۲-۱۶- الگوریتم بهینه‌سازی کریل (KH)

الگوریتم بهینه‌سازی کریل، یک الگوریتم بهینه‌سازی بیولوژیکی است که از رفتار اجتماعی گروهی کریل‌ها برای حل مسایل بهینه‌سازی سراسری تقلید می‌کند.

حداقـل فاصلـه هر کریل از غـذا و از بالاترین تراکـم دسته کریل‌ها به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. موقعیت وابسته به زمان هر کریل توسط سه عامل اصلی بیان‌شده است:

۱- حرکت ناشی از حضور افراد دیگر. ۲- جستجوی غذا. ۳- انتشار تصادفی.

برای ارزیابی این روش با سایر روش‌ها ده تابع با ابعاد بالا و ده تابع با ابعاد کم از میان توابع محک استاندارد انتخاب‌شـده‌اند از طرفی چهار نـوع مختلف از این الگوریتم با پارامترهای مختلف نیز در این مقایسه قرارگرفته است که کارآمدترین روش در انتها معرفی‌شده است [۱۸].

۲-۱۷- الگوریتم مگس میوه (FFOA[۳۵])

الگوریتـم مگس میوه یک روش مکاشـفه‌ای جدیـد مبتنی بر رفتار غذایابـی مگس میوه است. مگس میـوه نسبت به سایر حشرات دیگر دارای حس بویایی و بینایی قوی‌تری می‌باشـد، به‌طوری‌که می‌تواند بوی انواع میوه‌ها را در هوا تشخیص دهد. این حشره پس از استنشاق بـوی میوه و بعـد از این‌که به موقعیت میوه نزدیک شـد، می‌تواند با استفاده از حس بینایی خود و همکاری با سایرین موقعیت دقیق میوه را بیابد [۱۹].

در مقالات مختلف برای حل مسایل بهینه‌سازی مانند مساله فروشنده دوره‌گرد و پخش بار اقتصادی در شبکه قدرت از این روش استفاده‌شده است.

۲-۱۸- الگوریتم انفجار معدن (MBA[۳۶])

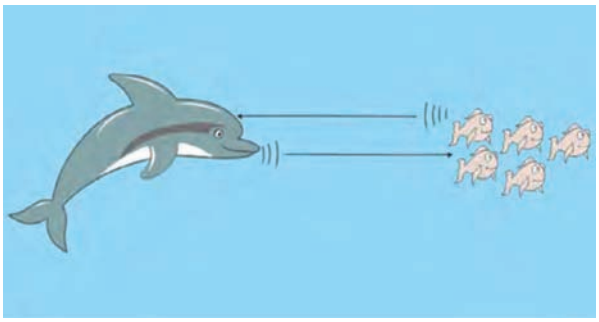
الگوریتـم انفجـار معـدن در سـال ۲۰۱۲، به‌منظور کاهـش تعداد پارامترهـای تابـع هزینه و مقـدار نهایی تابع هـدف، نسبت به سایر الگوریتم‌هـای بهینه‌سـازی طراحی‌شـده اسـت. مفاهیـم اساسی و ایده‌هایـی که ایـن روش را پایه‌گذاری می‌کننـد، از انفجار بمب‌های معدن در دنیای واقعی الهام گرفته‌شـده است. انفجار از مراحل اصلی عملیات معدن کاری بوده و هدف آن خردشـدگی و جابجایی مطلوب توده سنگ می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم انفجار خرج ویژه است و مقدار آن بستگی به عوامل زیادی داشـته که از بین عوامل تأثیرگذار، می‌تـوان به مشخصه‌هـای الگوی حفاری و انفجار اشـاره نمود. نتایج به‌دست‌آمـده نشان داده است که این الگوریتـم نیاز به تعداد پارامتر کمتر و در اغلب موارد نتایج بهتر در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های در نظر گرفته‌شده دارد [۲۰].

ایـن الگوریتم بیشتر برای حل مسایل بهینه‌سازی مقید مانند طراحی سازه‌های خرپا با متغیرهای گسسته، طراحی سیستم‌های توزیع آب، تعیین مقدار و جایابی بهینه خازن‌ها در شـبکه توزیع شـعاعی و... مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۱۹- الگوریتم پژواک صدای دلفین (DE[۳۷])

بررسی‌هـا نشان داده‌اند کـه دلفین‌ها می‌تواننـد در ذهن خود برای صداهای گوناگون، تجسم‌هـای گوناگونی پدیدآورند به‌گونه‌ای که هر

صدا در ذهنشان بیان‌گر و برابر با یک شی باشد. در هنگام بهره‌گیری از پژواک یابی، دلفین‌ها اغلب صدای برگشتی از یک جانور یا اشـیای اطراف را در ذهن خود تحلیل کرده و هر صدای برگشتی را مترادف با یک شی تعریف می‌کنند. این «دیدن از طریق شنیدن» نشان می‌دهد که چگونه دلفین‌های با توانایی دید بسیار پایین می‌توانند در مغز خود جهان را شناسایی کنند.



شکل ۳: نحوه تشخیص طعمه توسط دلفین [۲۱]

در مرجـع [۲۱] الگوریتـم بهینه‌سازی مبتنی بـر مکان‌یابی پژواک صدای دلفین طراحی‌شـده است. با توجه بـه مثال‌های واقعی مانند بهینه‌سـازی وزن سازه‌هـای ۷۲ و ۵۸۲ قطعـه‌ای در خرپاهـا که در این مقاله بیان‌شـده‌اند، نتایج نشـان داده است که الگوریتم DE نرخ همگرایـی بالاتری نسبت بـه سایر الگوریتم‌های فراشـناختی (مانند ACO[۳۸]، GA، BB-BC[۳۹]، PSO، IACO[۴۰]، ICA، HS، HPSACO[۴۱] و CSS[۴۲]) دارد.

۲-۲۰- الگوریتم جستجوی صاعقه (LSA[۴۳])

ایـن الگوریتـم بر اساس پدیـده طبیعی رعدوبـرق و مکانیزم انتشار رعـد پیشگام[۴۴] بـا استفاده از مفهوم ذرات سریع (ذکرشـده به‌عنوان پرتابه) طراحی‌شـده است. سه نوع پرتابـه برای تشکیل گروه رهبری نشان داده‌شده است. به معنای دیگر پرتابه‌ها نشان‌دهنده مقدار اولیه جمعیت هستند.

یـک مطالعـه گسترده بـر روی ۲۳ تابـع محک و مساله فروشـنده دوره‌گرد جهت مقایسه این الگوریتم با پنج روش شناخته‌شـده دیگر (DSA[۴۵]، BSA[۴۶]، FFA[۴۷]، PSO و HSA[۴۸]) انجام‌شـده اسـت. نتیجه نشـان می‌دهد که LSA به‌طورکلـی نتایج بهتـر در مقایسه با سایر روش‌های آزمایش‌شده با نرخ همگرایی بالا ارایه می‌دهد [۲۲].

این روش در مقـالات مختلفی به‌منظور حل مسایلی همچون جایابی منابع تولیـد پراکنده، طراحی توربین بـادی و طراحی کنترل‌کننده فازی مورداستفاده قرار گرفته است.

۲-۲۱- الگوریتم جلبک مصنوعی (AAA[۴۹])

در مرجـع [۲۳] الگوریتـم بهینه‌سـازی جلبـک مصنوعـی، الهـام گرفته‌شـده از رفتارهای زندگی ریز جلبک‌هـا، گونه‌های فتوسنتزی، معرفی می‌شود. این الگوریتم بر اساس فرآیند تکاملی، فرآیند تطبیق و حرکت ریز جلبک‌ها طراحی‌شده است [۲۳].

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم AAA، از ۲۴ تابع محک استاندارد در سه بعـد که مجموعاً ۷۲ آزمایش می‌باشـد، استفاده‌شـده است. نتایج حاصل از بهینه‌سـازی این الگوریتم بر روی ۷۲ آزمایش با پنج الگوریتم شناخته‌شـده دیگر مقایسه شـده است. همچنین، به جهت اعتبـار سنجی بیشتر، AAA بر روی مساله طراحی مخازن تحت‌فشار نیـز اعمـال و با نتایج موجود در تحقیقات قبلی بـا استفاده از آزمون ویلکاکسون مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از اعمال الگوریتم پیشنهـادی بر روی توابع محک و مسایـل مهندسی نیز نشان‌دهنده برتری این الگوریتـم نسبت به سایر مطالعات در این دسته از مسایل است.

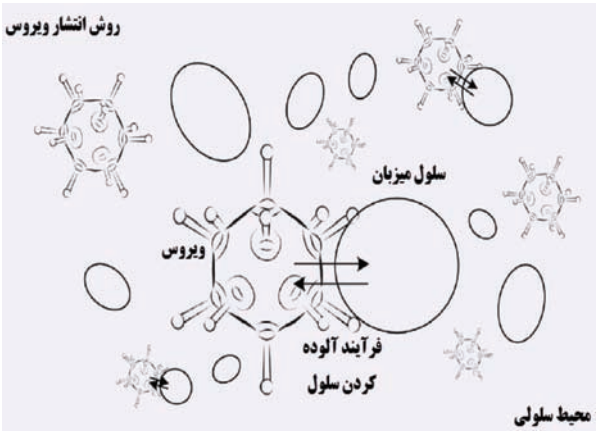
۲-۲۲- الگوریتم جستجوی کلونی ویروس (VCS[۵۰])

الگوریتم جستجوی کلنی ویروس شامل سه مرحله می‌شود:

۱. مرحله گام‌های تصادفی گاوسی برای انتشار ویروس‌ها.

۲. عمل CMA-ES برای آلوده کردن سلول‌های میزبان.

۳. استراتژی تکامل برای پاسخ ایمنی (شکل ۴).



شکل ۴: روش انتشار ویروس در محیط سلولی [۲۴]

به‌طـور خلاصـه، VCS از پنج قانون سـاده برای طراحـی الگوریتم استفاده می‌کند.

۱- دو گـروه مختلف: کلنی ویـروس و کلونی سلول میزبان، در VCS استفاده می‌شود. ۲- هر ویروس در فرایند انتشار یک ویروس تصادفی جدیـد ایجاد می‌کنـد. ۳- هر ویروس یـک سلول میزبـان را آلوده می‌کند. ۴- تولیدمثل هر ویروس بر اساس تخریب سلول میزبان برای به دست آوردن مـواد مغذی است. ۵- با توجه به حفاظت از سیستم ایمنی میزبان، تنها برخی از ویروس‌ها در هر نسل باقی می‌ماند و بقیه ویروس‌ها برای زنده ماندن تکامل‌یافته‌اند [۲۴].

ایـن الگوریتـم بـر روی ۳۰ تابع تسـت بهینه‌سازی مقیـد و نامقید پیاده‌سازی و با نه الگوریتم دیگر مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده برابری یا عملکرد بهتر این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌ها می‌باشد. از طرفـی ایـن الگوریتم بـر روی مسایل مهندسی واقعـی (طراحی مخـازن تحت‌فشار، طراحی کشش/ فشرده‌سـازی فنر و طراحی پرتو جوشکاری) نیز آزمایش‌شده است.

۲-۲۳- بهینه‌ساز Multi-Verse (MVO[۵۲])

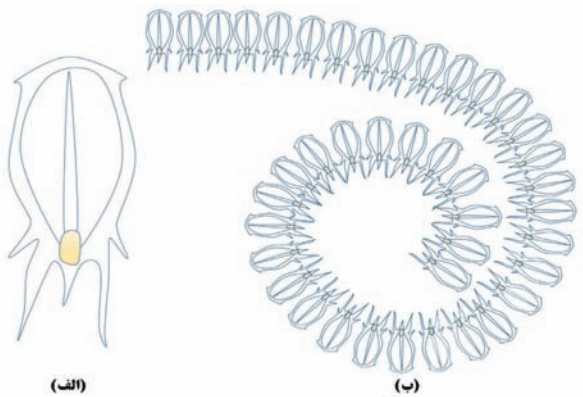
مرجع [۲۵] یک الگوریتم الهام گرفته از طبیعت جدید به نام بهینه‌ساز Multi-Verse (MVO) را پیشنهـاد می‌کند. الهام اصلی این الگوریتم بر اساس سه مفهوم در کیهان‌شـناسی اسـت: سفید چاله، سیاه‌چاله و کرم‌چالـه. مدل‌های ریاضـی این سه مفهوم به ترتیـب برای انجام اکتشاف، بهره‌بـرداری و جستجوی محلی طراحی‌شـده‌اند. الگوریتم MVO بـرای نخستین بـار در ۱۹ مساله چالش‌برانگیز استفاده‌شـده است، سپس بـه پنج مساله مهندسی واقعـی (طراحی خرپا سه‌پایه، طراحی چـرخ قطار، طراحی مخـازن تحت‌فشار، پرتو جوشـکاری و طراحـی سازه کنسولی) برای تأیید عملکرد آن اعمال شـد. الگوریتم MVO با چهار الگوریتم شناخته‌شـده مقایسه شـده است: بهینه‌ساز گرگ خاکستری، بهینه‌ساز ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجـوی گرانشی. نتایج نشان می‌دهد کـه الگوریتم پیشنهادی از الگوریتم‌هـای موجود در آزمایش بهتر اسـت. نتایج مطالعات بر روی مسایـل واقعی نیز نشان‌دهنده کارایی الگوریتم MVO در حل مسایل

با فضاهای جستجو ناشناخته است.

۲-۲۴- الگوریتم ازدحام سالپ (SSA[۵۳])

فرم بدن یک سالپ در شکل(۵) قسمت الف نمایش داده شده است. در عمق اقیانوس سالپ‌ها یک ازدحام به نام زنجیره سالپ تشکیل می‌دهند. (شکل ۵ قسمت ب) علت اصلی تشکیل این زنجیره‌ها برای مسیریابی و یافتن آذوقه می‌باشد. سالپ‌های دنبال کننده به دنبال سردسته می‌باشند و سالپ سردسته به سمت منبع غذایی حرکت می‌کند. اگر منبع غذایی با پاسخ بهینه کلی تعویض شود به‌صورت خودکار زنجیر سالپ‌ها به سمت بهینه کلی حرکت خواهد کرد.

این الگوریتم به تخمین بهینه کلی توسط قراردهی چندین سالپ با موقعیت اتفاقی می‌پردازد، سپس سازگاری هر سالپ محاسبه می‌شود، سالپ با بهترین سازگاری کشف‌شده و موقعیت بهترین سالپ به متغیر F به‌عنوان منبع غذایی اختصاص می‌یابد تا توسط زنجیر سالپ تعقیب شودآن سالپ ،در صورت خروج هر سالپ از فضای جستجو . به مرزهای تعیین‌شده بازگردانده می‌شود. تمام گام‌های بالا به‌غیراز گام جایگذاری اولیه تا زمان ارضای شرایط توقف تکرار می‌شود. در مرجع [۲۶] این روش با چهار روش دیگر (PSO، FPA، HS و GSA) مقایسه شده است و نتایج نشان‌دهنده برتری این روش نسبت به چهار روش دیگر می‌باشد.



شکل ۵: (الف) سالپ، (ب) زنجیره سالپ‌ها [۲۶]

۲-۲۵- الگوریتم بهینه‌سازی جنگل (FOA[۵۴])

الگوریتم بهینه‌سازی جنگل (FOA)، برای مسایل بهینه‌سازی غیرخطی پیوسته پیشنهادشده است. ایده تشکیل این الگوریتم از چند درخت در جنگل الهام گرفته‌شده است که می‌توانند برای چندین دهه زنده بمانند، درحالی‌که درختان دیگر می‌توانند برای یک دوره محدود زندگی کنند. در FOA، فرآیند بذردهی درختان به‌گونه‌ای شبیه‌سازی می‌شود که برخی از دانه‌ها در زیر درختان فرومی‌ریزند، درحالی‌که برخی دیگر در مناطق وسیعی با اعمال طبیعی و حیواناتی که از دانه‌ها یا میوه‌ها تغذیه می‌کنند، توزیع می‌شوند. کاربرد الگوریتم پیشنهادی در برخی از توابع محک، قابلیت خوب خود را در مقایسه با الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) نشان می‌دهد [۲۷].

۲-۲۶- الگوریتم بهینه‌سازی تبادل حرارتی (TEO[۵۵])

در مرجع [۲۸] یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید بر اساس قانون سرمایش نیوتن ارایه می‌دهد. قانون سرمایش نیوتن بیان می‌کند که سرعت تغییر دمای جسم به صورت تقریبی با اختلاف دمای جسم و محیط اطرافش متناسب است. در اینجا، هر عامل به‌عنوان یک شیء خنک‌کننده در نظر گرفته می‌شود و بااتصال عامل دیگر به محیط، انتقال گرما و تبادل حرارت بین آن‌ها اتفاق می‌افتد. دمای جدید جسم به‌عنوان موقعیت بعدی در فضای جستجو محسوب می‌شود. عملکرد این الگوریتم، همراه با چهار الگوریتم دیگر (DE،GWO PSO و GSA) در ۱۳ تابع محک استاندارد و چهار مساله مکانیکی (طراحی پرتو جوشکاری، طراحی کشش/ فشرده‌سازی فنر، طراحی سازه کنسولی و طراحی مخازن تحت‌فشار) موردبررسی قرار می‌گیرد [۲۸]. نتایج نشان می‌دهند که این الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها در دستیابی به جستجوی سراسری و همگرایی سریع برتری دارد.

۲-۲۷- بهینه‌ساز کفتار خالدار (SHO[۵۶])

ایده اصلی این الگوریتم از رفتار اجتماعی کفتار خالدار و رابطه‌ی بین آن‌ها گرفته‌شده است. سه مرحله اساسی SHO شامل: جستجوی شکار، احاطه کردن طعمه و حمله به طعمه می‌باشد و برای هر سه مرحله، مدل ریاضی تعریف‌شده است. الگوریتم پیشنهادی و هشت الگوریتم فراکاوشی (GA، GSA، SCA، MVO، MFO، PSO، GWO و HS) بر روی ۲۹ تابع تست استاندارد، پنج مساله واقعی و یک مساله مهندسی اعمال‌شده است. از روش آنالیز واریانس‌ها برای مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده از این توابع استفاده‌شده است که نتیجه نشان‌دهنده ۹۵ درصد کارایی بهتر الگوریتم SHO نسبت به سایر الگوریتم‌ها می‌باشد. با وجود اینکه الگوریتم SHO دارای ۵ پارامتر تنظیم می‌باشد و سایر الگوریتم‌ها دارای ۳ یا ۴ پارامتر تنظیم می‌باشند، ولی نتایج کلی نشان می‌دهد که عملکرد الگوریتم پیشنهادی بر روی مسایل بهتر از سایر الگوریتم‌های یادشده می‌باشد [۲۹].

۲-۲۸- الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس (HHO[۵۷])

الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس با الهام از شیوه‌های متفاوت حمله شاهین هریس (جستجوی طعمه، غافلگیری طعمه با حمله ناگهانی) طراحی‌شده است.

این الگوریتم با الگوریتم‌های MBA، SSA، GOA، MVO، DEDS[۵۸] MFO[۵۹]، PSO-DE، Ray and Sain، Tsa و CS[۶۰] در ۲۹ تابع معیار ریاضی و همچنین شش مساله مهندسی شناخته‌شده (طراحی خرپا سه‌پایه، کشش و فشرده‌سازی فنر، مخازن تحت‌فشار، پرتو جوشکاری، دیسک و صفحه چندلایه ترمز و کلاچ و ...) مقایسه شده است و نتایج نشان داده‌اند که این الگوریتم کارایی بالایی در مقایسه با آن‌ها دارد [۳۰].

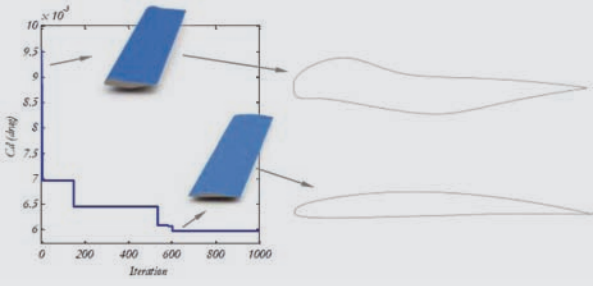
۲-۲۹- الگوریتم لیگ برتر والیبال (VPL[۶۱])

این الگوریتم از رقابت و تعامل تیم‌های والیبال در طول فصل و همچنین نحوه مربیگری در روند یک مسابقه والیبال الهام گرفته است. برای حل مشکلات بهینه‌سازی سراسری از این الگوریتم و شرایطی مانند جایگزینی، مربیگری و یادگیری استفاده‌شده است. الگوریتم پیشنهادی در ۲۳ تابع محک استاندارد و سه مساله طراحی مهندسی (طراحی مخازن تحت‌فشار، کشش و فشرده‌سازی فنر و پرتو جوشکاری) با سایر الگوریتم‌های فراشناختی، DE، GA، PSO، SCA، LCA[۶۲] و HS، FA، ABC و SLC[۶۳] با استفاده از آزمون ویلکاکسون مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم VPL از سایر الگوریتم‌ها قوی‌تر می‌باشد و برای حل مسایل با فضای جستجوی پیچیده بسیار مناسب می‌باشد [۳۱].

۲-۳۰- الگوریتم سینوس کسینوس (SCA[۶۴])

با توجه به استفاده از معادلات سینوس و کسینوس در روند بهینه‌سازی، این الگوریتم به نام الگوریتم سینوس کسینوس (SCA) نامیده شده است.

چهار پارامتر اصلی در این الگوریتم r_1، r_2، r_3 و r_4 هستند. پارامتر r_1 موقعیت مناطق بعدی (جهت حرکت) را تعیین می‌کند. پارامتر



شکل ۶: نمونه اولیه و نمونه نهایی طراحی ایرفویل توسط SCA

شکل ۷: دسته‌بندی الگوریتم‌های فراکاوشی با توجه به منبع الهام از سال ۲۰۱۲ به بعد

r_2 تعیین می‌کند که چقدر حرکت باید به سمت مقصد یا به سمت خارج باشد. پارامتر r_3 وزن‌های تصادفی برای مقصد را به طور تصادفی مشخص می‌کند و در نهایت، پارامتر r_4 به طور مساوی بین پارامترهای معادلات سینوس و کسینوس جابجا می‌شود. بال هواپیما و یا پره توربین‌های باد، ممکن است سطح مقطع‌های متفاوتی در طول خود داشته باشند. این سطح مقطع‌ها، ایرفویل نامیده می‌شوند. در مرجع [۳۲] از این الگوریتم در طراحی مساله مهندسی ایرفویل استفاده‌شده است. شکل (۶) نمونه اولیه و نهایی ایرفویل را پس از استفاده از این الگوریتم نشان می‌دهد.

۳- جمع‌بندی و مقایسه

مسایل بهینه‌سازی زیادی وجود دارد که محققان برای یافتن پاسخ مناسب برای آن‌ها، الگوریتم‌های جدیدی طرح کردند یا الگوریتم‌های گذشته را بهبود بخشیده‌اند. درصورتی‌که مساله دارای فضای جستجوی ناشناخته باشد پاسخ مساله بستگی به انتخاب نقطه اولیه مناسب دارد. در این نوع مسایل فضای جستجو با توجه به افزایش تعداد بُعدهای مساله به‌سرعت افزایش می‌یابد و روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک قادر به حل آن‌ها نمی‌باشد و لذا الگوریتم‌های فراکاوشی برای حل این‌گونه مسایل مناسب می‌باشد. طیف گسترده‌ای از مسایل بهینه‌سازی مانند برنامه‌ریزی، دسته‌بندی داده، پردازش تصویر و ویدئو، تنظیم شبکه‌های عصبی، تشخیص الگو و ... با استفاده از این روش‌ها حل‌شده‌اند.

الگوریتم‌های فراکاوشی با توجه به دیدگاه‌های مختلف افراد از نحوه الهام الگوریتم‌ها بسیار متفاوت است. در جدول (۱) هر الگوریتم به همراه نام فارسی و لاتین، سال انتشار، تعداد ارجاع هر روش در مقالات و منبع الهام آن آورده شده است.

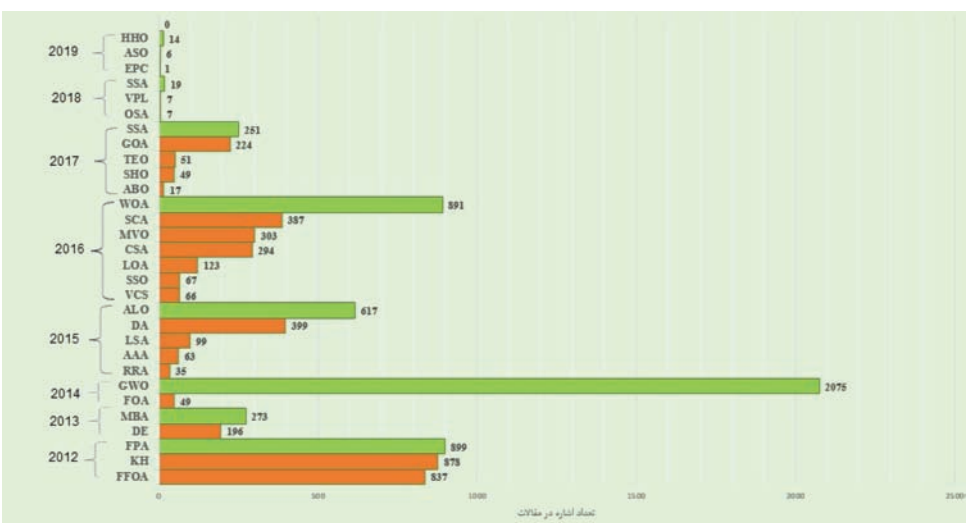
سه دسته‌کلی می‌توان برای این الگوریتم‌ها در نظر گرفت:

- روش‌های مبتنی بر تکامل: این روش از قانون تکامل الهام گرفته است. فرایند جستجو با یک جمعیتی که به‌صورت تصادفی تولیدشده است شروع می‌شود که در نسل‌های بعدی این جمعیت تکامل می‌یابد. (مانند الگوریتم GA)
- روش‌های مبتنی بر فیزیک: این روش از قوانین فیزیکی موجود پیروی می‌کند. (مانند SA)
- روش‌های مبتنی بر ازدحام موجودات: مانند الگوریتم PSO

در مرجع [۲۹] پنج منبع الهام برای این الگوریتم‌ها بیان کرده است که در شکل ۷ این دسته‌بندی نمایش داده‌شده است.

یکی دیگر از این دسته‌بندی‌ها که در مرجع [۳۱] ذکرشده است؛ شامل چهار دسته می‌باشد؛

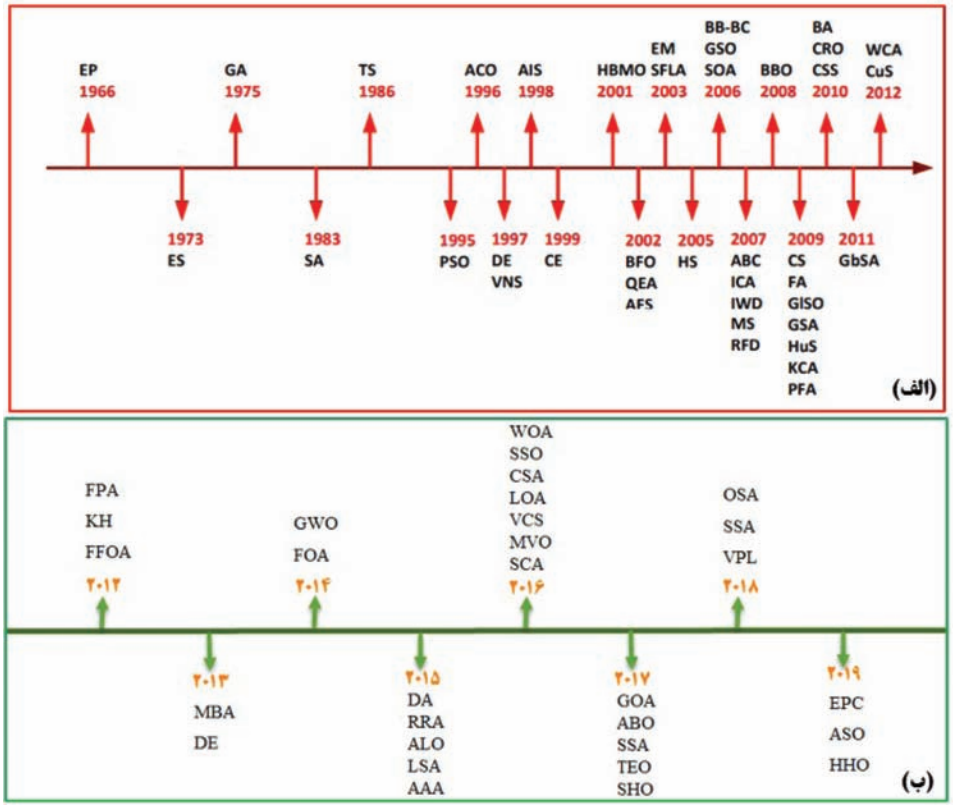
- الگوریتم‌های تصادفی: از یک پارامتر تصادفی برای رفتارهای غیرقابل‌پیش‌بینی استفاده می‌کند. مانند الگوریتم‌های LS[۶۵]، ARS[۶۶]، SHC[۶۷].
- الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم‌های EP[۶۸]، DE[۶۹]، FEP[۶۹].
- الگوریتم‌های فیزیکی: محدوده‌ی فرایندهای فیزیکی بسیار وسیع است که می‌تواند مربوط به سیستم‌های دینامیکی پیچیده،



شکل ۸: مقایسه الگوریتم‌ها با توجه به زمان و تعداد ارجاع

جدول ۱: اطلاعات الگوریتم‌های فراکاوشی از سال ۲۰۱۲

ردیف	نام فارسی الگوریتم	نام لاتین الگوریتم	سال انتشار	حرف اختصار	منبع الهام	تعداد ارجاع منبع
1	کلونی پنگوئن‌های امپراتور	Emperor Penguins Colony	2019	EPC	رفتار پنگوئن امپراتور	1
2	سنجاقک	Dragonfly algorithm	2015	DA	رفتارهای استاتیک و دینامیک ازدحام سنجاقک‌ها	399
3	جستجوی جغد	Owl Search Algorithm	2018	OSA	نحوه شکار جغدها در تاریکی	7
4	ریشه رونده	Runner Root Algorithm	2015	RRA	ساقه‌های رونده و ریشه‌های بعضی از گیاهان در طبیعت	35
5	بهینه‌سازی جستجوی اتم	Atom Search Optimization algorithm	2019	ASO	قانون دینامیک مولکولی	6
6	بهینه‌سازی نهنگ یا وال	Whale optimization algorithm	2016	WOA	رفتار اجتماعی نهنگ کوهان‌دار	891
7	بهینه‌سازی بویایی کوسه	Shark smell optimization	2016	SSO	حس بویایی کوسه برای تشخیص طعمه	67
8	بهینه‌سازی شیر مورچه	Ant lion optimizer	2015	ALO	مکانیزم شکار شیر مورچه‌ها	617
9	بهینه‌سازی گرگ خاکستری	Grey Wolf Optimizer	2014	GWO	ساختار سلسله‌مراتبی و رفتار اجتماعی گرگ‌ها در زمان شکار	2075
10	بهینه‌سازی ملخ	Grasshopper optimization algorithm	2017	GOA	رفتار گروهی دسته ملخ‌ها	224
11	گرده‌افشانی گل‌ها	Flower pollination algorithm	2012	FPA	نحوه‌ی گرده‌افشانی گل‌ها	899
12	جستجوی کلاغ‌ها	Crow search algorithm	2016	CSA	رفتار هوشمندانه‌ی کلاغ‌ها در پنهان کردن غذا	294
13	بهینه‌سازی شیر	Lion Optimization Algorithm	2016	LOA	سبک زندگی خاص شیرها و ویژگی‌های هم کاری آن‌ها	123
14	بهینه‌سازی پروانه	Butterfly-inspired algorithm	2017	ABO	رفتار جستجوی غذا و زادوولد پروانه‌ها	17
15	جستجوی سنجاب	Squirrel search algorithm	2018	SSA	شیوه خاص پرواز سنجاب‌های جنوبی و روش حرکت آن‌ها معروف به گلایدینگ	19
16	بهینه‌سازی کریل	Krill herd	2012	KH	رفتار اجتماعی گروهی کریل‌ها	878
17	مگس میوه	Fruit fly optimization algorithm	2012	FFOA	رفتار غذایابی مگس میوه	837
18	انفجار معدن	Mine blast algorithm	2013	MBA	انفجار بمب‌های معدن	273
19	پژواک صدای دلفین	Dolphin echolocation	2013	DE	مکان‌یابی پژواک صدای دلفین	196
20	جستجوی صاعقه	Lightning search algorithm	2015	LSA	پدیده طبیعی رعدوبرق	99
21	جلبک مصنوعی	Artificial algae algorithm	2015	AAA	رفتارهای زندگی ریز جلبک‌ها	63
22	جستجوی کلونی ویروس	Virus colony search	2016	VCS	روش انتشار و آلوده کردن ویروس‌ها	66
23	بهینه‌ساز Multi-Verse	Multi-verse optimizer	2016	MVO	سه مفهوم در کیهان‌شناسی	303
24	ازدحام سالپ	Salp swarm algorithm	2017	SSA	رفتار زنجیره‌ای و خاص سالپ‌ها برای غذایابی در اقیانوس	251
25	بهینه‌سازی جنگل	Forest Optimization Algorithm	2014	FOA	چند درخت در جنگل که می‌توانند برای چندین دهه زنده بمانند	49
26	بهینه‌سازی تبادل حرارتی	Thermal exchange optimization	2017	TEO	قانون خنک‌کننده نیوتن	51
27	بهینه‌ساز کفتار خالدار	Spotted hyena optimizer	2017	SHO	رفتار اجتماعی کفتار خالدار و رابطه‌ی بین آن‌ها	49
28	بهینه‌سازی شاهین هریس	Harris hawks optimization	2019	HHO	شیوه‌های متفاوت حمله شاهین هریس	14
29	لیگ برتر والیبال	Volleyball Premier League	2018	VPL	رقابت و تعامل تیم‌های والیبال در طول فصل	7
30	سینوس کسینوس	Sine Cosine Algorithm	2016	SCA	معادلات سینوس و کسینوس	387



شکل ۹: (الف) الگوریتم‌های فراکاوشی تا سال ۲۰۱۲ [۱] (ب) الگوریتم‌های فراکاوشی از سال ۲۰۱۲ تا سال ۲۰۱۹

متالـوژی، تعامـل بین فرهنـگ و تکامل، علوم مختلف (شـیمی، فیزیک، ریاضیات) و یا حتی موسیقی باشد. الگوریتم‌های این دسته که در این مقاله اشاره‌شده است، شامل الگوریتم‌های FPA، RRA، FOA، LSA، MBA می‌باشد.

- الگوریتم‌هـای مبتنی بر ازدحام موجودات کـه از ازدحام حیوانات، گله‌هـا، جفت‌ها یا هر نوع گروهی دیگر از حیوانات تقلید می‌کنند. الگوریتم‌های بررسی‌شـده در این مقاله که در این دسته‌بندی قرار دارند شامل: GWO، DE، KH، DA، FA، LOA، VCS می‌شود.

همان‌طور که گفته شـد نمی‌توان یـک روش را بهترین روش در حل مسایل پیچیده مهندسی دانست. به‌طور مثال در الگوریتم‌های مبتنی بـر جمعیت یـا الگوریتم‌های تکاملی که با یک سـری جمعیت اولیه تصادفی بهینه‌سازی را آغاز می‌کنند انتخاب پارامترهای شـروع بسیار دشـوار است و بـرای هر مسالـه درصورتی‌که ایـن پارامترها درست انتخاب شود آن روش برای بهینه‌سازی مناسب خواهد بود در غیر این صورت یا با مشکل گیرکردن در بهینه محلی مواجه می‌شـود یا زمان رسیدن به جواب بهینه افزایش می‌یابد.

شـکل (۸) الگوریتم‌های مختلف را با توجه به تعداد ارجاع هرکدام از مقالات و زمان انتشار آن‌ها به تفکیک سال نام برده است. دراین بین الگوریتم گرده‌افشانی گل در سـال ۲۰۱۲، الگوریتم انفجار معدن در سال ۲۰۱۳، الگوریتم گرگ خاکستری در سال ۲۰۱۴، الگوریتم شیر مورچه در سال ۲۰۱۵، الگوریتم نهنگ یا وال درسال ۲۰۱۶، الگوریتم ازدحـام سالپ در سـال ۲۰۱۷، الگوریتم لیگ برتـر والیبال در سال ۲۰۱۸ و الگوریتـم قوش هریس در سال ۲۰۱۹ بیشترین تعداد ارجاع در مقالات را طبق اطلاعات گوگل اسکولار دارا بوده‌اند.

برای بررسی روش‌های قبل از سال ۲۰۱۲، مرجع [۱] ۴۰ الگوریتم پرکاربرد را معرفی و مقایسه کرده است (شکل ۹ قسمت الف). سایر روش‌ها از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۹ نیز در این مقاله به‌صورت کامل بیان‌شده‌اند و در شکل (۹) قسمت ب به‌صورت کلی نام‌برده شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در ایـن مقالـه تعـدادی از پرکاربردترین الگوریتم‌هـای بهینه‌سازی فراکاوشـی از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۹ معرفی گردید. شرح عملکرد کلی، پارامترهای اصلی، کاربرد در مسایل واقعی و منبع الهام هرکدام از این روش‌ها به اختصار بیان شـده است. تمامی این روش‌ها الگوریتم‌های مبتنـی بر جمعیت بوده‌انـد و از طریق تولید یـک جمعیت تصادفی و تکامـل آن برای بهینه‌سـازی استفاده کرده‌انـد. در این میان تنها دو الگوریتـم کلونی پنگوئـن امپراتور و الگوریتـم جستجوی کلاغ‌ها جـزو الگوریتم‌های حافظه‌دار بودند و سایـر الگوریتم‌ها بدون حافظه می‌باشـند. در هر سـال تعداد مقالات با بیشترین ارجاع آورده شـده اسـت یکـی از پرکاربردترین الگوریتم‌هـا با بیشتریـن ارجاع که در سـال ۲۰۱۴ توسط آقای میرجلیلی طرح‌شـده است، الگوریتم گرگ خاکسـتری با تعداد ارجاع ۲۰۷۵ مرتبه می‌باشـد. از طرفی نمی‌توان الگوریتم واحدی را به‌عنوان الگوریتم برتر معرفی نمود زیرا ویژگی‌های هر الگوریتم با دیگری متفاوت می‌باشد و هرکدام برای دسته‌ی خاصی از مسایل مناسب هستند.

۵- مراجع

[۱] ح. شریف زاده و ن. امجدی، «مروری بر انواع الگوریتم‌های فراکاوشی در بهینه‌سازی»، ۱۳۹۳.

[2] A. A. Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja and H. Chen, “Harris hawks optimization: Algorithm and applications,” Future Generation Computer Systems, vol. 97, pp. 849-872, 2019.

[3] S. Mirjalili, “Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems,” Neural Computing and Applica-

applications," Advances in Eng Software, 2017.
[30] A. A. Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja and H. Chen, "Harris hawks optimization: Algorithm and applications," in Future Generation Computer Systems, 2019.
[31] R. Moghdani and K. Salimifard, "Volleyball Premier League Algorithm," Applied Soft Computing, vol. 64, pp. 161-185, 2018.
[32] S. Mirjalili, "A Sine Cosine Algorithm for Solving Optimization Problems," Knowledge-Based Systems, 2015.

۶- اختصارات

[1] Emperor Penguins Colony
[2] Genetic Algorithm
[3] Imperialist Competitive Algorithm
[4] Particles Swarm Optimization
[5] Artificial Bee Colony
[6] Differential Evolution
[7] Harmony Search
[8] Invasive Weed Optimization
[9] Grey Wolf Optimizer
[10] Dragonfly Algorithm
[11] BDA
[12] MODA
[13] Owl Search Algorithm
[14] Runner Root Algorithm
[15] Atom Search Optimization algorithm
[16] Simulated Annealing
[17] Gravitational Search Algorithm
[18] Wind Driven Optimization
[19] Whale Optimization Algorithm
[20] Shark Smell Optimization
[21] Ant Lion Optimizer
[22] Grey Wolf Optimizer
[23]Grasshopper Optimization Algorithm
[24] Flower Pollination Algorithm
[25] Crow Search Algorithm
[26] Lion Optimization Algorithm
[27] Biogeography-Based Optimization
[28] Hunting Search
[29] Water Wave Optimization
[30] Bat Algorithm
[31] Butterfly Optimization Algorithm
[32] Squirrel Search Algorithm
[33] Firefly algorithm
[34] Krill herd
[35] Fruit fly optimization algorithm
[36] Mine blast algorithm
[37] Dolphin echolocation
[38] Ant colony optimization
[39] Big Bang–Big Crunch
[40] An improved ant colony optimization
[41] Hybrid algorithm of harmony search, particle swarm and ant colony
[42] ChargedSystem Search
[43] Lightning Search Algorithm
[44] Leader
[45] Differential search algorithm
[46] Backtracking search algorithm
[47] Firefly algorithm
[48] The Harmony Search algorithm
[49] Artificial Algae Algorithm
[50] Virus Colony Search
[51] Gaussian walks method
[52] Multi-Verse Optimizer
[53] Salp Swarm Algorithm
[54] Forest Optimization Algorithm
[55] Thermal exchange optimization
[56] Spotted hyena optimizer
[57] Harris hawks optimization
[58] Differential evolution with dynamic stochastic selection optimization
[59] Moth-flame optimization algorithm
[60] Cuckoo search algorithm
[61] Volleyball Premier League
[62] League Championship Algorithm
[63] Soccer League Competition
[64] Sine Cosine Algorithm
[65] Local Search
[66] Adaptive Random Search
[67] Stochastic Hill Climbing
[68] Evolutionary Programming
[69] Differential Evolution
[70] Fast Evolutionary Programming

❊❊❊

tions, vol. 27, pp. 1053-1073, 2016.
[4] S. Harifi, M. Khalilian, S. Ebrahimnejad and J. Mohammadzadeh, "Emperor Penguins Colony: a New Metaheuristic Algorithm for Optimization," Evolutionary Intelligence, 2019.
[5] J. Mohita, M. Shubhamb and A. Rani, "Owl search algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm for global optimization," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 34, pp. 1573-1582, 2018.
[6] F. Merrikh Bayat, "The runner-root algorithm: a metaheuristic for solving unimodal and multimodal optimization problems inspired by runners and roots of plants in nature," Appl. Soft Comput, 2015.
[7] W. Zhao, L. Wang and Z. Zhang, "A novel atom search optimization for dispersion coefficient estimation in groundwater," Future Generation Computer Systems, 2019.
[8] S. Mirjalili and A. Lewis, "The Whale Optimization Algorithm," Advances in Eng Soft, vol. 95, 2016.
[9] O. Abedinia, A. Ghasemi and N. Amjady, "A new metaheuristic algorithm based on shark smell optimization", Complexity, 2016.
[10] S. Mirjalili, "The Ant Lion Optimizer," Advances in Engineering Software, vol. 83, pp. 80-98, 2015.
[11] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili and A. Lewis, "Grey Wolf Optimizer," Advances in Eng Software, 2014.
[12] S. Saremi, S. Mirjalili and A. Lewis, "Grasshopper Optimisation Algorithm: Theory and application," Advances in Engineering Software, 2017.
[13] X.-S. Yang, "Flower Pollination Algorithm for Global Optimization," in International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation, 2012.
[14] A. Askarzadeh, ""A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm"," Computers & Structures, 2016.
[15] M. Yazdani and F. Jolai, "Lion Optimization Algorithm (LOA): A nature-inspired metaheuristic algorithm,"Journal of Computational Design and Engineering, 2016.
[16] X. Qi, Y. Zhu and H. Zhang, "A new meta-heuristic butterfly-inspired algorithm," Journal of Computational Science, vol. 23, pp. 226-239, 2017.
[17] M. Jain, V. Singh and A. Rani, "A novel nature-inspired algorithm for optimization: Squirrel search algorithm," Swarm and Evolutionary Computation BASE DATA, 2018.
[18] A. H. Gandomi and A. H. Alavi, "Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm," Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2012.
[19] W.-T. Pan, "A new Fruit Fly Optimization Algorithm: Taking the financial distress model as an example," Knowledge-Based Systems, 2012.
[20] A. Sadollah, A. Bahreininejad, H. Eskandar and M. Hamdi, "Mine blast algorithm: A new population based algorithm for solving constrained," Applied Soft Computing, 2013.
[21] A. Kaveh and N. Farhoudi, "A new optimization method: Dolphin echolocation," Advances in Eng Software, 2013.
[22] H. Shareef, A. A. Ibrahim and A. H. Mutlag, "Lightning search algorithm," Applied Soft Computing, 2015.
[23] S. A. Uymaz, G. Tezel and E. Yel, "Artificial algae algorithm (AAA) for nonlinear global optimization," Applied Soft Computing, 2015.
[24] M. D. Li, H. Zhao, X. W. Weng and T. Han, "A novel nature-inspired algorithm for optimization: Virus colony search," Advances in Eng Software, 2016.
[25] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili and A. Hatamlou, "Multi-Verse Optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization," Neural Computing and Applications, 2016.
[26] S. Mirjalili, A. H. Gandomi, S. Z. Mirjalili, S. Saremi, H. Faris and S. M. Mirjalili, "Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems," Advances in Eng Software, 2017.
[27] M. Ghaemi and M.-R. Feizi-Derakhshib, "Forest Optimization Algorithm," Expert Systems with Applications, 2014.
[28] A. Kaveh and A. Dadras, "A novel meta-heuristic optimization algorithm: Thermal exchange", Advances in Eng Software, 2017.
[29] G. Dhiman and V. Kumar, "Spotted hyena optimizer: A novel bio-inspired based metaheuristic technique for engineering