دوفصلنامه محاسبات و سامانه‌های توزیع شده
سال هفتم، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۴، صفحه ۳۲ تا ۳۹، سال ۱۴۰۳

بهینه‌سازی به شیوه گربه‌های شنی: الگوریتم جستجوی کارآمد و مدیریت ازدحام

محمدزید زند[۱]، نسرین آقایی میبدی[۲]
[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی سلطانی دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد
[۲] گروه کامپیوتر، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران

چکیده

الگوریتم‌های فراابتکاری، روش‌های بهینه‌سازی الهام‌گرفته از رفتارها و فرآیندهای طبیعی هستند که با بهره‌گیری از تعامل جمعیتی و مفاهیم الهام گرفته طبیعت، مسائل بسیار پیچیده بهینه‌سازی را حل می‌کنند. در این مطالعه، الگوریتمی فراابتکاری به نام بهینه‌سازی ازدحام گربه‌های شنی معرفی شده است که رفتار گربه‌های شنی را برای تداوم زندگی و حفظ بقا به عنوان منبع الهام خود قرار می‌دهد. این گربه‌ها توانایی منحصر به فرد و شگفت‌انگیزی در تشخیص فرکانس‌های پایین‌تر از ۲ کیلوهرتز و حفاری خاک برای شکار طعمه دارند. همچنین این گربه ها توانایی بالایی در موقعیت یابی، حرکت سریع و پنهان کردن خود از دید شکار دارند. الگوریتم پیشنهادی با الهام گرفتن از این ویژگی ها، شامل دو فاز اصلی جستجو و حمله است که به‌صورت متعادل مراحل اکتشاف و بهره‌برداری را مدیریت می‌کند. این رویکرد با کاهش تعداد پارامترها و عملیات ها، عملکرد بهینه‌ای در حل مسائل مختلف ازدحامی ارائه می‌دهد و راه‌حل‌هایی مفید و کارآمد برای مسائل پیچیده بهینه‌سازی فراهم می‌کند.

کلمات کلیدی:

الگوریتم های فراابتکاری، بهینه سازی ازدحام گربه شنی، هوش گروهی، بهینه سازی محلی، بهینه سازی جهانی

تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲۳
تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵
ایمیل نویسنده مسئول:
Aghaee.meybodi@maybodiau.ac.ir

۱ - مقدمه

در زندگی واقعی، بهینه سازی علاوه بر به حداکثر رساندن راندمان و کیفیت، به معنای به حداقل رساندن زمان و هزینه است. در واقع بسیاری از مشکلاتی که باید بهینه شوند، پیچیده و سخت هستند. الگوریتم های ابتکاری و فرا ابتکاری دو روش برای حل مسائل بهینه سازی هستند. الگوریتم های ابتکاری، الگوریتم های اکتشافی وابسته به مسئله هستند، در حالی که الگوریتم های فراابتکاری به مسئله وابسته نیستند.

مسائل زمان چند جمله ای مثالی برجسته از این نوع مسائل غیر قطعی هستند. مشکلات مسائل چند جمله ای را می توان با روش های دقیق و تقریبی حل کرد. روش های دقیق، راه حل بهینه را با پیچیدگی زمانی نمایی و هزینه بالا تضمین می کنند. هر دو اکتشافی و الگوریتم‌های فراابتکاری خانواده الگوریتم‌های تقریبی هستند که یافتن راه‌حل بهینه را تضمین نمی‌کنند، اما راه حل به دست آمده ممکن است به حل بهینه نزدیکتر باشد. بنابراین، گروه دوم به طور کلی ترجیح داده می شود. از سوی دیگر، با توجه به اینکه روش های اکتشافی مشکلاتی مانند تله های محلی دارند، رویکرد فراابتکاری می تولند عملی و راه حل مفید برای بسیاری از مشکلات مسائل چند جمله ای باشد و به طور کلی در یافتن راه حل های بهینه برای این نوع از مشکلات در زمان اجرای واقعی آنها به خوبی عمل کند. روش‌های فراابتکاری در دام‌های محلی نمی‌افتند، علاوه بر این، آنها انعطاف پذیرتر هستند و سعی می کنند بهترین راه حل ها در مناطق جستجوی جهانی با هزینه های کمتر و زمان کوتاه تر با اجرای ساده را بیابند. به طور خاص، عملکرد الگوریتم های فراابتکاری می توانند در حل مسائل پیچیده مفید باشند. به این ترتیب، تقاضای قابل توجهی برای توسعه الگوریتم های فراابتکاری جدید که می توانند در موارد مختلف مورد استفاده قرار گیرند وجود دارد[۱].

در سال های اخیر الگوریتم های بهینه سازی فرا ابتکاری در بسیاری از زمینه های علمی محبوب شدند. به طور کلی، الگوریتم های فراابتکاری از بیولوژیک پدیده های فیزیکی و تلاش برای یافتن راه حل بهینه در یک زمان معقول الهام گرفته شده اند.

۲ – مرور ادبیات

دراین قسمت، اصول کلی الگوریتم‌های بهینه‌سازی و دسته‌بندی‌های آن‌ها (مانند الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت و تک‌نقطه‌ای) مورد بحث قرار می‌گیرد. الگوریتم‌های فراابتکاری به عنوان روش‌هایی برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده، از دهه هفتاد میلادی به بعد توسعه یافته‌اند. این الگوریتم‌ها به دنبال ارائه راه‌حل‌های نزدیک به بهینه در زمان معقول هستند و به دلیل

توانایی‌شان در مقابله با مسائل چند جمله ای، محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند. یکی از اولین الگوریتم‌های فراابتکاری، الگوریتم جستجوی محلی بود که در دهه هفتاد میلادی معرفی شد. در سال‌های بعد، الگوریتم‌های دیگری نظیر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید توسعه یافتند که هر کدام رویکردهای خاص خود را برای جستجو در فضای حل دارند. با پیشرفت تکنولوژی و نیاز به حل مسائل پیچیده‌تر، این الگوریتم‌ها به طور مداوم بهبود و گسترش یافته‌اند [۱].

الگوریتم‌های فراابتکاری به طور کلی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت و الگوریتم‌های مبتنی بر تک‌نقطه[۲]. زیرمجموعه‌های این دسته‌ها شامل الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم های جستجوی محلی و الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید می‌شوند[۲].

الگوریتم‌های تک‌نقطه‌ای، دسته‌ای از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری هستند که در هر لحظه تنها یک راه‌حل را جستجو و به‌روزرسانی می‌کنند. این الگوریتم‌ها معمولاً از یک مکانیزم جستجوی محلی برای بهبود تدریجی راه‌حل استفاده می‌کنند و برخلاف روش‌های مبتنی بر جمعیت، تنوع جستجو را از طریق تغییرات کوچک در یک راه‌حل منفرد حفظ می‌کنند. نمونه‌هایی از این الگوریتم‌ها شامل تبرید شبیه‌سازی‌شده و جستجوی تابو هستند که به تدریج به سمت بهینه حرکت می‌کنند[۲].

الگوریتم ژنتیک یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های فراابتکاری است که بر اساس اصول انتخاب طبیعی و وراثت عمل می‌کند. در این روش، یک جمعیت از راه‌حل‌ها به عنوان کروموزوم‌ها تعریف می‌شود و با استفاده از عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش، نسل‌های جدیدی از راه‌حل‌ها تولیدمی‌شود. به عنوان مثال، در یک مسئله بهینه‌سازی تابعی، جمعیتی از نقاط ممکن ایجاد می‌شود و با تکرار این فرآیند، نقاط بهتری برای حل مسئله پیدا می‌شوند [۳].

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید یک روش دیگر برای حل مسائل بهینه‌سازی است که از فرآیند فیزیکی خنک‌سازی فلزات الهام گرفته شده است. در این روش، ابتدا یک دما تعیین می‌شود و سپس با کاهش تدریجی دما، جستجو در فضای راه حل انجام می‌شود. در هر مرحله، اگر راه‌حل جدید بهتر باشد، پذیرفته می‌شود و اگر بدتر باشد، با احتمالی معین پذیرفته می‌شود. این احتمال باعث می‌شود که الگوریتم از دامنه‌های محلی خارج شود. به عنوان مثال، در مسئله مسیریابی، این الگوریتم می‌تواند مسیرهای مختلف را بررسی کند و به تدریج بهترین مسیر را پیدا کند [۴]. الگوریتم کلونی زنبور عسل بر اساس رفتار زنبورها در جستجوی غذا طراحی شده است. این الگوریتم شامل سه نوع زنبور است: زنبورهای کارگر که نقاط مختلف را بررسی می‌کنند، زنبورهای ناظر که بهترین نقاط را جمع‌آوری می‌کنند و زنبورهای راهبر که دیگر زنبورها را هدایت می کنند. با استفاده از همکاری بین زنبورها، راه‌حل‌های بهینه‌تر پیدا می‌شود. برای مثال، در یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه، زنبورها می‌توانند به طور همزمان چندین هدف را بررسی کنند و بهترین ترکیب ممکن را پیدا کنند [۵]. الگوریتم‌های فراابتکاری ابزارهای قدرتمندی برای حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی هستند. با توجه به تنوع روش‌ها، این الگوریتم‌ها قابلیت تطبیق با انواع مختلف مسائل را دارند. انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم بستگی به نوع مسئله، ویژگی‌های آن و نیازهای خاص کاربر دارد. با پیشرفت تحقیقات در این زمینه، انتظار می‌رود که الگوریتم‌های جدیدتر و کارآمدتری نیز معرفی شوند که بتوانند چالش‌های بیشتری را حل کنند [۶].

۳ – مرور سوابق

این بخش به بررسی کارهای مشابه یا مرتبط که قبلاً در این زمینه انجام گرفته است، می پردازد. در سال ۲۰۱۴ الگوریتم گرگ خاکستری توسط میرجلیلی و همکاران به‌عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی الهام‌گرفته از رفتار اجتماعی گرگ‌ها در شکار و زندگی گروهی طراحی شده است و به‌خوبی توانسته در مسائل مختلف بهینه‌سازی جهانی کاربرد داشته باشد. گرگ‌ها در این الگوریتم به‌طور مؤثری با یکدیگر تعامل دارند و با استفاده از مکانیزم‌های جستجو و بهره‌برداری، بهترین راه‌حل‌ها را شناسایی می‌کنند. کاربردهای این الگوریتم شامل مسائل بهینه‌سازی در مهندسی، علوم کامپیوتر و مدیریت منابع طبیعی است.

مزایای الگوریتم گرگ خاکستری شامل سادگی پیاده‌سازی و توانایی آن در جستجوی فضای بزرگ است که معمولاً دقتی حدود ۰.۹۵ را ارائه می‌دهد. با این حال، یکی از معایب آن احتمال واگرایی زودهنگام در مسائل پیچیده است که می‌تواند منجر به عدم کشف نقاط بهینه سراسری شود. همگرایی این الگوریتم به ساختار جمعیتی و پارامترهای اولیه بستگی دارد [۷].

الگوریتم گورخر توسط دهقانی و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر اساس رفتار اجتماعی گورخرها طراحی شده است و شامل دو مرحله اصلی جستجو و بهره‌برداری است. در مرحله جستجو، گورخرها محیط را برای یافتن بهترین موقعیت‌ها بررسی می‌کنند و در مرحله بهره‌برداری، به سمت بهترین موقعیت‌ها حرکت می‌کنند. این الگوریتم در زمینه‌های مختلفی از جمله مهندسی، علوم داده و برنامه‌ریزی منابع کاربرد دارد. از مزایای الگوریتم گورخر می‌توان به توانایی آن در جستجوی مؤثر و دقت بالای آن اشاره کرد که معمولاً به دقتی نزدیک به ۰.۹۲ می‌رسد. اما یکی از معایب آن، پیچیدگی محاسباتی بالاتر نسبت به برخی دیگر از الگوریتم‌ها است که ممکن است منجر به زمان اجرای طولانی‌تری شود. همچنین، واگرایی این الگوریتم ممکن است در شرایط خاصی رخ دهد که باعث عدم کشف نقاط بهینه گردد [۸]. الگوریتم تاردیگراید بر اساس رفتار و توانایی

بقای تاردیگرایدها طراحی شده است. این موجودات میکروسکوپی قادر به زنده ماندن در شرایط سخت محیطی هستند و این ویژگی‌ها الهام‌بخش طراحی این الگوریتم بوده است. الگوریتم تاردیگراید با استفاده از مکانیزم‌های جستجو و بهره‌برداری، تلاش می‌کند تا بهترین راه‌حل‌ها را برای مسائل بهینه‌سازی پیدا کند. کاربردهای آن شامل مسائل مهندسی، علوم زیستی و مدل‌سازی است. این الگوریتم مزایای قابل توجهی از جمله توانایی بالای آن در جستجوی فضای حل و دقتی نزدیک به ۰.۹۳ دارد. اما معایب آن شامل پیچیدگی محاسباتی بالا و احتمال واگرایی زودهنگام در برخی مسائل پیچیده است. همگرایی این الگوریتم وابسته به تنظیمات اولیه و تعداد جمعیت است، که اگر به درستی انتخاب نشود، می‌تواند منجر به نتایج نامطلوب گردد [۹].

الگوریتم زنبور عسل یک روش بهینه‌سازی الهام گرفته از رفتار زنبورهای عسل در جستجوی غذا است که بر اساس تعاملات اجتماعی زنبورها و نحوه کار گروهی آن‌ها در سال 2005 توسط آقای فام و همکاران طراحی شده است. زنبورها با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده از منابع غذایی، تصمیم می‌گیرند که کجا بروند و چگونه بهترین منابع را پیدا کنند. کاربردهای این الگوریتم شامل مسائل بهینه‌سازی در مهندسی، علوم کامپیوتر وسایر علوم است.

از مزایای اصلی الگوریتم زنبور عسل می‌توان به سادگی پیاده‌سازی و توانایی جستجوی مؤثر در فضای بزرگ اشاره کرد. دقت این الگوریتم معمولاً حدود ۰.۹۰ است. اما معایب آن شامل احتمال واگرایی زودهنگام و نیاز به تنظیم دقیق پارامترها برای رسیدن به نتایج بهتر می‌باشد. همگرایی این الگوریتم تحت تأثیر تعداد زنبورها و نحوه تقسیم وظایف بین آن‌ها قرار می گیرد [۱۰].

الگوریتم شاهین هریس بر اساس رفتار شکار شاهین‌های هریس طراحی شده است. این الگوریتم بر اساس همکاری گروهی بین شکارچیان و تکنیک‌های مختلف شکار عمل می‌کند تا بهترین راه‌حل‌ها را برای مسائل بهینه‌سازی پیدا کند. کاربردهای این الگوریتم شامل مسائل مهندسی، مدیریت منابع و علوم داده است. مزیت اصلی الگوریتم شاهین هریس توانایی بالای آن در جستجوی مؤثر و دقت حدود ۰.۹۴ است. با این حال، یکی از معایب آن احتمال واگرایی زودهنگام در برخی مسائل پیچیده وجود دارد که می‌تواند منجر به عدم کشف نقاط بهینه سراسری شود. همگرایی این الگوریتم وابسته به شرایط اولیه و نحوه تنظیم پارامترهاست که می‌تواند تأثیر زیادی بر روی عملکرد کلی آن داشته باشد[۱۱].

الگوریتم عروس دریایی بر اساس رفتار شنا کردن عروس دریایی طراحی شده است. این الگوریتم از مکانیسم‌های جستجو و بهره‌برداری استفاده کرده و تلاش می‌کند تا بهترین راه‌حل‌ها را برای مسائل بهینه‌سازی پیدا کند. کاربردهای آن شامل مسائل مهندسی، علوم کامپیوتر و مدیریت منابع طبیعی است. مزیت‌های این الگوریتم شامل سادگی پیاده‌سازی و قابلیت جستجوی مؤثر در فضای حل است که دقتی نزدیک به ۰.۹۱ دارد. اما معایب آن شامل پیچیدگی محاسباتی بالا و احتمال واگرایی زودهنگام در برخی شرایط خاص وجود دارد. همگرایی این الگوریتم در وابستگی به پارامترهای جمعیتی و نحوه تنظیم آن‌ها قرار دارد [۱۲].

الگوریتم گورکن عسل خوار بر اساس رفتار گورکن‌ها و روش‌های شکار آن‌ها به وجود آمده است. این موجودات به خاطر شجاعت و توانایی‌های خاص خود در شکار شناخته شده‌اند و این ویژگی‌ها الهام‌بخش طراحی این الگوریتم بوده است. کاربردهای آن شامل مسائل بهینه‌سازی در مهندسی، علوم زیستی و مدیریت منابع است. از مزایای این الگوریتم می‌توان به دقت بالای آن اشاره کرد که معمولاً حدود ۰.۹۲ است. همچنین، توانایی جستجوی مؤثر در فضای بزرگ یکی دیگر از ویژگی‌های مثبت آن محسوب می‌شود. اما معایب آن شامل احتمال واگرایی زودهنگام و نیاز به تنظیم دقیق برای دستیابی به نتایج بهتر است [۱۳].

الگوریتم مورچگان که بر اساس رفتار اجتماعی مورچه‌ها در سال ۱۹۹۲ توسط آقای دوریگو و همکاران طراحی شده، از مفهوم فیدبک مثبت استفاده کرده و با شبیه‌سازی نحوه جستجوی غذا توسط مورچه‌ها تلاش می‌کند تا بهترین راه‌حل‌ها را برای مسائل بهینه‌سازی پیدا کند. کاربردهای آن شامل مسیریابی، زمان‌بندی و مسائل شبکه‌ای است. مزیت اصلی الگوریتم مورچگان توانایی آن در جستجوی مؤثر و دقت حدود ۰.۸۹ است. با این حال، یکی از معایب آن پیچیدگی محاسباتی بالا و زمان اجرای طولانی‌تر نسبت به برخی دیگر از الگوریتم‌ها می‌باشد. همچنین، واگرایی ممکن است در شرایط خاصی رخ دهد که باعث عدم کشف نقاط بهینه گردد[۱۴].

الگوریتم اسب آبی بر اساس رفتار اجتماعی اسب آبی توسعه یافته است. این موجودات دارای ویژگی‌های خاصی هستند که الهام‌بخش طراحی این الگوریتم بوده‌اند. کاربردهای آن شامل مسائل مهندسی، علوم کامپیوتر و مدیریت منابع طبیعی است. از مزایای این الگوریتم می‌توان به دقت بالای آن اشاره کرد که معمولاً حدود ۰.۹۰ است. همچنین، توانایی جستجوی مؤثر در فضای بزرگ یکی دیگر از ویژگی‌های مثبت آن محسوب می‌شود. معایب آن نیاز به تنظیم دقیق پارامترها برای دستیابی به نتایج بهتر است [۱۵].

الگوریتم میمون عنکبوتی از رفتار اجتماعی میمون‌های عنکبوتی الهام گرفته شده است. کاربردهای آن شامل مسائل بهینه‌سازی در مهندسی، علوم داده و مدیریت منابع طبیعی است.این الگوریتم دارای مزایای زیادی از جمله سادگی پیاده‌سازی و دقت حدود ۰.۹۱ است. اما معایب آن احتمال واگرایی زودهنگام و پیچیدگی محاسباتی بالاتر نسبت به برخی دیگر از روش‌ها می‌باشد. همگرایی این الگوریتم وابسته به شرایط اولیه و نحوه تنظیم پارامترهاست که

ممکن است تأثیر قابل توجهی بر روی عملکرد کلی آن داشته باشد [۱۶].

الگوریتم کرم شب‌تاب[1] که توسط یانگ (Yang) در سال ۲۰۰۸ معرفی شد، یکی از روش‌های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت است که از رفتار نورافشانی کرم‌های شب‌تاب الهام گرفته شده است. در این الگوریتم، شدت نور هر کرم شب‌تاب نشان‌دهنده کیفیت راه‌حل آن است و کرم‌های ضعیف‌تر به سمت کرم‌هایی با نور قوی‌تر حرکت می‌کنند. میزان جذب بین کرم‌های شب‌تاب بر اساس شدت روشنایی و فاصله میان آن‌ها تعیین می‌شود، به‌طوری‌که هرچه کرم شب‌تابی درخشان‌تر باشد، احتمال جذب سایرین به سمت آن بیشتر خواهد بود. این الگوریتم دارای ویژگی‌های انعطاف‌پذیری بالا و سادگی پیاده‌سازی است، اما به دلیل وابستگی به پارامترهای کنترلی مانند شدت نور اولیه و میزان جذب، ممکن است در برخی مسائل بهینه‌سازی دچار همگرایی زودرس شود و در بهینه‌های محلی گیر بیفتد. برای حل این مشکل، نسخه‌های بهبودیافته‌ای از این الگوریتم ارائه شده‌اند که پارامترهای جذب تطبیقی و مکانیزم‌های متنوع‌سازی جستجو را بهبود داده‌اند[۱۷].

الگوریتم کرم‌های شب‌تاب براساس جذب نور کرم‌های شب‌تاب طراحی شده است و حرکت جستجوگران متناسب با شدت نور سایر اعضا انجام می‌شود، درحالی‌که روش پیشنهادی، الگوریتم ازدحام گربه شنی ، از رفتار شکار و شنود فرکانس پایین در گربه‌های شنی الهام گرفته است. درحالی که الگوریتم کرم شب تاب وابسته به مقداردهی اولیه شدت نور است، تعادل بهتری بین جستجو و بهره‌برداری ایجاد کرده و با به‌کارگیری مکانیزم تطبیقی جستجو، احتمال گیر افتادن در بهینه محلی را کاهش می‌دهد.

۴ – روش پیشنهادی

الگوریتم بهینه‌سازی گربه شنی به عنوان یک الگوریتم بر اساس رفتار شکارچیانه گربه‌های شنی طراحی شده است که به خاطر مهارت‌های خود در جستجوی غذا در محیط‌های مختلف شناخته شده‌اند. هدف اصلی این الگوریتم حل مسائل بهینه‌سازی جهانی با استفاده از الگوهای رفتاری این موجودات است. الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت به دلیل قابلیت‌های خود در جستجوی مؤثر و یافتن راه‌حل‌های بهینه، توجه زیادی را در حوزه‌های مختلف به خود جلب کرده‌اند [۱۸]. الگوریتم بهینه‌سازی گربه شنی شامل یک جمعیت از گربه‌های شنی است که به طور تصادفی در فضای جستجو توزیع می‌شوند. هر گربه به عنوان یک عامل مستقل عمل کرده و موقعیت خود را ارزیابی می‌کند. سپس، بر اساس کیفیت موقعیت خود، تصمیماتی برای حرکت به سمت نقاط بهتر اتخاذ می‌کند. این فرآیند شامل دو مرحله اصلی جستجو و بهره‌برداری است که منجر به یافتن راه‌حل‌های بهینه می‌شود. الگوریتم با تکیه بر تعاملات اجتماعی و رفتار جمعی این موجودات، تلاش می‌کند تا نتایج بهتری را نسبت به سایر روش‌ها ارائه دهد [۱۹]. در آغاز، یک جمعیت از گربه‌های شنی به طور تصادفی در فضای جستجو توزیع می‌شود. هر گربه موقعیت خود را با استفاده از تابع هدف ارزیابی می‌کند. سپس، بر اساس این ارزیابی، گربه‌ها تصمیم می‌گیرند که آیا به سمت بهترین موقعیت پیدا شده حرکت کنند یا به جستجوی نقاط جدید بپردازند. این تعاملات اجتماعی و تصمیم‌گیری‌های فردی منجر به بهبود کیفیت موقعیت‌ها می‌شود [۲۰].

موقعیت هر گربه در این الگوریتم با استفاده از معادله ۱ به‌روزرسانی می‌شود:

$$X_i^{new} = X_i^{old} + \alpha \cdot (X_{\beta est} - X_i^{old}) + \beta \cdot (X_j - X_i^{old}) \quad (۱)$$

که در آن X_i^{new} موقعیت جدید گربه، X_i^{old} موقعیت قدیمی آن، $X_{\beta est}$ بهترین موقعیت پیدا شده تا کنون و X_j موقعیت یک گربه دیگر است. پارامترهای α و β وزن‌های مربوط به جستجو و بهره‌برداری هستند و تأثیر زیادی بر روی عملکرد الگوریتم دارند [۲۱]. شعاع حرکت گربه‌ها برای شکار یکی از عوامل کلیدی در این الگوریتم است. این شعاع تعیین می‌کند که هر گربه چقدر می‌تواند از موقعیت فعلی خود فاصله بگیرد تا نقاط جدیدی را جستجو کند. شعاع حرکت معمولاً در مراحل اولیه بزرگ‌تر است تا تنوع بیشتری ایجاد کند و در مراحل پایانی کاهش می‌یابد تا بر روی نقاط نزدیک‌تر تمرکز کند. این تنظیمات باعث می‌شود که الگوریتم بتواند تعادل مناسبی بین جستجو و بهره‌برداری برقرار کند [۲۲]. پس از هر مرحله از جستجو، گربه‌ها بر اساس کیفیت موقعیت‌های خود ارزیابی می‌شوند. بهترین گربه‌ها انتخاب شده و اطلاعات آن‌ها برای سایر گربه‌ها به اشتراک گذاشته می‌شود. فرآیند انتخاب معمولاً با استفاده از یک معیار خاص، مانند تابع هدف انجام می‌شود. این انتخاب منجر به حفظ بهترین راه‌حل‌ها و هدایت جمعیت به سمت نقاط بهینه می‌شود [۲۳].

عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی گربه شنی تحت تأثیر پارامترهای مختلفی از جمله تعداد گربه‌ها، اندازه جمعیت و وزن‌های α و β قرار دارد. تنظیم صحیح این پارامترها می‌تواند تأثیر زیادی بر توانایی الگوریتم در یافتن راه‌حل‌های بهینه داشته باشد. تحقیقات نشان داده‌اند که انتخاب مناسب این پارامترها می‌تواند منجر به بهبود قابل توجهی در عملکرد الگوریتم شود [۲۴].

الگوریتم بهینه‌سازی گربه شنی در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک یا شبیه‌سازی تبرید مزایای خاصی

[1] Firefly Algoritm

دارد. یکی از این مزایا توانایی بالای آن در جستجوی فضای بزرگ و پیچیده است. همچنین، این الگوریتم معمولاً سریع‌تر عمل می‌کند و توانایی بیشتری در جلوگیری از افتادن در دام‌های محلی دارد [۲۵]. نتایج تجربی نشان داده‌اند که الگوریتم بهینه‌سازی گربه شنی توانسته است در مسائل مختلف بهینه‌سازی عملکرد خوبی داشته باشد. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که این الگوریتم قادر است نسبت به روش‌های سنتی نتایج بهتری ارائه دهد [۲۶]. الگوریتم بهینه‌سازی گربه شنی یک ابزار قدرتمند برای حل مسائل جهانی بهینه‌سازی است که بر اساس رفتار طبیعی گربه‌های شنی طراحی شده است. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد آن و توانایی در جستجوی مؤثر فضای حل، انتظار می‌رود که این الگوریتم در آینده بیشتر مورد توجه قرار گیرد و کاربردهای بیشتری پیدا کند [۲۷].

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^t \quad (۲)$$

معادله ۲ نشان می‌دهد که موقعیت جدید هر عامل (گربه شنی) چگونه با توجه به موقعیت قبلی و تغییرات سرعت به‌روز می‌شود. این مفهوم مشابه الگوریتم‌های دیگر مانند PSO است [۲۸].

$$V_i^{t+1} = w \cdot V_i^t + c_1 \cdot r_1 \cdot (P_i^{best} - X_i^t) + c_2 \cdot r_2 \cdot (G^{best} - X_i^t) \quad (۳)$$

معادله ۳ نحوه به‌روزرسانی سرعت عامل‌ها را نشان می‌دهد و شامل پارامترهایی مانند وزن اینرسی (w)، بهترین موقعیت محلی (P_i^{best}) و بهترین موقعیت جهانی (G^{best}) است [۲۹].

$$S_i = S_{max} - ((S_{max} - S_{min}) / (T \cdot t)) \quad (۴)$$

معادله ۴ کاهش تدریجی حساسیت را در طول زمان نشان می‌دهد که به الگوریتم کمک می‌کند تا در مراحل پایانی به بهره‌برداری از موقعیت‌های خوب متمرکز شود [۳۰].

مکانیسم جستجوی طعمه توسط گربه های شنی متکی به انتشار نویز فرکانس پایین است. الگوریتم از توانایی شنوایی در سطح پایین بهره می برد. همانطور که قبلا ذکر شد، گربه شنی فرکانس های پایین زیر ۲ کیلوهرتز را حس می کند. در مدل سازی ریاضی، این مقدار ($\overrightarrow{r_G}$) به صورت خطی کاهش می یابد و با پیشرفت تکرارها، به صفر می رسد. مکانیسم الگوریتم پیشنهادی برای نزدیک شدن به شکار و نه از دست دادن آن به دنبال شکار است. بنابراین، برای جستجوی طعمه، فرض می شود که محدوده حساسیت گربه شنی از ۲ کیلوهرتز تا ۰ شروع می شود (معادله ۵). از آنجایی که S_M از ارزش ویژگی های شنوایی گربه شنی الهام گرفته شده است، مقدار آن ۲ در نظر گرفته شده است. با این حال، هنگام حل مشکلات مختلف، این مقدار در تعیین سرعت و عملکرد عوامل بر این اساس قابل سفارشی سازی است. این ثابت می کند انعطاف پذیری و تطبیق پذیری معادله ارائه شده است. به عنوان مثال، اگر حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰ باشد، مقدار $\overrightarrow{r_G}$ در تکرارهای نیمه اول و کمتر از ۱ در ۵۰ تکرار گذشته خواهد بود. شایان ذکر است که پارامتر نهایی و اصلی در کنترل انتقال بین فازهای اکتشاف و بهره برداری R است (معادله ۶). با تشکر از این استراتژی تطبیقی، انتقال و احتمالات در دو فاز متعادل تر خواهد بود. فضای جستجو به صورت تصادفی بین مرزهای مشخص شده در مرحله جستجو و به روز رسانی موقعیت هر عامل جستجوی فعلی بر اساس یک موقعیت تصادفی است. به این ترتیب، عوامل جستجو می توانند فضاهای جدید را کشف کنند. فضای جستجو، محدوده حساسیت برای هر گربه شنی است (معادله ۷). بنابراین، $\overrightarrow{r_G}$محدوده حساسیت عمومی را نشان می دهد که به صورت خطی از ۲ به ۰ کاهش می یابد. علاوه بر این، $\vec{r}$ محدوده حساسیت هر گربه را نشان می دهد. $\vec{R}$پارامتر $\overrightarrow{r_G}$ را برای کنترل انتقال در این فازها راهنمایی می کند. علاوه بر این، $iter_c$، تکرار فعلی و $iter_{Max}$، حداکثر تکرارها است.

$$\overrightarrow{r_G} = s_M - \left(\frac{2*S_M*iter_c}{iter_{Max}+iter_{\max}}\right) \quad (۵)$$

$$\vec{R} = 2 * \overrightarrow{r_G} * rand(0,1) - \overrightarrow{r_G}, \quad (۶)$$

$$\vec{r} = \overrightarrow{r_G} * rand(0,1) \quad (۷)$$

$$\overrightarrow{Pos}(t+1) = \vec{r} . (\overrightarrow{Pos_{bc}}(t) - rand(0,1) . \overrightarrow{Pos_c}(t)) \quad (۸)$$

هر عامل جستجو (گربه شنی) موقعیت خود را به روز می کند. بر اساس بهترین موقعیت کاندید ($\overrightarrow{Pos_{bc}}$) و فعلی آن، محدوده حساسیت آن ($\vec{r}$) است. بنابراین، گربه های شنی قادر به یافتن بهترین موقعیت ممکن دیگر برای طعمه هستند (معادله ۸). این معادله فرصت دیگری به الگوریتم برای یافتن بهینه محلی جدید در ناحیه جستجو می دهد. از این رو، موقعیت به دست آمده بین موقعیت فعلی و موقعیت طعمه، با تصادفی بودن به دست می آید. به این ترتیب، عوامل جستجو در الگوریتم از تصادفی بودن سود برند. این باعث می شود الگوریتم کم هزینه و کارآمد باشد. توانایی آنها برای مدل‌سازی ریاضی فاز حمله، فاصله بین بهترین موقعیت ($\overrightarrow{Pos_b}$) (بهترین راه حل) و موقعیت فعلی ($\overrightarrow{Pos_c}$) گربه شنی را محاسبه می کند (معادله ۹). علاوه بر این، محدوده حساسیت گربه شنی به صورت دایره ای در نظر گرفته می شود، به این ترتیب، جهت حرکت توسط یک زاویه تصادفی روی دایره تعیین می شود. البته در تعیین جهت حرکت دیگر پارامترها نیز موثر هستند که در

معادله اعلام شده است. از آنجایی که زاویه تصادفی انتخاب شده بین ۰ و ۳۶۰ اســت، مقدار آن باید بین ۱- و ۱ باشـد. به این ترتیب، هر یک از اعضای جمعیت می توانند در جهت دایره ای متفاوتی حرکت کنند. فضــای جســتجو از الگوریتم انتخاب چرخ رولت برای انتخاب یک زاویه تصــادفی برای هر گربه شــنی بهره می برد. به این ترتیب گربه شنی می تواند به موقعیت شکار نزدیک شود. زاویه تصادفی نیز برای جلوگیری از بهینه محلی استفاده می شود. تله استفاده از زاویه تصادفی نیز مثبت خواهد داشت (معادله ۹).

موقعیت تصادفی ($\overrightarrow{Pos_{rnd}}$) تضمین می کند که گربه های درگیر می توانند به طعمه نزدیک شوند.

$$\overrightarrow{Pos_{rnd}} = \left|rand(0,1) * \overrightarrow{Pos_b}(t) - \overrightarrow{Pos_c}(t)\right|,$$
$$\overrightarrow{Pos}(t+1) = \overrightarrow{Pos_b}(t) - \vec{r}.\overrightarrow{Pos_{rnd}}.\cos(\theta) \quad (۹)$$

اکتشــاف و بهره برداری توســط مقادیر تطبیقی پارامترهای $\overrightarrow{r_g}$ و R تضــمین می شــود. این پارامترها اجازه می دهند الگوریتم برای جابجایی یکپارچه بین دو فاز، از آنجایی که پارامتر R به $\overrightarrow{r_G}$ بستگی دارد، محدوده عملکرد آن نیز کاهش یابد. همانطور که قبلا گفته شــد، زمانی که مقادیر $\overrightarrow{r_G}$ پارامتر به طور متعادل توزیع می شــود، مقدار R خواهد شد و بنابراین شانس عملیات بین دو فاز با توجه به مشکل، مناسب خواهد بود. به عبارت دیگر، R یک مقدار تصادفی در فاصــله[$-2\overrightarrow{r_G}$, $2\overrightarrow{r_G}$]اســت که در آن rG از ۲ به ۰ کاهش می یابد. پیش از تکرار به صــورت خطی هنگامی که مقادیر تصــادفی R در بازه

اســت، موقعیت بعدی یک گربه شــنی می تواند در هر موقعیتی بین موقعیت فعلی و موقعیت شکار باشد. این الگوریتم عوامل جستجو را مجبور به سوء استفاده از زمانی می کند که کمتر یا برابر با ۱ است، در غیر این صورت، عوامل جستجو مجبور به جستجو و یافتن طعمه می شــوند. در مرحله جســتجوی طعمه (کاوش)، شــعاع متفاوت هر گربه از محلی دوری می کند که تله بهینه اســت. این ویژگی یکی از پارامترهای موثر در حمله به طعمه اســت. معادله ۱۰ نشــان می دهد که به روز رســانی موقعیت برای هر گربه شــنی در اکتشــاف و مراحل بهره برداری موثر است[۳۱].

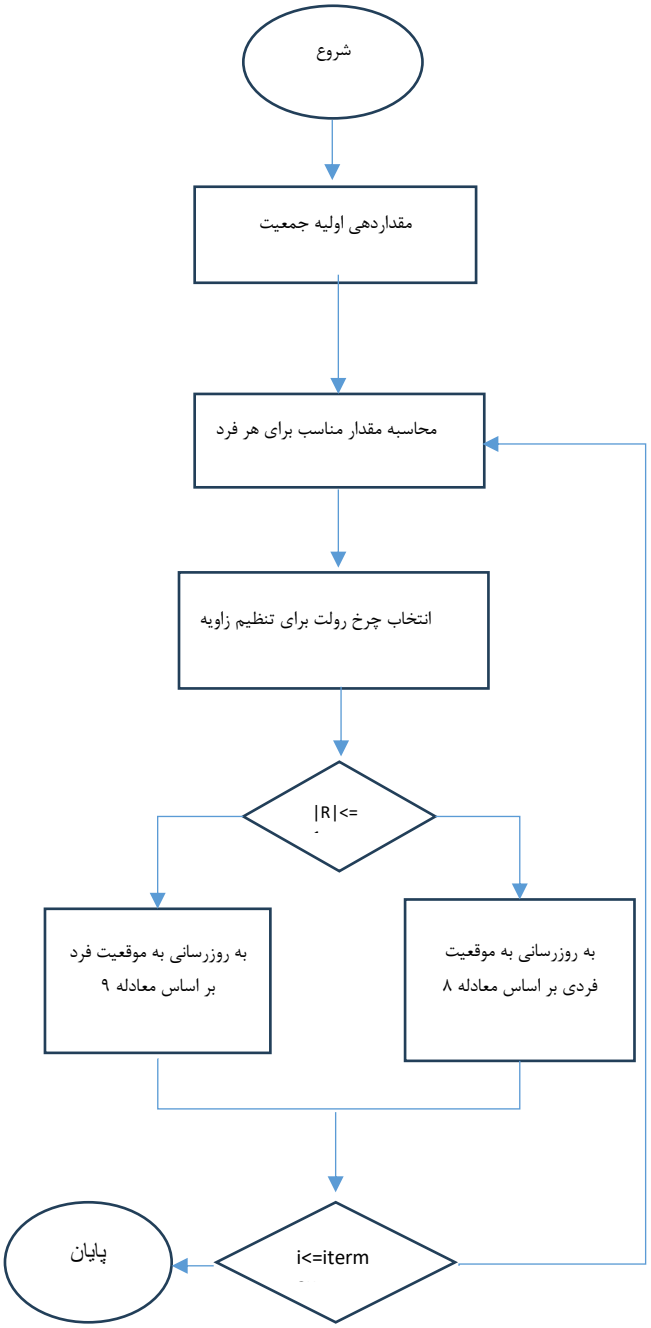
$$\vec{X}(t+1) = \overrightarrow{Pos_b}(t) - \overrightarrow{Pos_{rnd}}.\cos(\theta).\vec{r} \quad |R| \leq 1\,; exploitation$$
$$\vec{X}(t+1) = \vec{r}.\left(\overrightarrow{Pos_{bc}}(t) - rand(0,1).\overrightarrow{Pos_c}(t)\right) \quad |R| > 1\,; exploration \quad (۱۰)$$

پیچیدگی محاســباتی محاســبه پارامترهای کنترلی تعریف شــده O(n*m) اســت که n، نشــان دهنده جمعیت و m، نشــان دهنده اندازه مشکل است.

همچنین در مرحله مقدار دهی اولیه به زمان O(n*m) نیاز دارد.

شکل ۱، مراحل اجرای الگوریتم گربه شنی را نشان می دهد.

علاوه بر این، پیچیدگی محاســباتی به روز رســانی موقعیت عامل نیز O(n*m) است.



شکل ۱: مراحل اجرای الگوریتم گربه شنی

۵- نتیجه گیری

الگوریتم‌های فراابتکاری، روش‌های بهینه‌سازی الهام‌گرفته از رفتارها و فرآیندهای طبیعی هستند که با بهره‌گیری از تعامل جمعیتی و مفاهیم طبیعت، مسائل پیچیده بهینه‌سازی را حل می‌کنند. در این مطالعه، الگوریتمی فراابتکاری به نام "بهینه‌سازی ازدحام گربه‌های شنی" معرفی شده است که رفتار گربه‌های شنی را برای حفظ بقا به عنوان منبع الهام خود قرار می‌دهد. این گربه‌ها توانایی شگفت‌انگیزی در تشخیص فرکانس‌های پایین (زیر ۲ کیلوهرتز) و حفاری برای شکار دارند. این الگوریتم با یک جمعیت از گربه‌های شنی که به‌صورت تصادفی در فضای جستجو توزیع می‌شوند، به ارزیابی موقعیت‌ها و تصمیم‌گیری برای حرکت به سمت نقاط بهینه پرداخته و از تعاملات اجتماعی بهره می‌برد. الگوریتم پیشنهادی با الهام از این ویژگی‌ها شامل دو فاز اصلی جستجو و حمله است که به صورت متعادل مراحل اکتشاف و بهره‌برداری را مدیریت می‌کند. عملکرد الگوریتم به پارامترهای مختلفی بستگی دارد و در مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها، معایب کمتری در دامی شدن محلی دارد. همچنین، نتایج تجربی توانایی الگوریتم را در حوزه‌هایی مانند مهندسی و علوم کامپیوتر نشان می‌دهد . این رویکرد با کاهش تعداد پارامترها و عملیات، عملکرد بهینه‌ای در حل مسائل ازدحامی ارائه می‌دهد و راه‌حل‌هایی کارآمد برای مسائل پیچیده بهینه‌سازی فراهم می‌کند. با توجه به ویژگی‌های این الگوریتم، انتظار می‌رود که کاربردهای آن در آینده گسترش یابد. در این مقاله، به دلیل تمرکز بر معرفی و توضیح الگوریتم بهینه‌سازی گربه‌های شنی، بخش ارزیابی در نظر گرفته نشده است. در کارهای آتی، به ارزیابی عملکرد الگوریتم و مقایسه آن با سایر روش‌ها خواهیم پرداخت.

۶ – منابع

[1] Gendreau, M., Potvin, J.-Y. (2010). Handbook of Metaheuristics.
[2] Osman, I. H., Kelly, J. P. (1996). Meta-Heuristics: Theory and Applications.
[3] Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning.
[4] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing.
[5] Pham, D. T., Ghanbarzadeh, A. (2006). Bee Algorithm: A Novel Approach to Combinatorial Optimization.
[6] Talbi, E.-G. (2009). Metaheuristics: From Design to Implementation.
[7] Mirjalili, S., Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer.
[8] Trojovska, E., Dehghani, M., Trojovsky, P. (2017). Zebra Optimization Algorithm: A New Bio-inspired Optimization Algorithm for Solving Optimization Algorithm
[9] Nirody, J.A., Duran, L.A., Johnston, D., Cohen, D.J. (2021). Tardigrades exhibit robust interlimb coordination across walking speeds and terrains
[10] Pham, D.T., et al. (2005). Bee Algorithm.
[11] Heidari, A.A., Mirjalili, S. (2019). Harris Hawks optimization: Algorithm and applications
[12] Chou, J., Truong D. (2020). A novel metaheuristic optimizer inspired by behavior of jellyfish in ocean
[13] Hashim, F.A., Houssein, E.H. (2021). Honey Badger Algorithm: New metaheuristic algorithm for solving optimization problems
[14] Dorigo, M., Stutzle, T. (1992). Ant Colony Optimization.
[15] Amiri, M.H., Hashjin, N.M., Montazeri, M., Mirjalili, S., Khodadadi, N. (2024). Hippopotamus optimization algorithm: a novel nature-inspired optimization algorithm
[16] Bansal, J.C., Sharma, H. (2012). Spider Monkey Optimization algorithm for numerical optimization
[17] Fister, I., Fister Jr, I., Yang, X. S., & Brest, J. (2013). A Comprehensive Review of Firefly Algorithms. Swarm and Evolutionary Computation
[18] Seyyedabbasi, A., Kiani, F. (2022). Sand Cat Swarm Optimization: A Nature-Inspired Algorithm to Solve Global [19] Mirjalili, S., Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm.
[20] Yang, X.-S. (2010). Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms.
[21] Ganaie, M. A., Khan, A. A. (2022). Sand Cat Swarm Optimization: A Nature-Inspired Algorithm to Solve Global Optimization Problems.
[22] Hu, J., Wu, Y. (2019). A Comprehensive Review on Swarm Intelligence Algorithms.
[23] Zhao, Y., Zhang, J. (2021). Performance Evaluation of Swarm Intelligence Algorithms.
[24] Tizhoosh, H. R., Liu, L. (2005). Opposition-Based Learning: A New Scheme for Machine Intelligence.
[25] Wang, C., Zhang, Y. (2020). Comparative Study of Swarm Intelligence Algorithms.
[26] Kumar, S., Singh, R. (2021). Applications of Metaheuristic Algorithms in Engineering.
[27] Hossain, M., Rahman, M. (2022). Future Directions in Nature-Inspired Optimization Algorithms.
[28] Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. Proceedings of the IEEE

Sand Cat Optimization: Efficient Search Algorithms and Crowd Management

M.Zand[1], N. Aghaee Maybodi[2]

[1]Islamic Azad University of Yazd, Yazd, Iran
[2]Department of computer,Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran

Abstract
Meta-heuristic algorithms are optimization methods inspired by natural behaviors and processes that solve very complex optimization problems by taking advantage of population interaction and nature-inspired concepts. In this study, a meta-heuristic algorithm called swarm optimization of sand cats has been introduced, which inspires the behavior of sand cats to sustain life and maintain survival. These cats have a unique and amazing ability to detect frequencies below 2 kHz and dig up soil to hunt for prey. Also, these cats have a great ability to locate, move quickly, and hide themselves from the sight of the prey. Inspired by these features, the proposed algorithm consists of two main phases of search and attack, which manages the exploration and exploitation phases in a balanced manner. This approach provides optimal performance in solving various congestion problems by reducing the number of parameters and operations, providing useful and efficient solutions to complex optimization problems.

Keywords: Metaheuristic algorithms, sand cat swarm optimization, swarm intelligence, local optimization, global optimization

[29] Shi, Y., Eberhart, R. (1998). A modified particle swarm optimizer. Proceedings of the 1998 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 69-73.
[30] Bäck, T., Fogel, D. B., Michalewicz, Z. (1994). Handbook of Evolutionary Computation. IOP Publishing Ltd.

[31] Seyyedabbasi, A., Kiani, F. (2022). Sand Cat Swarm Optimization: A Nature-Inspired Algorithm to Solve Global Optimization Problems

محمد زید زند، دانشجوی مهندسی کارشناسی ارشد کامپیوترگرایش نرم افزاردانشگاه آزاد اسلامی یزد می باشد. وی مقطع کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوترگرایش نرم افزار گذرانده است و علاقه مند به موضوعات مربوط به الگوریتم های تقریبی می باشد.
نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:
mzz191380@gmail.com

نسرین آقایی میبدی، دکتری تخصصی در رشته مهندسی کامپیوتر در گرایش نرم افزار می‌باشد. ایشان مقطع کارشناسی خود را در دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد و کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب و دکتری خود را در دانشگاه آزاد یزد در رشته مهندسی کامپیوتر پشت سر گذاشته است.
نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:
Aghaee.meybodi@maybodiau.ac.ir

روش ارجاع: م.زند، ن.آقایی میبدی ، بهینه سازی به شیوه گربه شنی: الگوریتم جستجوی کارآمد و مدیریت ازدحام، دوفصلنامه محاسبات و سامانه‌های توزیع شده، سال هفتم، شماره۲، شماره پیاپی ۱۴، صفحه ۳۲ تا ۳۹ سال ۱۴۰۳.

How to cite: M. Zand, N. AghaeiMeybodi, Sand Cat Optimization: Efficient Search Algorithms and Crowd Management. Journal of Distributed Computing and Systems (JDCS), Vol 7, Issue 2, Pages 32 – 39, 2025.