مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی وسنجش از دوردر برنامه‌ریزی،دوره۱۲، شماره۱(پیاپی ۴۳)، بهار۱۴۰۰

استفاده از روش بهینه سازی الگوریتم کلونی مورچگان در سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقاله پژوهشی

محسن قدس[۱] حسین آقامحمدی زنجیرآباد[۲] علیرضا وفایی‌نژاد[۳] سعید بهزادی[۴] علیرضا قراگوزلو[۵]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۹ /۱۴۰۰/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

صفحات:۵۷-۷۲

چکیده

موضوع استفاده از روش های فرا-ابتکاری برای کاربرد در مسائل بهینه سازی ترکیبی، زمینه تحقیقاتی است که با سرعت در حال رشد است. این امر به دلیل اهمیت مسائل بهینه سازی ترکیبی در دنیای صنعت و علم است. در سال های اخیر یکی از مهمترین و امید بخش ترین تحقیقات، «روش های فرا-ابتکاری برگرفته از طبیعت» بوده است که در حل مسائل مشکل ترکیبی[۶] نتایج بسیار خوبی داشته است. الگوریتم های فرا-ابتکاری هنگامی برای حل یک مسئله استفاده می شوند که همگام با افزایش ابعاد مسئله فضای شدنی به صورت چشم‌گیری افزایش یابد که اصطلاحا اینگونه مسائل NP-hard نامیده می شوند. یکی از روش های فرا-ابتکاری پرکاربرد در این زمینه الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان است که امروزه در حل مسائل تخصیص منابع مکانی، مسیریابی و مکان یابی در محیط های سیستم اطلاعات جغرافیایی کاربرد دارد. در این تحقیق ضمن بررسی الگوریتم کلونی مورچگان به بیان و پارامترهای مورد نیاز آن برای استفاده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته می شود.

واژگان کلیدی: الگوریتم کلونی مورچگان، بهینه سازی، GIS

[۱] دانشجوی دکتری تخصصی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران mohsen.ghods@srbiau.ac.ir

[۲] نویسنده مسئول: استادیار، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران aghamohammadi@srbiau.ac.ir

[۳] استادیار، گروه حمل و نقل، دانشکده عمران، آب‌ومحیط‌زیست، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران a_vafaei@sbu.ac.ir

[۴] استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی، تهران behzadi@sru.ac.ir

[۵] دانشیار، گروه حمل و نقل، دانشکده عمران، آب‌ومحیط‌زیست، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران a_gharagozlo@sbu.ac.ir

[۶] NP-Hard

۱- مقدمه

هوش جمعی[۷] یکی از روش های جدید در حال رشد است که در هوش مصنوعی به عنوان یک تابع از تعامل اجتماعی اجزا در نظر گرفته می شود(لیم و همکاران، ۲۰۰۹). مبانی هوش جمعی بر اساس مطالعه رفتار جانداران اجتماعی مانند برخی از حشره ها (زنبور عسل، مورچه، موریانه) و یا حتی انسان ها بنا نهاده شده است. اجتماع به مجموعه ای ساختار یافته از عامل هایی که دارای روش هایی برای تعامل با یکدیگر می باشند، اطلاق می شود. در این اجتماعات، عامل ها دارای ساختار ساده ای می باشند؛ ولی در مقابل، رفتار جمعی آنها می تواند تا حد زیادی پیچیده باشد. برای مثال در کلونی مورچه ها، عامل ها به انجام مجموعه ای از وظایف ساده اختصاص می یابند. فعالیت ها و رفتار مورچه ها ایجاد ساختار مناسب لانه، مراقبت از ملکه و لاروها و یافتن بهترین منبع غذایی را تضمین می کند(بنابیو و همکاران، ۲۰۰۱؛ بنابیو و همکاران، ۱۹۹۹).

برای هر مجموعه هوش جمعی پنج اصل کلی وجود دارد که عبارتند از (لیم و همکاران، ۲۰۰۹):

- همسایگی[۸]: توانایی انجام محاسبات ساده مکانی و زمانی در پاسخ به محرک های محیطی،
- کیفیت[۹]: توانایی واکنش نشان دادن به فاکتورهای کیفی مانند غذا و سلامتی،
- پاسخ های متنوع[۱۰]: توانایی توزیع منابع و حفظ آنها در مقابل تغییرات محیط،
- پایداری[۱۱]: توانایی توزیع منابع و حفظ آنها در مقابل تغییرات محیط.
- سازش پذیری[۱۲]: توانایی تغییر رفتار گروه به منظور سازش پذیری بیشتر آن با مسئله.

رفتار کلی اجتماع از رفتار شخصی عامل ها در آن اجتماع شکل می گیرد. در حقیقت یک ارتباط دو طرفه‌ای بین رفتار شخصی عامل ها و رفتار اجتماع وجود دارد. مجموع رفتار شخصی عامل ها رفتار اجتماع را شکل می دهد و از طرف دیگر رفتار اجتماع روی شرایطی که هر عامل بر اساس آن فعالیت می کند، تأثیر گذار است (بنابیو و همکاران، ۲۰۰۱). این فعالیت ها می تواند محیط اطراف را تغییر دهد که در نتیجه آن ممکن است رفتار عامل ها تغییر کند. تغییر در رفتار عامل ها می تواند به تغییر در رفتار اجتماع منجر شود. در نتیجه مهم ترین جزء در هوش جمعی تعامل بین عامل ها می باشد. تعامل بین عامل ها به پالایش دانش و آگاهی تجربی درباره محیط پیرامون، منجر می شود. به بیان دیگر ساختاردهی در جانداران اجتماعی نیازمند تعامل بین آنها می باشد که این تعامل می تواند به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم باشد. تعامل مستقیم به صورت آشکار است و در ارتباطی که از طریق مستقیم بین اجزا اجتماع ایجاد می گردد، حاصل می شود. تعامل غیرمستقیم از پیچیدگی ها و ظرافت های بیشتری برخوردار می باشد. در تعامل غیرمستقیم جاندار، محیط اطراف خود را دچار تغییر می کند. جانداران دیگر آن اجتماع به این تغییرات توجه کرده و به آن جواب می دهند. این تعامل نمونه ای از هدایت غیرمستقیم می باشد. پس می توان گفت که رفتار اجزاء محیط را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه رفتار

[۷] Swarm Intelligence
[۸] Proximity
[۹] Quality
[۱۰] Diverse Response
[۱۱] Stability
[۱۲] Adaptively

بقیه اجزا را تحت تأثیر قرار می دهد (بنابیو و همکاران، ۲۰۰۱؛ شارکی ، ۲۰۰۶).
نمونه ای از این رفتار را می توان در مورچه ها مشاهده کرد. یک مورچه محیط اطراف خود را از طریق باقی گذاشتن اثری از ماده‌ای شیمیایی تحت تأثیر قرار می دهد. بقیه مورچه ها نیز این اثر را دنبال می کنند و رفتارشان تحت تأثیر آن قرار می گیرد. همانطور که مشاهده می شود بین مورچه ها ارتباطی غیرمستقیم برقرار می باشد (شارکی، ۲۰۰۶).

۲- ادبیات و پیشینه تحقیق

در زمینه استفاده از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان[۱۳]تحقیقات متنوعی در علوم مختلف انجام شده است. عاشوری و همکاران (۱۳۹۱) به برآورد تابع تقاضای انرژی در ایران با استفاده از الگوریتم مورچگان ACO پرداخته شده است، که با هدف توسعه روش های برآورد انرژی در ایران و نیز آزمون روش ACO بعنوان یک روش مناسب جهت برآورد تابع تقاضای انرژی در ایران دنبال شده است. قنبری و همکاران (۲۰۱۱) به شبیه سازی تابع عرضه ی سرمایه گذاری مستقیم خارجی (FDI) در ایران با استفاده از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه‌ها (ACO) پرداخته اند. حسین زاده و همکاران (۲۰۱۰) در تخصیص بهینه بار آلودگی چند هدفه از الگوریتم ACO بهره برده اند. آنها توانایی این الگوریتم را بررسی نموده و نشان داده اند خروجی مدل‌ها در راستای فضای اجرایی تحت کنترل باشد. عرب پور و قاضی (۲۰۰۶) در حل مسئله برنامه ریزی توان راکتیو چند هدفه در شبکه های قدرت با از الگوریتم ACO استفاده کرده اند. تقی زاده و همت فر (۱۳۹۴) در در پیش بینی ورشکستگی شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان پیوسته استفاده کرده اند. در زمینه استفاده از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان در GIS نیز تحقیقات متعددی انجام شده است. شهرکی و همکاران (۲۰۱۸) در تخصیص بهینهٔ منابع آب مخازن چاه نیمهٔ سیستان تحت سه سناریوی مدیریتی از روش فراابتکاری کلونی مورچگان در محیط GIS استفاده کرده اند. باغانی و همکاران (۱۳۹۴) در تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از توابع کسری بهینه‌سازی‌شده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها استفاده کرده اند. معصومی و همکاران (۱۳۹۰) در سیستم های حمل و نقل هوشمند و کاربر مبنا از الگوریتم کلونی مورچه چند معیاره استفاده کرده اند.

۳- روش تحقیق

هوش جمعی مصنوعی که شاخه ای از علم هوش مصنوعی می باشد، به طراحی سیستم های چند عامله هوشمند با الهام از رفتار جمعی حشرات اجتماعی نظیر مورچه ها، زنبورها، موریانه ها و دیگر حیوانات اجتماعی نظیر پرندگان و ماهی ها می پردازد. کلونی حشرات اجتماعی، سال هاست که محققین را به خود مجذوب ساخته است و مکانیزمی که رفتار این حشرات را کنترل می کند، برای سال ها سوالی بی جواب بوده است. این در حالی است که با وجود این که اعضاء در این کلونی ها دارای رفتار به نسبت ساده ای می باشند، همکاری آنها منجر به انجام وظایف و امور بسیار پیچیده ای می شود. رفتار هماهنگ کلونی از فعالیت ها و تعامل های ساده بین اعضاء کلونی پدیدار می گردد. بسیاری از جنبه های فعالیت های جمعی حشرات اجتماعی بدون هیچ کنترل مرکزی انجام می گیرد. برای مثال می توان به توانایی زنبورها و یا مورچه ها در ساخت لانه و یا

[۱] Ănt Colony Optimization (ACO)

یافتن غذا اشاره نمود (لیم و همکاران، ۲۰۰۹؛ بنابیو و همکاران، ۲۰۰۱). در الگوریتم های جمعیت مبنا با پیشرفت الگوریتم، سطحی از دانش و تخصص توسط عامل ها ایجاد می شود. هر چه روند الگوریتم به پیش می رود، ضمن حفظ دانش موجود، این سطح آگاهی افزایش می یابد. در حقیقت دو مفهوم جستجوی سراسری و جستجوی محلی برای این منظور تعریف می شوند. در الگوریتم های جمعیت مبنا، وجود تنوع در راه حل ها از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. عدم وجود تنوع منجر به ایجاد شرایطی می شود که در آن راه حل ها، مشابه یکدیگر می شوند و از طرف دیگر تنوع بیش از حد نیز همگرایی را با مشکل مواجه می کند. حفظ تنوع ارتباط مستقیم با ایجاد تعادل مناسب بین دو فرآیند جستجوی سراسری و جستجوی محلی دارد. عملگری که راه حل های جدیدی را ایجاد می کند، تأثیر زیادی در سرعت همگرایی الگوریتم و تنوع در جمعیت دارد. در زمینه بهینه سازی، جستجوی سراسری به معنای یافتن نقاط جدید در فضای جستجویی می باشد که تا پیش از این مورد بررسی قرار نگرفته است. این چنین الگوریتم هایی همانند عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک، با احتمال بالایی راه حل های با کیفیت پایین تری را ایجاد می کنند ولی احتمال پیدا کردن راه حل های بهتر نسبت به وضعیت موجود نیز وجود دارد، هر چند تضمینی برای این امر وجود ندارد. از طرف دیگر، جستجوی محلی فرایند ترکیب و پیشرفت راه حل های موجود می باشد. عملگرهای جستجوی محلی اغلب با تغییراتی که در راه حل ها ایجاد می کنند و یا با ترکیب قسمت های مختلف راه حل های بهتر، راه حل های جدید مشابه با آنها ایجاد می کنند. مشکل این عملگرها در آن است که راه حل های دیگر و شاید بهتری که در محیط دیگری از فضای جستجو قرار دارند، بررسی نمی شوند. الگوریتم بهینه سازی که جستجوی محلی را به جستجوی سراسری ترجیح می دهند، سرعت همگرایی بالایی دارند ولی با مشکل محلی بودن جواب نهایی روبرو هستند. از طرف دیگر، در الگوریتم های که بیش از حد جستجو انجام می دهند، ممکن است راه حل ها بهبود پیدا نکنند تا در نهایت به جواب بهینه برسد. برای رهایی از این مشکلات، الگوریتم های بهینه سازی نیاز دارند تا حداقل از یک عملگر جستجوی سراسری و یک عملگر جستجوی محلی استفاده کنند.

۳-۱- تئوری های مطرح در هوش جمعی

تئوری های مطرح در هوش جمعی به بررسی و مدل سازی رفتارهای اجتماعی گروه های حشرات و حیواناتی می پردازند که بصورت کلونی زندگی می کنند. در این شاخه از هوش مصنوعی، هر گروه مجموعه ای خود سازمان‌ده[۴]از ذرات ساده می باشد که این ذرات دارای هوش بالایی نیستند و تنها بین آنها قانون هایی برقرار است و امکان تعامل بین شان وجود داشته باشند. این قوانین ساده و تعاملات باعث می شود که رفتاری پیچیده از گروه ناشی شود(لیم و همکاران، ۲۰۰۹). در سال های اخیر رفتار پدیده های گوناگونی در این زمینه مورد مطالعه قرار گرفته اند که کلونی مورچه ها، زنبورها و پرندگان از جمله مطرح ترین الگوریتم های هوش جمعی هستند که در طیف گسترده ای از کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند.

- **الگوریتم های مبتنی بر کلونی مورچه ها**

مورچه ها دارای رفتارهای اجتماعی متفاوتی می باشند. یافتن کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذا در روند

[۴] Self-Organization

جستجوی غذا، ساخت قبرستان در فرآیند تمیز کردن لانه، مرتب کردن بچه ها در دوایر متحدالمرکز متناسب با اندازه بچه ها، ساخت خانه و تقسیم کار از جمله رفتارهای اجتماعی مشاهده شده در کلونی مورچه ها می باشد(انگلبرخت ، ۲۰۰۷؛ ماتور و همکاران، ۲۰۰۰). کلونی مورچه ها از گروهی از مورچه ها تشکیل شده اند که رفتار آنها، عکس العملی به دریافت درک آنها از محیط است. تعامل بین ذرات در کلونی مورچه ها به صورت غیرمستقیم انجام می پذیرد. انتقال غیرمستقیم اطلاعات به ذرات دیگر که در آن از محیط اطراف استفاده می شود، هدایت غیرمستقیم نامیده می شود. ارتباط غیرمستقیم بین مورچه ها به دو صورت امکان پذیر است: ارتباط از طریق یک ماده شیمیایی به نام فرومون[۱۵](در جستجوی غذا) و یا ارتباط به کمک تغییرات فیزیکی محیط (در ساخت قبرستان، ساخت لانه و مراقبت از کودکان). در روند جستجوی غذا که توانایی مورچه ها در پیدا کردن کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذا می باشد، در ابتدای حرکت، هر مورچه به صورت تصادفی در اطراف لانه به منظور یافتن منبع غذا حرکت می کند. به محض یافتن غذا، مورچه قسمتی از غذا را با خود به لانه بر می گرداند و در مسیر بازگشت به لانه در مسیری که حرکت می کند، مادهای شیمیایی به نام فرومون از خود بر جای می گذارد. ویژگی این ماده تبخیر آن بر اثر گذشت زمان می باشد. در ادامه مورچه های دیگر که به دنبال منبع غذا هستند، با استشمام بوی فرومون، با احتمال بیشتر از راهی که فرومون بیشتری دارد، عبور می کنند. البته درصدی از مورچه ها نیز ممکن است از مسیری که فرومون کمی دارد و یا فرومونی ندارد به ادامه حرکت خود بپردازند که این باعث جستجوی راه های جدید می شود. با استفاده از این قوانین ساده و ارتباط از طریق فرومون، مورچه ها قادرند در نهایت از کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذا عبور کنند. رفتار گروهی دیگر مورچه ها، ساخت قبرستان و مراقبت از کودکان می باشد که در این دو رفتار اجتماعی، مفهوم خوشه بندی و دسته بندی دیده می شود. در ساخت قبرستان، مورچه ها در لانه به صورت تصادفی حرکت می کنند و در حال تمیز کردن لانه، اجساد موجود در لانه را روی هم می چینند و در نهایت خوشه هایی از اجساد تشکیل می دهند. در رفتار مراقبت از بچه ها، کودکان در دوائر متحدالمرکزی متناسب با اندازه ی کودکان چیده می شوند. هر دایره شامل کودکان هم اندازه می باشند بطوریکه دوایر داخلی تر شامل کودکان با ابعاد کوچکتر می باشد و هر چه به سمت پیرامون حرکت می کنیم، کودکان با اندازه بزرگ تر در دوایر بیرونی قرار گرفته اند. تعامل بین مورچه ها در این بخش از طریق تغییرات فیزیکی در لانه و جابه جا کردن بخش های موجود می باشد. شکل ۱ نمایی اززندگی جمعی مورچه ها را نشان می دهد.

[۱۵] pheromone

شکل ۱- نمایی از زندگی جمعی مورچه ها

۳-۲- الگوریتم های مبتنی بر رفتار جمعی مورچه ها

الگوریتم مورچه ها شاخه ای از هوش جمعی می باشد که از رفتارهای اجتماعی کلونی مورچه ها الهام گرفته است. مورچه ها دارای رفتارهای اجتماعی متفاوتی می باشند؛ یافتن کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذا در روند جستجوی غذا، ساخت قبرستان در فرایند تمیز کردن لانه، مرتب کردن بچه ها در دوایر متحدالمرکز متناسب با اندازه بچه ها، ساخت خانه و تقسیم کار از جمله رفتارهای اجتماعی مشاهده شده در کلونی مورچه ها می باشند. تعامل بین مورچه ها در اکثر فعالیت های آنها در کلونی به صورت غیرمستقیم است که استیگمرژی[۶]نامیده می شود (انگلبرخت، ۲۰۰۷). ارتباط غیرمستقیم بین مورچه ها به دو صورت امکان پذیر است: ارتباط از طریق یک ماده شیمیایی به نام فرومون (در جستجوی غذا) و یا ارتباط به کمک تغییرات فیزیکی محیط (در ساخت قبرستان، ساخت لانه و مراقبت از کودکان). در این بحث به بررسی دو رفتار اجتماعی کلونی مورچه ها یعنی جستجوی غذا و ساخت قبرستان پرداخته می شود.

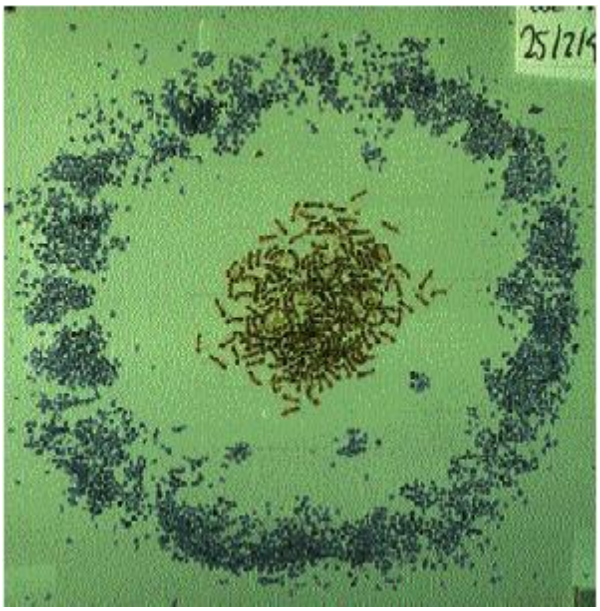
رفتار اجتماعی مورچه ها در جستجوی غذا، توانایی مورچه ها در پیدا کردن کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذا می باشد. بر مبنای این رفتار، در ابتدای حرکت، هر مورچه به صورت تصادفی در اطراف لانه به منظور یافتن منبع غذا حرکت می کند. به محض یافتن غذا، مورچه قسمتی از غذا را با خود به لانه بر می گرداند و در مسیر بازگشت به لانه در مسیری که حرکت می کند، ماده ای شیمیایی به نام فرومون از خود بر جای می گذارد. ویژگی این ماده تبخیر آن بر اثر گذشت زمان می باشد. در ادامه مورچه های دیگر که به دنبال منبع غذا هستند، با استشمام بوی فرومون، با احتمال بیشتر از راهی که فرومون بیشتری دارد، عبور می کنند. البته درصدی از مورچه ها نیز ممکن است از مسیری که فرومون کمی دارد یا فرومونی ندارد به ادامه حرکت خود بپردازند که این باعث جستجوی راه های جدید می شود. با استفاده از این قوانین ساده و ارتباط از طریق فرومون، مورچه ها قادرند در نهایت از کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذا عبور کنند. شکل ۲ نحوه ی تعامل مورچه ها در پیدا کردن غذا را نشان می دهد.

---

۶ Stigmergy

شکل ۲- نحوه تعامل مورچه ها در پیدا کردن غذا

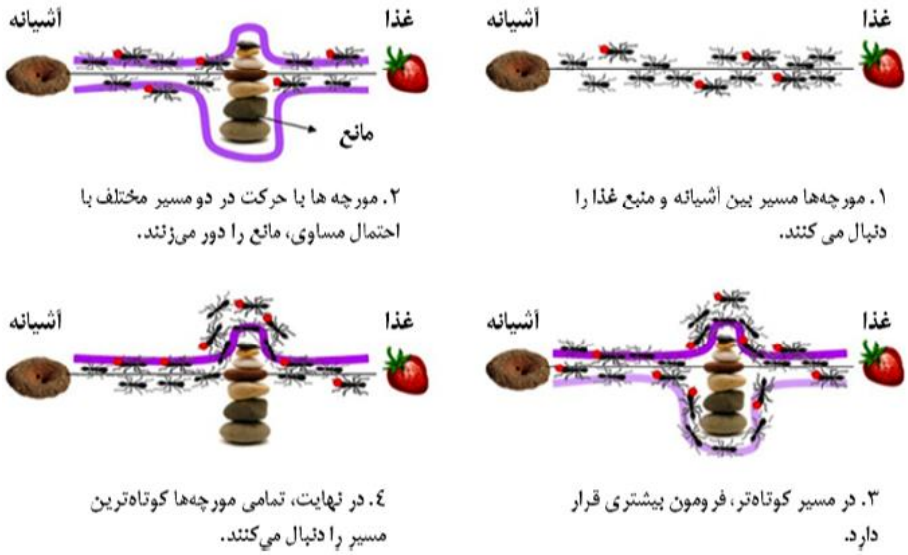
رفتار گروهی دیگر مورچه ها، ساخت قبرستان و مراقبت از کودکان می باشد که در این دو رفتار اجتماعی با عملکرد مشابه مورچه ها، مفهوم خوشه بندی و دسته بندی دیده می شود. در ساخت قبرستان، مورچه ها در لانه به صورت تصادفی حرکت میکنند و در حال تمیز کردن لانه، اجساد موجود در لانه را روی هم می چینند و در نهایت خوشه هایی از اجساد را تشکیل می دهند. در رفتار مراقبت از بچه ها، کودکان در دوایر متحدالمرکزی متناسب با اندازه ی کودکان چیده می شوند. هر دایره شامل کودکان هم اندازه می باشند؛ به طوری که دوایر داخلی تر شامل کودکان با ابعاد کوچک تر می باشد و هر چه به سمت پیرامون حرکت می کنیم، کودکان با اندازه بزرگ تر در دوایر بیرونی قرار گرفته اند. تعامل بین مورچه ها در این بخش از طریق تغییرات فیزیکی در لانه و جابه جا کردن بخش های موجود، می باشد. شکل ۳ نحوه تعامل مورچه ها در خوشه بندی را نشان می دهد.



شکل ۳- نحوه تعامل مورچه ها در خوشه بندی

۳-۲-۱- الگوریتم جستجوی غذا

معروف ترین رفتار گروهی مورچه ها که به صورت گسترده ای در مسائل مختلف بهینه سازی مورد مطالعه قرار گرفته است، نحوه ی عملکرد آنها در جستجوی غذا می باشد. مورچه ها قادرند کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذا را با کارایی بسیار بالایی پیدا کنند. در سال های اخیر الگوریتم های مختلفی در خصوص مدل سازی این رفتار و بکارگیری آن در حل مسائل بهینه سازی مختلف ارائه گردیده است (دوریگو و همکاران، ۲۰۰۹). اولین تحقیقات برای مدل کردن این رفتار در سال ۱۹۸۹ و ۱۹۹۰ با آزمایش پل دوتایی صورت گرفت(گس و همکاران، ۱۹۸۹؛ دنیوبورگ و همکاران، ۱۹۹۰). در این آزمایش، یک بار از دو پل با طول مساوی استفاده شد که در ابتدای آن مورچه ها و در انتهای آن منبع غذا قرار گرفته بود. دیده شد که اکثریت مورچه ها در نهایت از هر دو شاخه های پل به طور تقریبا یکسان عبور می کنند. در آزمایش دیگر یکی از شاخه های پل دارای طول بلندتری نسبت به شاخه دیگر طراحی شد. در ابتدا دیده شد، مورچه ها به صورت تصادفی در هر شاخه حرکت می کنند ولی با گذشت زمان، مورچه ها به سمت شاخه با طول کمتر تمایل پیدا کردند. شکل ۴ آزمایش پل دوتایی را نشان می دهد.



شکل ۴- آزمایش پل دوتایی

فرض کنید، m_1 تعداد مورچه ها در شاخه ۱ و m_2 تعداد مورچه ها در شاخه ۲ باشد. احتمال انتخاب شاخه اول برای (m+۱) اُمین مورچه طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$p_1(m+1) = \frac{(m_1+k)^h}{(m_1+k)^h+(m_2+k)^h}$$

در این رابطه، k و h به صورت تجربی تنظیم می شوند. در این رابطه تنها با توجه به تعداد مورچه ها در هر شاخه احتمال حضور در هر شاخه محاسبه می شود. این مدل پایه تلاش میکند تا رفتار مورچه های واقعی را مدل کرده و از آن در حل مسائل بهینه سازی استفاده کند. البته این مدل بسیار ساده می باشد و اثر فرومون در آن در نظر گرفته نشده است. برای مدل کردن دقیق تر کلونی مورچه های واقعی، لازم است تا ارتباطات مجازی یا ارتباط غیرمستقیم از طریق فرومون های مصنوعی بین ذرات برقرار شود. برای مدل سازی کلونی مورچه ها، چند فرض راجع به مورچه های مصنوعی در نظر می گیریم:

- مورچه های مصنوعی در فضای گسسته زندگی می کنند.
- به هنگام کردن فرومون در الگوریتم، متفاوت با کلونی واقعی مورچه ها می باشد؛ به صورتیکه گاهی به هنگام کردن فرومون تنها توسط تعداد محدودی از مورچه ها صورت می گیرد و گاهی به هنگام کردن فرومون بعد از ساخت راه حل انجام می پذیرد.
- مورچه های مصنوعی بر خلاف مورچه های واقعی قابلیت هایی مانند داشتن حافظه و جستجوی محلی دارند که در مورچه های واقعی وجود ندارد.

الگوریتم های مختلفی برای بیان مدل جستجوی غذا در سال های اخیر ارائه گردیده است (دوریگو و گامبرلا ، ۱۹۹۷؛ دوریگو و اشتوتزل ، ۲۰۰۶).

البته مراحل کلی الگوریتم ها بین مدل ها ثابت می باشد. هر چند این الگوریتم ها قابل تعمیم برای حل مسائل بهینه سازی مختلف می باشد؛ ولی برای بیان اصول آنها، عموما از مسئله فروشنده دوره گرد استفاده می شود. در این مسئله، N شهر در نظر گرفته می شود و هدف پیدا کردن کوتاه ترین مسیر بسته است که از تمام شهرها و هر شهر تنها یکبار عبور کند. برای نمایش این مسئله از یک گراف (N , E) استفاده می کنیم که N مجموعه شهرهاست و لبه های وصل کننده بین شهرها می باشد.

فرض کنیم $b_i(t)$ تعداد مورچه ها در شهر i در زمان t باشند. در نتیجه تعداد کل مورچه ها $m = \sum_{i=1}^{n} b_i(t)$ می باشد. در ابتدای الگوریتم، بر روی هر لینک مقداری فرومون به صورت اولیه قرار داده می شود. سپس هر مورچه، به صورت تصادفی بر روی یک شهرکه معادل یک نقطه در گراف است، قرار می گیرد و شروع به حرکت بین شهرها می کند. هر مورچه برای رفتن از یک شهر به شهر بعدی از تابع احتمال انتقال[۱۷] تبعیت می کند که وابسته به میزان فرومون و فاصله بین شهرها می باشد. همچنین به مورچه اجازه داده نمی شود تا از یک شهر بیش از یکبار عبور کند. قانون دیگر این است که بعد از کامل کردن مسیر، میزان فرومون موجود در اتصال ها به هنگام می شود. در ادامه به بیان مطرح ترین روش مبتنی بر الگوریتم مورچه ها با نام های Ant-System پرداخته می شود.

الگوریتم Ant System

اولین الگوریتم برای بیان رفتار جستجوی مورچه ها توسط دوریگو[۱۸]در سال ۱۹۹۶ به عنوان Ant System ارائه گردید. برای بیان این الگوریتم نیز از مسئله فروشنده دوره گرد استفاده می شود. یکی از پارامترهای مبنایی در این الگوریتم، تعداد مورچه ها است که می بایست در قدم اول نسبت به تعیین آن اقدام گردد. بعد از تنظیم این پارامتر، در ابتدای مسئله مورچه ها به صورت تصادفی بر روی نقاطی که نمایانگر شهرها هستند قرار می گیرند. در این روش بر روی هر اتصال موجود یک فرومون اولیه قرار می گیرد. برای تنظیم فرومون اولیه، می توان در همه اتصال ها از مقادیر مساوی کوچک و استفاده کرد و یا هر اتصال یک مقدار تصادفی در بازه [۰, ۱۰] داشته باشد. در صورتیکه از مقادیر تصادفی استفاده می کنیم، مقدار ما نباید بزرگ باشد. زیرا در صورت بزرگ بودن این پارامتر، مقدار فرومون بر روی برخی اتصال ها بزرگ و بر روی برخی اتصال ها کوچک می شود و در طی فرآیند مورچه ها تمایل به حرکت بر روی اتصال با فرومون بیشتر پیدا می کنند و این باعث همگرایی مورچه ها به مسیری می شود که لزوما مسیر بهینه نیست. حداکثر تعداد تکرار، پارامتر دیگری است که قبل از شروع الگوریتم باید تنظیم شود.

در هر تکرار مورچه ها برای انتقال از موقعیت کنونی به شهر بعدی از تابع احتمال طبق رابطه زیر استفاده و احتمال رفتن به تمام شهرهایی که تا کنون نرفته اند را محاسبه می کنند.

$$p_{ij}^{k}(t) = \begin{cases} \dfrac{\tau_{ij}^{\alpha}(t)\eta_{ij}^{\beta}(t)}{\sum_{j\in N_i^k}\tau_{ij}^{\alpha}(t)\eta_{ij}^{\beta}(t)} & j \in N_i^k \\ . & j \notin N_i^k \end{cases}$$

در این رابطه، $p_{ij}^{k}(t)$ احتمال انتقال مورچه k از شهر i به شهر j در زمان t می باشد. τ_{ij} چگالی فرومون متناظر با اتصال (i,j) می باشد، η_{ij} میزان مطلوبیت انتقال از شهر i به شهر j می باشد؛ که در مسئله فروشنده دوره‌گرد، متناسب با معکوس فاصله دو شهر می باشد. به این دسته از اطلاعات، اطلاعات اکتشافی[۱۹] گفته می شود. هر چه فاصله بین دو شهر کوچکتر باشد، میزان مطلوبیت انتقال بین دو شهر افزایش می یابد. N_i^k مجموعه شهرهایی است که تا کنون توسط مورچه دیده نشده است و مورچه اجازه عبور به آن شهرها را دارد. α و β پارامترهای ثابتی می باشد که به ترتیب اهمیت اطلاعات فرومون و اکتشافی را بیان می کند.

پس از محاسبه احتمال انتقال به هر یک از نقاط موجود، مورچه تصمیم می گیرد که به کدام شهر منتقل شود. برای هر مورچه یک لیست تابو[۲۰]تعریف

---

[۱۶] Transition rule
[۱۵] Dorigo

[۱۹] Heuristic Information
[۲۰] Tabu

می شود تا نقاطی که از آنها عبور کرده، در لیست ذخیره کند تا برای انتخاب نقطه بعدی، از شهرهایی که در این لیست وجود دارد، استفاده نشود و از هر شهر فقط یکبار عبور کند. زمانی که مورچه مسیر خود را کامل کرد، کیفیت مسیری که ساخته شده است، توسط تابع هدف ارزیابی می شود. در این مسئله تابع هدف طول مسیری است که مورچه ساخته است و هدف حداقل کردن این تابع می باشد.

در هر تکرار، بعد از آنکه همه مورچه ها مسیر خود را کامل کردند، می بایست تا فرومون های موجود به هنگام شود. برای این کار ابتدا درصدی از فرومون های موجود تبخیر می شود و سپس مقدار فرومون توسط مورچه ها متناسب با مسیری که ساخته اند، افزایش می یابد. میزان تبخیر با رابطه زیر بیان می شود:

$$\tau_{ij}(t) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t)$$

سپس از همه مورچه ها متناسب با مسیری که ساخته اند، مطابق رابطه زیر افزایش می یابد:

$$\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

که در آن:

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^{n_k} \Delta\tau_{ij}^k(t)$$

در این رابطه، $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ مقدار فرومون باقی گذاشته به وسیله ی مورچه ی k بر اتصال (i,j) در مرحله ی t می باشد. بر اساس میزان فرومون افزوده شده، دوریگو سه نوع[۲۱] AS را توسعه داد که هر یک در محاسبه ی $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ متفاوت است. با فرض اینکه مسئله مینیمم کردن تابع $f(x)$ می باشد، این توابع به سه شکل تعریف می شود.

اولین الگوریتم *Ant-Cycl AS* می باشد که در آن میزان فرومون افزوده شده با رابطه زیر بیان می شود:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{f(x^k(t))} & if \quad (i,j) \in x^k(t) \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

در این رابطه Q یک پارامتر مثبت ثابت و $f(x^k(t))$ کیفیت راه حل ساخته شده می باشد. در این الگوریتم میزان فرومون متناسب با کیفیت راهی است که توسط مورچه ساخته شده است و در واقع از اطلاعات کلی برای به هنگام کردن فرومون استفاده می شود. هر چه مقدار تابع کوچکتر باشد، مقدار فرومون بیشتری افزوده می شود. در صورتی که هدف ماکزیمم کردن تابع باشد، میزان فرومون افزوده شده با رابطه زیر بیان می شود:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Qf(x^k(t)) & if \quad (i,j) \in x^k(t) \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad \text{(رابطه-۷)}$$

الگوریتم دوم، Ant - Density AS می باشد که در آن میزان فرومون اضافه شده بر همه اتصال ها ثابت می باشد و از رابطه زیر برای بیان این الگوریتم استفاده می شود:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q & if \quad (i,j) \in x^k(t) \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

هر مورچه مقدار یکسانی از فرومون را بر هر اتصال مسیر ساخته شده باقی می گذارد. این روش ذاتا تعداد مورچه هایی را در نظر می گیردکه اتصال (i,j) را دنبال می کنند. چگالی بالاتر مورچه ها بر اتصال، باعث مطلوبیت بیشتر اتصال می گردد.

الگوریتم سوم، الگوریتم *Ant - Quantity AS* می باشد. در این الگوریتم از اطلاعات محلی برای به هنگام کردن فرومون استفاده می کند. از رابطه زیر این الگوریتم را بیان می کند.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{d_{ij}} & if \quad (i,j) \in x^k(t) \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

[۲] Ant System

در این رابطه تنها اطلاعات محلی d_{ij} که بیان کننده فاصله دو شهر i و j است، استفاده می شود. پس هزینه ی پایین تر اتصالات بین شهرها باعث مطلوبیت بیشتر می شود. لذا Ant-Quantity AS برای انتخاب کوتاه ترین اتصالات ترجیح داده می شود. با بررسی هایی که برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد با دو نوع متقارن و نامتقارن و مسئله Assignment Quadratic انجام گرفت، Ant-Cycle 4S بهترین نتیجه را می دهد. چون از اطلاعات کلی درباره ی کیفیت راه حل ها برای تعیین مقادیر فرومون ها استفاده می کند. برای Ant-Density و Ant- Quality جستجو توسط معیار کیفی راه حل ها هدایت نمی شود.

نحوه ی عملکرد AS در الگوریتم آورده شده است.

نحوه ی عملکرد الگوریتم AS

t=0;
Initialize all parameters, i. e. $\boldsymbol{\alpha, \beta, \rho, Q, n_k, \tau_0}$
Place all ants, k=1,…,n_k;
For each link (i,j)do
$\boldsymbol{\tau_{ij}(t) \sim U(0, \tau_0)}$*;*
End
Repeat
For each ant k=1,…,$n_k$do
$\boldsymbol{x^k(t) = \emptyset}$
repeat
From current node i, select next node j with probability as defined in equation **A05***;*
$\boldsymbol{x^k(t) = x^k(t) \cup \{(i,j)\}}$
Until full path has been constructed;
Compute f (x_k (t));
End
For each link (i,j) do
Apply evaporation using equation **A06***;*
Calculate $\boldsymbol{\Delta\tau_{ij}(t)}$ *using equation* **A13***;*
Update pheromone using equation **A07***;*
End
For each link (i,j)do
$\boldsymbol{\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t);}$
End
t=t+1;
Until stopping condition is true;
Return $\boldsymbol{x^k\ (t)}$: $\boldsymbol{f\ (x^k\ (t)) = min_{k'=1,\dots,n_k}\{f\ (x^{k'}\ (t)\}}$

بحث و نتیجه گیری

توانایی الگوریتم های مبتنی بر جستجوی غذا در کلونی مورچه ها به میزان قابل توجهی وابسته به تعیین بهینه پارامترهای مطرح در این الگوریتم ها می باشند. یکی از پارامترهای موثر در کارایی روش های مبتنی بر این الگوریتم، تعداد مورچه ها (n_k) است. یکی از تأثیرات مهم تعداد مورچه ها، در پیچیدگی های محاسباتی می باشد. هرچه مورچه ها بیشتر باشند، راه هایی که توسط آنها ساخته می شود، بیشتر می شوند و محاسبات فرومون های برجا مانده بیشتر می شود. به عنوان مثال، پیچیدگی های محاسباتی در AS برابر $O(n_c n_G^2 n_k)$ می باشد که در آن $n_c = n_t n_k$ برابر تعداد تمام حلقه، n_t برابر تعداد کل تکرارها و n_G برابر تعداد نقاط موجود در جواب می باشد (فرض کنید همه ی راه حل ها دارای تعداد مساوی نقاط هستند). موفقیت الگوریتم های جستجوی غذا به علت همکاری رفتاری چندین مورچه می باشد. در حین بر جا گذاشتن فرومون مورچه ها از تجربیات و اطلاعات یکدیگر در مورد فضای جستجو با مورچه های دیگر تبادل اطلاعات می کنند. هر چه مورچه های کمتری استفاده کنند، توانایی جستجوی کلی الگوریتم کاهش می یابد و به تبع آن اطلاعات کمتری از فضای جستجو در اختیار کل مورچه ها قرار می گیرد. همچنین تعداد کم مورچه ها می تواند باعث قرار گرفتن در بهینه های محلی یا متوقف شدن زود هنگام الگوریتم شود. استفاده از مورچه های خیلی زیاد نیز ضرورتا مفید نیست. با زیاد شدن تعداد مورچه ها ممکن است برای آنکه فرومون مسیرهای خوب تراکم بیشتری از اتصال های بد داشته باشند، زمان بیشتری صرف شود.

برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد، دوریگو و همکاران به این نتیجه رسیدند که زمانی که $n_k \approx n_G$، الگوریتم خوب کار می کند.

پارامتر دوم موجود در الگوریتم ها حداکثر تعداد تکرار، n_t می باشد. به سادگی می توان نشان داد که مقدار این پارامتر نقش مهمی را در تضمین کیفیت راه حل ایفا می کند. اگر این پارامتر کوچک باشد، ممکن است مورچه ها زمان کافی برای جستجوی فضا و پیدا کردن بهینه سراسری نداشته باشند و از طرف دیگر اگر این مقادیر بزرگ باشند، محاسبات غیرضروری انجام می شود.

پارامتر سوم، فرومون اولیه، $\tau_.$، می باشد. در طی مرحله مقداردهی اولیه، همه ی فرومون ها می توانند یک مقدار ثابت باشند یا می توان به صورت تصادفی در محدوده $[0, \tau_{max}]$ برای هر اتصال مقداری را انتخاب کرد. در حالتی که به صورت تصادفی مقادیری برای $\tau_.$ انتخاب شود، مقادیر مثبت و کوچکی انتخاب خواهد شد. در صورتی که مقادیر بزرگی برای $\tau_.$ در نظر گرفته شود، و مقادیر تصادفی از توزیع یکنواخت باشد، تراکم فرومون ممکن است به طور چشمگیری متفاوت باشد. این امر ممکن است به خاطر تمایل جانب‌دار به سوی اتصال ها با تراکم های اولیه بزرگ نسبت به اتصال هایی با تراکم های پایین فرومون باشد. در واقع باعث می شود تا مسیرها با فرومون کمتر در راه حل نهایی احتمال حضور کمتری داشته باشند.

با توجه به نکات مطرح، لازم به ذکر است که نمی توان یک جواب ثابت برای سوال چگونگی انتخاب بهینه این پارامترها ارائه داد. هر چند مطالعات تجربی زیادی بر روی مقدار این پارامترها انجام شده است، با این حال مقادیر پیشنهادی و ابتکاری می بایست با احتیاط استفاده شود. چون این مقادیر برای الگوریتم های مختلف و مسائل متفاوت بررسی شده اند و نمی توان آنها را در حالت کلی پذیرفت. برای بیشینه کردن کارآیی هر الگوریتمی در مسئله مورد نظر، مقدار پارامترهای کنترل الگوریتم باید بهینه شوند.

منابع

[1] C. P. Lim, L. C. Jain, and S. Dehuri, *Innovations in Swarm Intelligence*. Berlin: Springer, 2009.

[2] E. Bonabeau and C. Meyer, "Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think about Business," *Harv. Bus. Rev.*, vol. 79, pp. 106-114,165, Jun. 2001.

[3] E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz, *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, 1999.

[4] A. Sharkey, "Robots, insects and swarm intelligence," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 26, pp. 255–268, Dec. 2006.

[۵] ک. ع. شمامی, ق. ا. ا. وردی و ش. ا. ش. ب. ماسوله, "برآورد تقاضای انرژی در ایران با رویکرد بهینه سازی کلونی مورچه "aco, دانشگاه آزاد اسلامی, ۱۳۹۱.

[۶] ع. قنبری, م. خضری ,و ل. عبدالله زاده, "شبیه سازی تابع عرضه ی سرمایه گذاری مستقیم خارجی (FDI) در ایران با استفاده از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه‌ها "(ACO), *تحقیقات اقتصادی*, vol. 45, no. 4, pp. 109–131, 2011.

[۷] ح. حسین‌زاده, ع. افشار و ف. شریفی, "تخصیص بهینه بار آلودگی چند هدفه با استفاده از الگوریتم چند جامعه‌ای مورچه‌ها," *تحقیقات منابع آب ایران*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, 2010.

[۸] ر. قاضی و ا. عرب پور, "برنامه ریزی توان راکتیو چند هدفه درشبکه های قدرت با استفاده از روش کلونی مورچه شتاب یافته و وزن دهی سلسله مراتبی," *دانشکده فنی دانشگاه تهران*, Nov. 2006.

[۹] ح. تقی زاده و م. همت فر, "بررسی کاربرد الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان پیوسته در پیش بینی ورشکستگی شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران," *دانش حسابرسی*, vol. 15, no. 59 #a00218, p. 0, 1394.

[۱۰] ج. شهرکی, ع. سردارشهرکی و ص. نوری, "کاربرد الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی کلونی مورچه در تخصیص بهینهٔ منابع آب چاه نیمهٔ سیستان تحت سناریوهای مدیریتی," *اکوهیدرولوژی*, vol. 5, no. 4, pp. 1063–1078, 2018.

[۱۱] ا. باغانی, م. و. زوج و م. مختارزاده, "تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از توابع کسری بهینه‌سازی‌شده به‌وسیلهٔ الگوریتم کلونی مورچه‌ها," *سنجش از دور و GIS ایران*, vol. 7, no. 2, pp. 1–18, 1394.

[۱۲] ز. معصومی, ا. ص. نیارکی و م. مسگری, "به کارگیری الگوریتم کلونی مورچه چند معیاره در سیستم های حمل و نقل هوشمند و کاربر مبنا," *پژوهشنامه حمل و نقل*, vol. 8, no. 1, 1390.

[13] A. P. Engelbrecht, *Computational Intelligence: An Introduction*, 2nd Editio. Wiley, 2007.

[14] M. Mathur, S. Karale, S. Priye, J. Valadi, and B. Kulkarni, "Ant Colony Approach to Continuous Function Optimization," *Ind. Eng. Chem. Res. - IND ENG CHEM RES*, vol. 39, Sep. 2000.

[15] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colorni, "Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Trans Syst Man Cybernetics - Part B," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. B. Cybern.*, vol. 26, pp. 29–41, Feb. 1996.

[16] S. Goss, S. Aron, J. L. Deneubourg, and J. M. Pasteels, "Self-organized shortcuts in the Argentine ant," *Naturwissenschaften*, vol. 76, no. 12, pp. ۵۷۹–۵۸۱, ۱۹۸۹.

[17] J.-L. Deneubourg, S. Aron, S. Goss, and J. Pasteels, "The Self-Organizing Exploratory Pattern of the Argentine Ant," *J. Insect Behav.*, vol. 3, p. 159,

Mar. 1990.

[18] M. Dorigo and L. M. Gambardella, “Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem,” *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 1, no. 1, pp. 53–6۶, ۱۹۹۷.

[19] M. Dorigo and T. Stützle, “The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances,” vol. 37, 2006, pp. 250–285.

Application of ant colony optimization method in GIS

Mohsen Ghods, Hossein Aghamohammadi, Alireza Vafaei Nejad, Saeed Behzadi, Alireza gharagozlu

Swarm intelligence is one of the new growing methods that is considered in artificial intelligence as a function of the social interaction of components. The Basics of swarm intelligence are based on the study of the behavior of social organisms such as some insects (bees, ants, termites) or even humans. The issue of using meta-heuristic methods for application in hybrid optimization problems is a rapidly growing field of research. This is due to the importance of hybrid optimization issues in the world of industry and science. In recent years, one of the most important and promising researches has been "supra-innovative methods derived from nature", which has had very good results in solving problems of combined problems. Meta-heuristic algorithms are used to solve a problem when, as the size of the problem increases dramatically, so-called NP-hard problems. One of the most widely used meta-innovative methods in this field is the ant colony optimization algorithm, which is used today in solving the problems of spatial resource allocation, routing, and location in GIS environments. In this research, while examining the ant colony algorithm, its expression and parameters required for use in the GIS environment are discussed. The ability of algorithms based on food search in the ant colony algorithm is significantly dependent on the optimal determination of the parameters in these algorithms.

Keywords: colony optimization, Swarm intelligence ,GIS