نشریه‌ی علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

کاربرد الگوریتم ACO در مدیریت طراحی و تجهیز ایمن و بهینه کارگاه‌های شهری

پیمانه عسگری[1*]؛ نهال گودرزی[2]

استادیار، گروه مدیریت دولتی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران، (نویسنده مسئول)
کارشناس ارشد، گروه مدیریت پروژه، دانشکده معماری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

واژگان کلیدی

تجهیز ایمن، الگوریتم، کلونی مورچگان، بهینه‌سازی، کارگاه‌های شهری

چکیده

معماران شهری به‌منظور طراحی فضاهای عمومی و اختصاصی در شهرها به دنبال پیاده‌سازی سیستم‌های ساده و جدید جهت افزایش ایمنی در سایت‌های ساختمانی هستند. ارائه زیرساخت فیزیکی مناسب در کارگاه‌های شهری که بتواند سلامت و ایمنی کارگران، محیط‌زیست شهری و بهره‌وری عملکرد کارگاه را تضمین کند یکی از چالش‌های مهم در طراحی و تجهیز سایت‌های ساختمانی در یک شهر ایمن است. این پژوهش با هدف بهبود ایمنی و بهینه کارگاه‌های ساختمانی شهری از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان استفاده می‌کند. این الگوریتم که مبتنی بر تکرار است از نشانگرهای مورچه‌های مصنوعی که از فرومون مورچه‌های طبیعی الهام گرفته است برای انتخاب بهینه‌ترین طراحی و چیدمان تسهیلات کارگاهی استفاده می‌کند. این امر با استفاده از اطلاعات اکتشافی مبتنی بر هزینه جریان و هزینه جابه‌جایی در بازه‌های مختلف زمانی صورت می‌گیرد. این الگوریتم با تعیین رابطه غالب بین پاسخ‌ها که پارامتر کلیدی برای جستجوی الگوریتم است عمل می‌کند. روش پژوهش توصیفی اکتشافی و از نوع مطالعه موردی در یک کارگاه ساختمانی می‌باشد که می‌توان مدل را با فرض پارامترهای مناسب محقق کرد. در این کارگاه ساختمانی شهری، توسط الگوریتم مورچه‌های مصنوعی برای چیدمان ایمن و بهینه تسهیلات ساختمانی چهار سناریو ارائه شد که بهینه‌ترین طراحی، سناریوی شماره ۱، با توجه به هزینه مینیمم ۲۴۹۶ بهترین مورد جهت چیدمان تسهیلات پویا نتیجه‌گیری گردید.

۱- پیش‌گفتار

یکی از مهم‌ترین مسائل و چالش‌ها در یک شهر ایمن، حفاظت از منابع انسانی در محیط‌های کاری پرخطر می‌باشد. کارگاه‌های ساختمانی یکی از مهم‌ترین مکان‌هایی هستند که کارگران و متخصصین در معرض سوانح و تصادفات بسیاری قرار دارند. جانمایی و چیدمان ایمن و بهینه تأسیسات که در این مقاله با نام تسهیلات (*Facility*) از آنها یاد می‌شود، یکی از مسائل مهم مدیریت کارگاه‌های ساختمانی شهری برای رسیدن به یک شهر ایمن می‌باشد. یکی از راهکارهای پیشگیری و حفاظت از منابع انسانی و محیط‌زیست شهری، تجهیز ایمن و طراحی بهینه کارگاه‌های ساختمانی در شهرها است. در مدیریت برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی از بهینه‌سازی کلونی مورچگان (*ACO: Ant Colony Optimization*) استفاده می‌شود که در آن از فرومون مورچه‌های مصنوعی که از مورچه‌های واقعی و رفتار جمعی آنها الهام گرفته شده استفاده می‌شود. در بهینه‌سازی کلونی مورچگان اثر فرومون مثل اطلاعات عددی عمل می‌کند که در فضای جواب توزیع شده‌اند و مورچه پاسخ‌هایی را به‌صورت احتمالی برای مسئله می‌سازد و در هنگام اجرای الگوریتم از آن استفاده می‌شود. این الگوریتم به‌طور گسترده‌ای در حل مسائل ترکیبی به کار می‌رود که مهم‌ترین آنها شامل مشکلات مدیریت و

* رایانامه: *peymanehasgari@pnu.ac.ir*

برنامه‌ریزی کارگاه‌ها، مشکلات مسیریابی وسایل نقلیه و مشکلات مسیریابی شبکه است. در مدیریت یک شهر ایمن، چیدمان مناسب تجهیزات در کارگاه‌های ساختمانی شهری یک فعالیت حیاتی به شمار می‌رود که می‌بایست در ابتدای پروژه به آن توجه کامل شود. محققان بسیاری درباره اهمیت «طراحی ایمن» تحقیق کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که به‌وسیله مدیریت طراحی و تجهیز ایمن کارگاه‌ها می‌توان از بیشتر تصادفات و ریسک‌های جدی منابع انسانی جلوگیری کرد. کنترل و توجه به کلیه وسایل موجود در کارگاه و ایجاد یک کارگاه امن، می‌تواند به‌وسیله طراحی توابع هدف مبتنی بر ملاحظات و الزامات ایمنی مانند به حداقل رساندن حوادث با بهینه‌سازی مکان‌های امن برای جرثقیل‌های برجی، کاهش برخورد در مسیرهای پر رفت‌وآمد، تعیین نقاط ایمنی طبق مقررات و کاهش آلودگی صوتی در کارگاه عملی شود. سؤال اصلی این پژوهش این است که آیا می‌توان با استفاده از الگوریتمی که توسط مورچگان مصنوعی ایجاد می‌شود، بهینه‌ترین طراحی را در کارگاه‌های ساختمانی پیدا کرد؟

امکانات کارگاهی از دو نوع ثابت و متحرک تشکیل شده‌اند (احمد؛ اکبرنژاد، ۲۰۱۶). ماشین‌آلات و تجهیزات سنگین مانند جرثقیل جز دسته ماشین‌آلات ثابت هستند زیرا دستمزد نصب آن زیاد است و محل یک جرثقیل برجی به بزرگی مواد و مصالح، قابلیت بلند کردن و محدودیت‌های ارتفاعی وابسته است؛ بنابراین به‌راحتی امکان تغییر محل آن وجود ندارد. بالابرهای مخصوص حمل مصالح نیز جزو تجهیزات ثابت هستند. تأسیسات ثابت در محیط‌های کارگاهی همواره به‌عنوان منابع خطر شناخته می‌شوند؛ بنابراین باید یک تعامل ایمن با سایر تجهیزات کارگاهی داشته باشند (معصومی؛ منتظری، ۲۰۱۳). تسهیلات موقت می‌توانند سروصدا، گردوخاک و مواد پرخطر تولید کنند و از این‌رو می‌توانند منابع پرخطر باشند. سروصدا نه‌تنها سبب مشکلات شنوایی می‌شود بلکه عوارضی مثل فشار خون بالا، بیماری‌های قلبی و امراض دیگر را به دنبال دارد. به‌خصوص می‌توانند سبب حواس‌پرتی شوند که دلیل ریشه‌ای انواع حوادث مرتبط با امنیت منابع انسانی است. در کارگاه‌های ساختمانی اغلب مواد پرخطر مصرف می‌شوند و منابع انسانی از جمله کارگران و مهندسین ساختمان را در معرض خطرات ایمنی قرار می‌دهند. گردوخاک بین تسهیلات روی هم انباشته و برای پرسنل زیان‌آور خواهد بود و به همین دلیل یک خطر احتمالی در رابطه با ایمنی و سلامت منابع انسانی محسوب می‌شوند (نینگ؛ جینگیان، ۲۰۱۸).

پژوهش‌های بسیاری به روش الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان توسط محققان داخلی و خارجی صورت گرفته است. از جمله پژوهش‌های داخلی می‌توان به «بهینه‌سازی کیفیت پروژه‌های عمرانی از طریق تئوری پایایی سیستم‌ها با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان»، سعید نجفی زنگنه و همکاران (۱۳۹۹) و «کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه‌سازی الگوی کشت شهرستان کرمان» علی دهقانی و همکاران (۱۳۹۸) و «یادگیری از جامعه مورچگان در بهینه‌سازی دیوارهای حایل بتنی»، محمود قضاوی (۱۳۹۰) و «الگوریتم فرا ابتکاری کلونی مورچگان برای مسئله مسیریابی اتوبوس مدرسه»، وجیهه قنبری و همکاران (۱۳۹۵) و «الگوریتم نمونه اصلاحی مورچگان برای حل مسئله چندین فروشنده دوره‌گرد»، مجید یوسفی خوشبخت و همکاران (۱۳۹۰) و «لبه یابی تصاویر نویزی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان»، زهره درآنی و همکاران (۱۳۹۵) و «برنامه‌ریزی توسعه توأم پست‌ها و خطوط فوق توزیع به کمک الگوریتم‌های ژنتیک *GA*، اجتماع مورچگان *AC* و ترکیب ژنتیک با اجتماع مورچگان *GA & AC*»، وحید امیر و همکاران (۱۳۸۷) و «الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان بر مبنای گرادیان برای فضاهای پیوسته»، مهدی افتخاری و همکاران (۱۳۸۵) و همچنین پژوهش‌های خارجی از جمله پیرت و کاتان (۲۰۲۱)؛ دنگ و همکاران (۲۰۱۹)؛ سوشا و دوریگو (۲۰۱۸)؛ ورداگر (۲۰۱۶)؛ سلستین (۲۰۱۸)؛ گالبازار (۲۰۱۶)؛ افشار و مارینو (۲۰۱۵)؛ محمود و همکاران (۲۰۲۲)؛ دینی و همکاران (۲۰۲۰)؛ رامالینگام و همکاران (۲۰۲۱)؛ دبی و همکاران (۲۰۲۱)؛ سلیما و همکاران (۲۰۱۹)؛ شیانگ و یانگ (۲۰۲۱)؛ پانوار و همکاران (۲۰۱۸)؛ راگمانی و همکاران (۲۰۲۰)؛ گوئن و همکاران (۲۰۲۲)؛ مالار و همکاران (۲۰۲۱) انجام شده است که اشتراک این تحقیقات در روش‌های مورد مطالعه می‌باشد. جنبه نوآوری

این مقاله طراحی و تعیین بهترین چیدمان تسهیلات در کارگاه‌های شهری با در نظر گرفتن حداقل هزینه می‌باشد که تاکنون به آن پرداخته نشده است.

۲- مبانی نظری

الگوریتم تئوری مورچگان (*ACO*): الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان (*Ant Colony Optimization*)، برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط مارکو دوریگو (*Marco Dorigo*) پیشنهاد شد. این الگوریتم یک الگوریتم ابداعی و اکتشافی است که از رفتار جمعی مورچه‌های واقعی در طبیعت الهام گرفته است و به‌عنوان یک راه‌حل چند عامله برای حل مسائل بهینه‌سازی ارائه شده است. هوشمندی ظریفی در الگوریتم مورچگان وجود دارد که عمدتاً بر اساس میزان مناسب بودن پاسخ‌های تولید شده توسط کلونی است (میرزایی؛ بشیری، ۱۳۸۹). مورچه‌ها با آنکه فاقد قدرت بینایی‌اند، می‌توانند کوتاه‌ترین مسیر از منبع تغذیه تا لانه خویش را با استفاده از مواد شیمیایی بنام «فرومون» که در هنگام حرکت از خود بر جای می‌گذارند پیدا کنند. این ماده به‌زودی تبخیر می‌شود ولی در کوتاه‌مدت به‌عنوان رد مورچه بر سطح زمین باقی می‌ماند (معصومی؛ منتظری، ۲۰۱۳). تبخیر فرومون فرآیندی است که به‌وسیله آن شدت فرومون موجود بر روی مؤلفه‌ها کاهش می‌یابد. تبخیر فرومون از همگرایی سریع الگوریتم در یک مکان بهینه جلوگیری می‌کند و در حقیقت یک نوع فراموشی است که کمک می‌کند تا نواحی جدیدی از فضای جواب کاوش گردند (سپهری؛ رحیمی مقدم، ۲۰۱۶). الگوریتم (*ACO*) از تعدادی تکرار تشکیل شده است. در هر تکرار تعدادی از مورچه‌ها راه‌حل‌های کاملی را با استفاده از اطلاعات اکتشافی و تجارب جمع‌آوری‌شده از جمعیت‌های قبلی مورچه‌ها ایجاد می‌کنند (دنگ و همکاران، ۲۰۱۹). در رفتار واقعی مورچگان، انتخاب مسیر به دو عاملِ انتخاب مورچه و میزان فرومون باقی‌مانده بستگی دارد. هر مورچه به اندازه معکوس مسیری که رفته است فرومون می‌ریزد (یعنی هرچقدر مورچه از مسیر طولانی‌تر رفته باشد، کمتر در آن مسیر فرومون می‌ریزد (دوریگو؛ سوشا، ۲۰۱۸). باید توجه داشت میزان تبخیر فرومون در کلونی مورچگان در بازه بین ۰ و ۱ متغیر است. اگر این میزان برابر ۱ باشد یعنی کل فرومون تبخیر شده و اگر ۰ باشد یعنی هیچ مقداری از فرومون تبخیر نشده است. این قضیه می‌تواند به مسیریابی بیشتر مسائل تعمیم داده شود. در حل مسائل بهینه‌یابی از مورچه‌های مصنوعی استفاده می‌شود که نشانگرهایی از خود به‌جا می‌گذارند. عامل هوشمند از طریق حسگرها قادر به درک پیرامون خود بوده و از طریق تأثیرگذارنده‌ها می‌توانند روی محیط تأثیر بگذارند (دوریگو، ۱۹۹۲). الگوریتم‌های مختلفی برای حل مسائل بهینه‌سازی کارگاهی به کار گرفته می‌شود که شامل: ۱) الگوریتم کلونی مورچگان ۲) الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبورهای مصنوعی ۳) الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات ۴) الگوریتم جستجوی هارمونی ۵) الگوریتم صفحه برش (پیرت؛ کاتان، ۲۰۲۱)

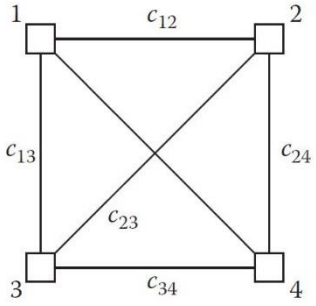
تحقیقات نشان داده‌اند که الگوریتم *ACO* در حل مسائل و مدیریت بهینه‌سازی، عملکرد زیادی دارد. الگوریتم *ACO* بر فعالیت‌های افراد و بازخورد اطلاعات از جانب آنان متکی است (دنگ و همکاران، ۲۰۱۹).

ویژگی الگوریتم مورچگان عبارتند از:

۱. محاسبات توزیع شده (*Distributed*).
۲. بازخورد مثبت (*Positive Feedback*)
۳. جستجوی اکتشافی (*Heuristic Search*)

کاربرد امروزه الگوریتم‌های *ACO* در دو دسته مهم از مسائل جای می‌گیرند: مسائل بهینه‌سازی ترکیبی ایستا و پویا. مسائل ایستا آنهایی هستند که شکل کلی مسئله و هزینه آنها در طی حل مسئله تغییری نمی‌کند. مثلاً مسئله فروشنده دوره‌گرد در حالتی که مکان شهرها و فاصله میان شهرها در هنگام حل مسئله تغییری نمی‌کند از این دسته است؛ اما در مسائل پویا، شکل مسئله و هزینه در هنگام تولید جواب‌ها می‌تواند تغییر کند. یک مثال برای چنین مسئله‌ای مسیریابی در شبکه‌های ارتباطات است که در آن الگوی تردد در مسیرها به‌صورت مداوم در حال تغییر هستند. الگوریتم‌های *ACO* برای حل این دو دسته از مسائل در نگاه کلی بسیار مشابه هستند ولی در جزئیات اجرا و پیاده‌سازی، تفاوت‌های عمده‌ای دارند. یکی از ساده‌ترین مسائلی که نشان می‌دهد الگوریتم فرا ابتکاری *ACO* چگونه کار می‌کند، مسئله فروشنده دوره‌گرد (*TSP: Travelling Salesman Problem*)

می‌باشد (دوریگو؛ سوشا، ۲۰۱۸) این مسئله شامل مجموعه‌ای از مکان‌ها (شهرها) و یک فروشنده دوره‌گرد است که باید از همه مکان‌ها بازدید کند. این فروشنده دو محدودیت دارد: ۱) فروشنده موظف است یک بار و تنها یک بار از هر شهر دیدن کند و به مکان اولیه خود بازگردد؛ ۲) فواصل بین مکان‌ها داده شده است و وظیفه فروشنده یافتن یک تور همیلتونی یعنی با حداقل طول و مسیر می‌باشد. کاربرد *ACO* در مسئله فروشنده دوره‌گرد آسان است زیرا هر حرکت میان شهرها بخشی از راه‌حل می‌باشد. این مسئله به‌وسیله یک گراف جهت‌دار $G = (V,E)$ بیان می‌شود که در آن V شامل مجموعه‌ای از شهرها و E بیانگر مجموعه از یال‌های ارتباطی بین شهرهاست. میزان فرومون وابسته به مجموعه مسیرهای ارتباطی E می‌باشد (دوریگو؛ سوشا، ۲۰۱۸).



شکل ۱- نمونه‌ای از یک گراف ۴ شهره.

گراسه (*Pierre Val Grasse*) حشره‌شناس فرانسوی، یکی از اولین محققانی بود که در دهه‌های ۵۰ و ۶۰، رفتار اجتماعی حشرات را بررسی کرد. در بسیاری از گونه‌های مورچگان، هنگامی‌که مورچگان به سمت ذخایر غذایی حرکت می‌کنند ماده‌ای به نام فرومون (*Pheromone*) را روی زمین از خود به‌جا می‌گذارند. سایر مورچه‌ها قادرند بوی ناشی از این ماده را حس کنند. وجود این فرومون‌ها بر مسیری که مورچگان انتخاب می‌کنند تأثیرگذار می‌باشد. ردهایی که از مورچگان به‌جا می‌مانند پس از باران به رنگ سفید درمی‌آیند و قابل‌رؤیت‌اند. مورچه‌های دیگر وقتی این مسیر را می‌یابند، گاه پرسه زدن را رها کرده و آن را دنبال می‌کنند. سپس اگر به غذا برسند به خانه برمی‌گردند و رد دیگری از خود در کنار رد قبل می‌گذارند و به عبارتی مسیر قبل را تقویت می‌کنند؛ بنابراین هرچه مسیری بیشتر برای مورچگان جذابیت داشته باشد رد فرومون به‌جا مانده در آن مسیر بیشتر می‌باشد و فرومون باقی‌مانده در مسیرهای با جذابیت کمتر به‌مرور تبخیر شده که این امر باعث می‌شود آن مسیر از چرخه حرکت مورچگان کنار رود. زیرا مورچه‌ها ترجیح می‌دهند مسیری که مقدار بیشتری فرومون در آن رسوب کرده را دنبال کنند و به‌نوعی این ماده مورچه‌های بیشتری را به سمت خود جذب می‌کند. این فرمون‌ها رفته‌رفته به سبب عبور مورچه‌ها بیشتر تقویت شده تا زمانی که مورچه‌ها به سمت یک مسیر همگرا شوند (دوریگو؛ سوشا، ۲۰۱۸). این تجربیات جمع‌آوری شده با استفاده از دنباله فرومونی که در مسیرها باقی‌مانده است به دست می‌آیند. راه‌حل موجود برای قانون و نحوه به‌روزرسانی فرومون در زیر اشاره می‌شود. برای ارتقا کیفیت جواب‌های حاصله مسیر فرومون‌ها باید بروز رسانی محلی و به‌روزرسانی (*Local Updating and Global Updating*) جهانی شوند.

دلتا در فرمول زیر میزان فرومون اضافه شده توسط مورچه k در زمان t است و p نرخ تبخیر دنباله فرومونی می‌باشد که مقدار عددی آن از صفر تا یک متغیر است. (r, s) مسیر بین r و s می‌باشد.

$$\Delta\tau_k(r,s) = \begin{cases} \dfrac{Q}{L_k} & (r,s) \in \pi_k \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۱)$$

$$\tau(r,u) = (1-\rho) - \tau(r,s) + \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_k(r,s)$$

به‌روزرسانی محلی هنگامی است که یک مورچه مسیر خود را بین دو گره می‌پیماید و مقدار فرومون همان مسیر توسط فرومون محلی به‌روزرسانی می‌شود. بعد از آنکه همه مورچه‌ها مسیر خود را انتخاب و به پایان رساندند، به‌روزرسانی فرومون جهانی برای تعیین بهترین راه‌حل ایجاد شده تاکنون، اعمال می‌شود. در زمان تکمیل، هزینه کل تمامی راه‌های ایجاد شده ارزیابی می‌شود و میزان فرومون مسیر منتخب به‌مراتب از سایر مسیرها بیشتر است (دنگ و همکاران، ۲۰۱۹).

مراحل کار *ACO*: ۱) هر مورچه به‌طور تصادفی از یک

مکان (یکی از رئوس گراف) حرکت خود را شروع می‌کند؛ بدین‌ترتیب همه مورچه‌ها حرکت خود را به‌طور تصادفی انجام می‌دهند؛ ۲) هر مورچه مسیری که طی کرده است را به خاطر می‌سپارد و در حرکت بعدی مسیری را انتخاب می‌کند که به شهری که قبلاً بازدید کرده است منتهی نشود. بدین‌ترتیب هر مورچه با هر حرکت یک راه‌حل ایجاد می‌کند؛ ۳) در هر مرحله از فرایند ساخت مسیر، هر مورچه به‌صورت احتمالی یک مسیر از مسیرهای در دسترس را انتخاب می‌کند؛ ۴) پس از آن‌که تمامی مورچه‌ها تور خود را انجام دادند، میزان فرومون به‌طورکلی به‌روزرسانی می‌شود که این امر تا آخرین تکرار برای یافتن بهترین مسیر انتخاب می‌شود (دوریگو؛ سوشا، ۲۰۱۸). بهینه‌سازی پارتو (*Pareto Optimization*) یا بهینه‌سازی چندهدفه با نام‌های دیگری نظیر بهینه‌سازی برداری (*Vector Optimization*) و بهینه‌سازی چند معیاری نیز شناخته می‌شود.

مدیریت طراحی ایمن و بهینه: در مدیریت طراحی و تجهیز ایمن برای چیدمان مناسب در سایت‌های مربوط به عملیات مختلف از جمله ساخت‌وساز و به بیانی دیگر برنامه‌ریزی برای چیدمان و تجهیز ایمن در کارگاه‌ها، یک فعالیت حیاتی است که در حالت ایده‌آل، باید در اوایل پروژه و پیش از ساخت به آن توجه کامل شود. محققان بسیاری درباره اهمیت «طراحی ایمن» تحقیق کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که به‌وسیله مدیریت طراحی و تجهیز ایمن کارگاه‌ها می‌توان از بیشتر تصادفات و ریسک‌های جدی منابع انسانی جلوگیری کرد (نینگ؛ جینگیان، ۲۰۱۸).

کنترل و توجه به کلیه وسایل موجود در کارگاه و طراحی بهینه و ایجاد یک کارگاه ایمن، می‌تواند به‌وسیله طراحی توابع هدف مبتنی بر ملاحظات و الزامات ایمنی مانند به حداقل رساندن حوادث با بهینه‌سازی مکان‌های امن برای جرثقیل‌های برجی، کاهش برخورد در مسیرهای پر رفت‌وآمد، تعیین نقاط ایمنی طبق مقررات و کاهش آلودگی صوتی در کارگاه عملی شود. امکانات کارگاهی از دو نوع ثابت و متحرک تشکیل شده‌اند. ماشین‌آلات و تجهیزات سنگین مانند جرثقیل جزو دسته ماشین‌آلات ثابت هستند زیرا دستمزد نصب آن زیاد است و محل یک جرثقیل برجی به بزرگی مواد و مصالح، قابلیت بلند کردن و محدودیت‌های ارتفاعی وابسته است؛ بنابراین به‌راحتی امکان تغییر محل آن وجود ندارد. بالابرهای مخصوص حمل مصالح نیز جزو تجهیزات ثابت هستند. تأسیسات ثابت در محیط‌های کارگاهی همواره به‌عنوان منابع خطر شناخته می‌شوند و بنابراین باید یک تعامل ایمن با سایر تجهیزات کارگاهی داشته باشند (نینگ؛ جینگیان، ۲۰۱۸). تسهیلات موقت می‌توانند سر و صدا، گردوخاک و مواد پرخطر تولید کنند و از این‌رو می‌توانند منابع پرخطری باشند. سروصدا نه‌تنها سبب مشکلات شنوایی می‌شود بلکه عوارضی مثل فشار خون بالا، بیماری‌های قلبی و امراض دیگر را به دنبال دارد. به خصوص می‌توانند سبب حواس‌پرتی شوند که دلیل ریشه‌ای انواع حوادث مرتبط با امنیت منابع انسانی است. مواد پرخطر اغلب در کارگاه‌های ساختمانی گذاشته و مصرف می‌شوند و منابع انسانی از جمله کارگران و مهندسین ساختمان را در معرض خطرات ایمنی قرار می‌دهند. گردوخاک بین تسهیلات روی هم انباشته و برای پرسنل زیان‌آور خواهد بود و به همین دلیل یک خطر احتمالی در رابطه با ایمنی و سلامت منابع انسانی محسوب می‌شود (نینگ؛ جینگیان، ۲۰۱۸).

۳- معرفی توابع هدف

۳-۱- رابطه ایمنی جغرافیایی (*Geographic Safety Relationship*)

مورد اول ریسک‌های مرتبط با لوکیشن تجهیزات است و به تسهیلات ثابت (*Fixed Facility*) مربوط می‌شود زیرا در تأسیسات ثابت، ریسک‌های بالقوه برخاسته از محلی است که توسط این تأسیسات اشغال می‌شود.

۳-۲- رابطه ایمنی تأسیسات (*Facility Safety Relationship*)

مورد دوم بستگی به جریان تعاملی موجود بین تأسیسات مختلف دارد و ریسک موجود به‌وسیله افزایش تقاضا برای کار افراد مختلف در یک جبهه افزایش می‌یابد.

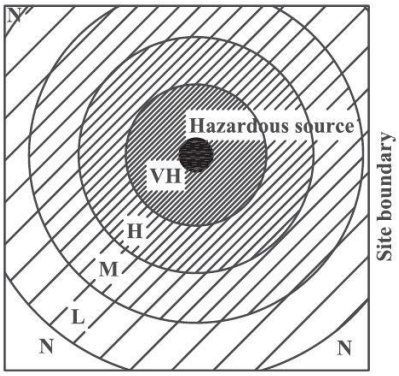
۳-۳- هزینه حمل‌ونقل کل منابع (*Total Resources Transportation Cost*)

هزینه‌های ساخت همواره یک عامل ضروری برای مدیریت ساخت می‌باشد؛ بنابراین تلاش برای کاهش هزینه کل ایجاد

شده برای انتقال کلیه تشکیلات موجود در کارگاه هدفی مهم می‌باشد (نینگ؛ جینگیان، ۲۰۱۸).

۳-۴- تابع هدف شماره ۱ در رابطه ایمنی جغرافیایی

ریسکی که منابع انسانی را تهدید می‌کند تحت تأثیر فاصله بین منابع خطر مثل جرثقیل برجی، بالابر و... و همچنین تأسیسات خطرناکی است که تولید صدا و گردوغبار و... می‌کنند. این ریسک زمانی کاهش می‌یابد که فاصله بین تأسیسات از منابع و منابع خطر زیاد شود. برای ارزیابی میزان این ریسک، یک رابطه خطی بین درجه ریسک و فاصله از منابع خطر وجود دارد. درجه ریسک با توجه به فاصله از منبع خطر با عبارات *NO*، *L*، *ME*، *H*، *VH* بیان می‌شود.



شکل ۲- رابطه ایمنی جغرافیایی (مرز سایت (*Site Boundary*)).

بنابراین برای ارتقای سطح ایمنی منابع انسانی در کارگاه‌ها، تأسیسات موجود برای کاهش درجه ریسک تا حد امکان باید در مکان‌هایی قرار بگیرند که دورتر از منابع خطر باشند. بدین‌منظور برای تحقق تابع هدف اول فرمول زیر برقرار می‌باشد: در رابطه زیر، *F1* تابع هدف اول است که وابسته به لوکیشن جغرافیایی تأسیسات می‌باشد. *r1i* هم ارزش فرض شده برای درجه ریسک است زمانی که *Facility i* که *i=(1,2,...,m)* به هرکدام از نواحی خطری که متناظر با سطوح ریسک (*N*، *L*، *M*، *H*، *VH*)، درجه خاصی از ریسک دارند، اختصاص می‌یابد.

در رابطه زیر، *F1* تابع هدف اول است که وابسته به لوکیشن جغرافیایی تأسیسات می‌باشد. *r1i* هم ارزش فرض شده برای درجه ریسک است زمانی که *Facility i* که *i=(1,2,...,m)* به هرکدام از نواحی خطری که متناظر با سطوح ریسک (*N*، *L*، *M*، *H*، *VH*)، درجه خاصی از ریسک دارند، اختصاص می‌یابد [۱]. بنابراین با توجه به نظر محققان و جدول ۱، مقادیر فرضی سطوح ریسک *VH*، *H*، *M*، *L*، *N* نیز به‌ترتیب ۲۴۳، ۸۱، ۲۷، ۹ و ۳ در نظر گرفته می‌شوند. *rli* برای هر یک از تسهیلات، جمع وزنی سطح ریسک منابع پرخطر مختلف است.

$$F_1 = \min \sum_{i=1}^{m} r_{1i} \qquad (۲)$$

جدول ۱-

ارزش فرضی (*Assumed Value*)	سطح ارزیابی (*Assessment Level*)	محدوده دسته‌ها (*Categories Range*)
۲۴۳	*VH*	(٪۱۰۰، ٪۸۰)
۸۱	*H*	(٪۸۰، ٪۶۰)
۲۷	*M*	(٪۶۰، ٪۴۰)
۹	*L*	(٪۴۰، ٪۲۰)
۳	*N*	(٪۲۰، ۰)
ارزش فرضی (*Assumed Value*)	**سطح ارزیابی (*Assessment Level*)**	**محدوده دسته‌ها (*Categories Range*)**
۲۴۳	*VH*	(٪۱۰۰، ٪۸۰)
۸۱	*H*	(٪۸۰، ٪۶۰)
۲۷	*M*	(٪۶۰، ٪۴۰)
۹	*L*	(٪۴۰، ٪۲۰)
۳	*N*	(٪۲۰، ۰)

۳-۵- تابع هدف شماره ۲ در رابطه ایمنی تأسیسات (*Facility Safety Relationship*)

این تابع هدف، ریسکی است که برخاسته از جریان‌های کاری می‌باشد. برای مثال حمل‌ونقل مکرر بین منابع و یا جریان‌های عبوری مواد و مصالح، جریان پرسنل و جریان تجهیزات. هرچه جریان کاری بین تأسیسات بیشتر باشد، میزان برخورد بین متریال، پرسنل و تجهیزات بیشتر رخ می‌دهد و به‌نوعی می‌توان گفت میزان ریسک، ارتباط مثبتی با میزان جریان‌های کاری دارد. هر اندازه فاصله سفر بین منابع طولانی‌تر باشد امکان برخورد و ایجاد همپوشانی در این مسیر بیشتر می‌شود؛ بنابراین به‌منظور ارتقا تابع هدف مذکور در سایت‌های ساختمانی، ریسک‌های مرتبط با این تابع باید *Min* باشند.

$$F_2 = \min \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} r_{2ij} d_{kl}$$

$$i = (1,2,\ldots,m) \quad j = (1,2,\ldots,m) \quad k = (1,2,\ldots,n) \quad l = (1,2,\ldots,n) \qquad (۳)$$

با توجه به آنکه تابع هدف ۲ نیز باید *Min* باشد، هرکدام از متغیرهای موجود در فرمول بالا اهمیت ویژه‌ای دارند. *Facility i* به لوکیشن *k* اختصاص می‌یابد و *Facility j* به لوکیشن *l*. منظور از *dkl* فاصله بین لوکیشن‌های *k* و *l* می‌باشد و *r2ij* مقدار فرضی برای رابطه ایمنی تسهیلات با در نظرگیری جریان‌های کمی مصالح، پرسنل و تجهیزات (مطابق با جدول ۱) می‌باشد.

۳-۶- تابع هدف شماره ۳ هزینه حمل‌ونقل کل منابع (*Total Resources Transportation Cost*)

با توجه به تحقیقات انجام شده، حاشیه سود معمول در پروژه‌های ساخت در دهه ۲۰۱۶-۲۰۰۷ برابر با ۳/۵ درصد بوده است؛ بنابراین در دنیای رقابتی امروز، صرفه‌جویی در مصرف هزینه‌ها، برای افزایش حاشیه سود اهمیت زیادی دارد؛ بنابراین ضروری است تا بدون قربانی کردن هزینه‌های ساخت، بتوانیم ایمنی را در کارگاه‌ها به‌طور مؤثری افزایش دهیم. هزینه کلی به‌وسیله جریان منابع و فاصله بین *Facility*ها تعیین می‌شود که عنصر جدید این فرمول *Tcij* است و نشان‌دهنده‌ی ارزش جریان‌های کمی می‌باشد (با استفاده از قوانین جدول ۱).

$$F_3 = \min \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} TC_{ij} d_{kl}$$

$$\theta = 1/14 \quad \theta = 1/31$$

$$Colony, Food\,1, Food\,2, Food\,3, \quad Colony = 14m \qquad (۴)$$

$$Colony, Food\,1, Food\,2, Food\,3, \quad Colony = 1/31m$$

۳-۷- الگوریتم بهینه‌سازی سه‌هدفه مبتنی بر *ACO*

به‌طورکلی هدف از استفاده از این الگوریتم تجهیز و طراحی کارگاه به‌صورت بهینه با عملکرد ایمنی بالا و مطابق با سه تابع هدف ذکر شده می‌باشد. الگوریتم به کار گرفته شده برای کمک به تجهیز ایمن و بهینه کارگاه باید بین سه تابع هدف *F1*، *F2* و *F3* تعادل برقرار کند و همواره یک مصالحه بین راه‌حل و جواب‌های موجود داشته باشد. در الگوریتم *ACO*، مورچه‌ها برای یافتن غذا مسیر را با توجه به فرومون باقی‌مانده و طول مسیر که به‌ترتیب *A* و *B* نامیده می‌شوند انتخاب می‌کنند و میزان فرومون باقی مانده در هر مسیر بیانگر کیفیت راه‌حلی است که توسط مورچه‌ها پیدا شده است. مسیر *A* دارای اطلاعات فرومونی (*Pheromone Information*) و مسیر *B* دارای اطلاعات اکتشافی (*Heuristic Information*) است. در نظریه تئوری مورچگان، مورچه‌ها به‌صورت تصادفی بر روی گره‌ها قرار گرفته و هر مورچه مکان بعدی را برای حرکت انتخاب می‌کند و به‌صورت احتمالی است؛ که این احتمال تابعی از فاصله دو تسهیلات و مقدار دنباله فرومونی بر روی گره‌های مرتبط است (نینگ؛ جینگیان، ۲۰۱۸).

$$P_i = \frac{\theta_i \delta_{ij}}{\sum_{l=1}^{n} \theta_i \delta_{ij}} \quad where \ \ \delta_{ij} = 1/d_{ij} \qquad (۵)$$

۴- روش تحقیق

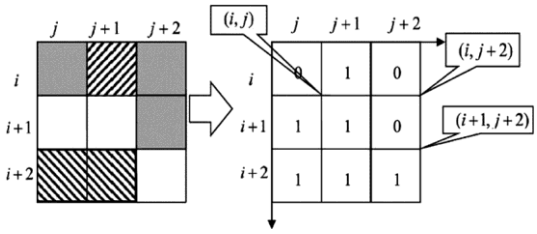
روش تحقیق توصیفی اکتشافی و از نوع مطالعه موردی می‌باشد. نمونه مورد بررسی در این تحقیق یک کارگاه

ساختمانی در شهر تهران می‌باشد. در این کارگاه ۱۳ نوع تسهیلات وجود دارد. پنج مورد از آنها مانند دفتر کارگاه، اتاق نگهبانی، دو بالابر مخصوص حمل مصالح و جرثقیل برجی در محلشان ثابت‌اند. اتاق نگهبانی و دفتر کارگاه جهت امنیت و نظارت بر کارگاه در مجاورت ورودی کارگاه قرار می‌گیرند. هشت مورد از تسهیلات باقیمانده تسهیلات متحرک هستند و از طریق بهینه‌سازی با الگوریتم پیشنهادی به مکان‌های آزاد اختصاص می‌یابند. مکان‌های کارگاه بر اساس هماهنگی شبکه‌ها تعریف می‌شوند و فواصل بین تسهیلات را می‌توان پس از اختصاص مکان یافت. هر تسهیلاتی با مجموعه‌ای از واحدهای شبکه‌ای نشان داده می‌شود که مجموعشان مساحت مورد نیاز تسهیلات را تأمین می‌کند. در این مطالعه موردی دو تسهیلات با مساحت ۲۵ و ۵۰ مترمربع وجود دارد. بزرگ‌ترین واحد تقسیم معمول ۲۵ متر مربع است؛ بنابراین کل کارگاه ساختمانی به واحدهای شبکه‌ای به مساحت ۲۵ متر مربع (۵×۵) تقسیم می‌شود و می‌توان تسهیلات را با تخصیص واحدهایشان نشان داد. مثلاً انبار مواد قابل اشتعال و انبار ابزار ساختمانی را به‌ترتیب می‌توان با یک و دو واحد شبکه‌ای نشان داد.

برای بررسی بهترین جانمایی در این کارگاه ساختمانی، از مدل سه‌هدفه مبتنی بر ACO استفاده شده است. با بررسی این نمونه موردی می‌توان مدل را برای حصول نتایج بهینه نهایی (جانمایی کارگاه ساختمانی) با فرض پارامترهای مناسب محقق کرد. از طریق مطالعه موردی می‌توان فرآیند اجرا را در واقعیت عملی کرد. مهم‌تر از همه، می‌توان با به‌کارگیری نتایج تحلیل به تأثیر جانمایی تسهیلات در کارگاه بر ایمنی و هزینه پی برد. با توجه به این تأثیر پیشنهادی درباره روش چینش تسهیلات موقت کارگاهی برای بهبود عملکرد ایمنی و کاهش هزینه به مدیریت کارگاه ارائه می‌گردد. در شکل ۳ در شبکه‌های خاکستری که با عدد «صفر» نشان داده شده‌اند تسهیلات قرار می‌گیرند که یعنی این مکان‌ها برای اختصاص به سایر تسهیلات قابل استفاده نیستند. برعکس، شبکه‌های سفید که با عدد «۱» نشان داده شده‌اند برای اختصاص به سایر تسهیلات قابل‌استفاده‌اند؛ بنابراین، شبکه i و ستون j، شبکه ردیف i و ستون $j+2$ و شبکه ردیف $i+1$ و ستون $j+2$ در ماتریس (i,j) به «صفر» تبدیل می‌شوند. تسهیلات انبار مواد غیرقابل اشتعال و انبار ابزار ساختمانی را می‌توان از طریق مدل بهینه‌سازی به شبکه‌های سفید اختصاص داد.

جدول ۲- تسهیلات موجود در نمونه موردی.

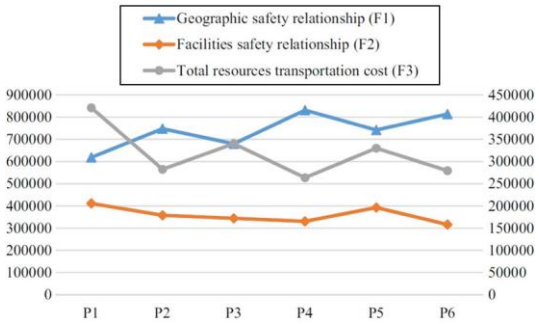
شماره تسهیلات	تسهیلات	مساحت	وضعیت
TF1	انبار مواد قابل اشتعال	۲۵	Free
TF2	انبار تجهیزات آتش‌نشانی	۲۵	Free
TF3	کارگاه سرویس و نگهداری تجهیزات	۲۵	Free
TF4	محوطه خم کردن میلگردها	۱۰۰	Free
TF5	کارگاه نجاری	۱۰۰	Free
TF6	انبار مصالح	۱۰۰	Free
TF7	انبار ابزار ساختمانی	۵۰	Free
TF8	اتاقک کارگران	۲۵	Free
TF9	دفتر کارگاه	۵۰	Fixed
TF10	اتاق نگهبانی	۲۵	Fixed
TF11	بالابر ۱ مخصوص حمل مصالح	۲۵	Fixed
TF12	بالابر ۲ مخصوص حمل مصالح	۲۵	Fixed
TF13	جرثقیل برجی	۵۰	Fixed



شکل ۳- نحوه قرارگیری تسهیلات.

۵-یافته‌های تحقیق

الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر *ACO* جانمایی‌های جایگزین (پاسخ‌های بهینه) کارگاه ساختمانی را تعیین می‌کند تا رابطه ایمنی جغرافیایی *(F1)*، رابطه ایمنی تسهیلات *(F2)* و هزینه کل حمل‌ونقل منابع *(F3)* برقرار شود (نمودار ۱). برای حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه، مدل بهینه‌سازی سه‌هدفه جدیدی مبتنی بر *ACO* پیشنهاد می‌شود. این الگوریتم با تعیین رابطه غالب بین پاسخ‌ها که پارامتری کلیدی در مسیر جستجوی الگوریتم است از بهینه‌سازی پارتو استفاده می‌کند و مبتنی بر آن است. برای مسئله بهینه‌سازی چندهدفه معمولاً تعداد زیادی پاسخ بهینه پارتو تولید می‌شود؛ زیرا اهداف متعدد معمولاً متفاوتند؛ بنابراین یک پاسخ بهینه نمی‌تواند الزاماً همه اهداف را برآورده کند. برای شفاف‌سازی الزامات ایمنی و هزینه در این پروژه خاص از مدیران کارگاه دعوت شده است تا اهمیت سه تابع هدف را مشخص کنند تا بهتر بتوانند روی کیفیت طرح‌های جانمایی برای تصمیم‌گیری بهتر تمرکز کنند. از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (*AHP*) برای تعیین وزن سه تابع هدف استفاده شده است. وزن‌ها برای روابط *F1*، *F2* و *F3* به‌ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۱ و ۰/۲۶ هستند. ممکن است پاسخی مقدار بهینه دو هدف را حاصل کند اما نمی‌تواند مقدار کمینه هدف باقیمانده را تضمین کند.



نمودار ۱- تعیین رابطه ایمنی جغرافیایی، رابطه ایمنی تسهیلات و هزینه کل حمل‌ونقل منابع.

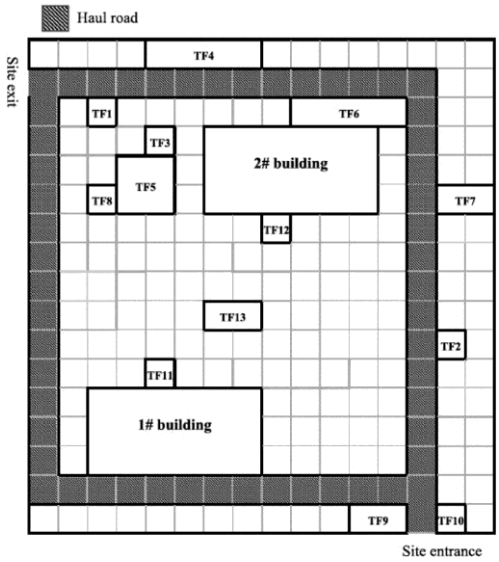
در نتیجه از طریق الگوریتم ۶ پاسخ بهینه پارتو به دست آمده است.

تحلیل جانمایی اول (شکل ۴): در *P 1*، تسهیلات موقت به مکان‌های دور از *TF13* (جرثقیل برجی)، *TF11* (بالابر ۱ مخصوص حمل مصالح) و *TF12* (بالابر ۲ مخصوص حمل مصالح) اختصاص می‌یابند زیرا در صورتی که تسهیلات در منطقه‌ای ویژه با سطح ایمنی پایین‌تر باشند سطوح ریسک پایین‌ترند.

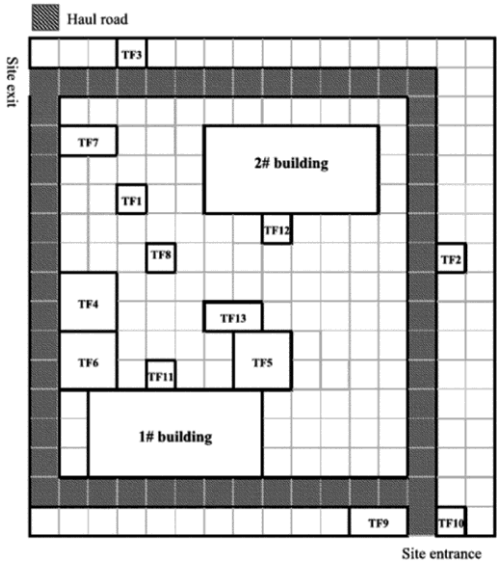
در این سناریو *TF8* (اتاقک کارگران) که دور از تسهیلات خطرناک قرار دارد سبب بهبود ایمنی و سلامت کارگران می‌شود. این اتاقک به سمت چپ ساختمان شماره ۲ و مجاور مسیر حمل‌ونقل اختصاص می‌یابد که به شکلی مؤثر از خطرات احتمالی جرثقیل برجی جلوگیری می‌کند. تسهیلات موقت نسبتاً جدا از هم قرار می‌گیرند. فاصله بین این تسهیلات زیاد است بدین‌ترتیب ریسک ناشی از رابطه ایمنی تسهیلات ۲۰۵۶۱۷,۷ است که در بین جانمایی‌های جایگزین بیشترین مقدار است. به‌طور متناظر هزینه کل حمل‌ونقل منابع برای توزیع پراکنده تسهیلات ۴۲۱۲۲۷,۴ است که بیشترین مقدار را داراست.

جدول ۳- اوزان توابع شش نقطه‌ای p1 تا p6 در F1، F2 و F3

تابع هدف (Objective Function)	P1	P2	P3	P4	P5	P6
F1	۶۱۸۶۵۴ /۲	۷۴۷۸۷۳ /۵	۶۷۹۹۸۶ /۷	۸۳۱۲۵۵ /۵	۷۴۲۰۷۲ /۱	۸۱۳۶۵۶ /۸
F2	۲۰۵۶۱۷ /۷	۱۷۸۹۱۳ /۳	۱۷۱۹۷۶ /۰	۱۶۵۲۲۹ /۲	۱۹۶۴۱۴ /۸	۱۵۸۰۲۳ /۲
F3	۴۲۱۲۲۷ /۴	۲۸۲۵۵۱ /۰	۳۴۰۱۶۹ /۷	۲۶۳۵۹۹ /۷	۳۳۰۱۵۶ /۹	۲۷۹۴۲۴ /۳
میانگین وزنی	۴۳۹۲۸۱ /۹	۴۵۰۵۱۲ /۰	۴۳۴۱۵۱ /۰	۴۷۷۱۹۶ /۸	۴۶۵۸۲۰ /۴	۴۷۱۵۰۹ /۹



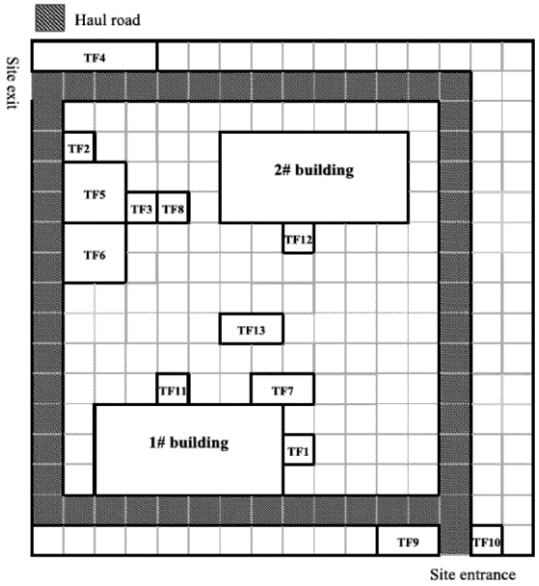
شکل ۴- سناریوی اول (نقشه شماتیک جانمایی).



شکل ۵- سناریوی دوم (نقشه شماتیک جانمایی).

تحلیل جانمایی دوم (شکل ۵): در این سناریو تسهیلات به شکلی متراکم در کارگاه قرار می‌گیرند. *TF4* (محوطه خم کردن میلگردها)، *TF5* (کارگاه نجاری) و *TF6* (انبار مصالح) در *P2* نسبت به *P3* به تسهیلات خطرناک نزدیک‌ترند. به‌خصوص *TF4* و *TF6* به منطقه خطر *TF11* (بالابر ۱ مخصوص حمل مصالح) اختصاص می‌یابند و *TF5* مجاور *TF13* (جرثقیل برجی) است. سطح ریسک جرثقیل برجی و بالابر مخصوص حمل مصالح بالاست. منابع به‌طور مکرر بین تسهیلات *TF4* (محوطه خم کردن میلگردها)، *TF5* (کارگاه نجاری) و *TF6* (انبار مصالح) در رفت‌وآمد هستند. با این حال *TF5* و *TF6* در *P2* به‌طور جداگانه در دو طرف *TF11* قرار می‌گیرند که احتمال سانحه در دو تسهیلات را بیشتر می‌کند و بهره‌وری را به شدت می‌کاهد؛ بنابراین جانمایی جایگزین در *P3* در قیاس با *P2* برای مدیریت کارگاه، جانمایی منتخب معقول‌تری محسوب می‌شود.

تحلیل جانمایی سوم (شکل ۶): *TF7* (انبار ابزار ساختمانی) در اطراف *TF11* (بالابر ۱ مخصوص حمل مصالح) و *TF13* (جرثقیل برجی) در *P3* طوری قرار می‌گیرد که سطح ریسک تسهیلات پرخطر نسبتاً زیاد است. *TF5* و *TF6* کنار تسهیلات *TF3* (کارگاه سرویس و نگهداری تجهیزات) و *TF8* (اتاقک کارگران) در *P3* قرار می‌گیرد طوری که آلودگی صوتی آنها نسبتاً زیاد است. هرچه فاصله بین تسهیلات کمتر می‌شود سروصدا و آلودگی صوتی بیشتر می‌شود. با مقایسه جانمایی‌های *P1* و *P3*، متوجه می‌شویم که توزیع تسهیلات موقت در *P1* پراکنده‌تر است بنابراین مقدار ۱۷۱۹۷۶ برای تابع هدف ۲ در *P3* کمتر از ۲۰۵۶۱۷,۷ در *P1* است. تسهیلات *TF4* (محوطه خم کردن میلگردها) و *TF5* (کارگاه نجاری) در *P1* دور از *TF6* (انبار مصالح) قرار دارند که این امر سبب افزایش هزینه حمل مصالح می‌شود و مقدار هزینه حمل‌ونقل منابع در *P1* بیشتر از *P3* است. مکان *TF1* (انبار مواد قابل اشتعال) در *P3* نسبت به *P1* معقول‌تر است که در *P1* محل قرارگیری *TF1* اطراف تسهیلات *TF3*، *TF5* و *TF8* است؛ بنابراین ریسک ناشی از مواد خطرناک در *P3* کمتر از *P1* است. به‌طور متناظر تابع هدف ۱، از ۶۱۸۶۵۴,۲ در *P1* به ۶۷۹۹۸۶,۷ در *P3* افزایش می‌یابد. با این حال هزینه حمل‌ونقل در *P3* کاهش می‌یابد زیرا فاصله بین *TF5* و *TF6* کمتر است. هزینه کل حمل‌ونقل منابع در جانمایی *P3* با مقدار ۳۴۱۱۶۹,۷ نسبتاً کمتر است. علاوه بر این زمانی که بهره‌وری ساخت مد نظر باشد، چینشی مناسب است که تسهیلات *TF8* در جانمایی *P3* نزدیک *TF5* و *TF6* قرار گیرد؛ بنابراین جانمایی جایگزین در *P3* در قیاس با *P2*، برای مدیران کارگاه جانمایی منتخب معقول‌تری محسوب می‌شود.



شکل ۶- سناریوی سوم (نقشه شماتیک جانمایی).

تعیین جانمایی تسهیلات با توجه به تابع هزینه: مشکلات چیدمان تسهیلات پویا (*Dynamic Facility Layout Problem: DFLP*) مربوط به یافتن مکان‌های بهینه برای انواع مختلف تأسیسات و... می‌باشد که در دوره‌های زمانی خاص تغییر می‌کنند و جزو تسهیلات پویا هستند. طراحی و تجهیز بهینه و ایمن، مشکل بزرگی در کارگاه‌ها می‌باشد؛ زیرا با توجه به آنکه در هر دوره زمانی بنا به نیاز آن دوره تأسیسات و ماشین‌آلات و مواد خاصی مورد نیاز می‌باشد؛ بنابراین جابه‌جایی و تعیین بهترین مکان برای این تأسیسات امری مشکل و پیچیده می‌باشد (پیرت؛ کاتان، ۲۰۲۱). الگوریتم تئوری مورچگان (*ACO*) می‌تواند برای مشکلات تسهیلات پویا بسیار کاربردی باشد که به‌صورت نمونه در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در کارگاه‌ها یکسری از تجهیزات و تسهیلات موقتی هستند که به آنها *TF* (*Temporary Facility*) گفته می‌شود. *TF*ها بخش‌هایی از سایت را برای یک دوره زمانی خاص و برای تحقق فعالیت‌های کارگاهی اشغال می‌کنند. این تأسیسات موقتی با توجه به برنامه زمان‌بندی پروژه به‌صورت تدریجی وارد سایت شده و بنابراین نیاز است که در هر مرحله با توجه به سایر تأسیسات بازآرایی و بازچینی (*Re-Arrangement*) شوند. تأسیسات موقتی می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

۱) ناحیه چیدمان مواد و مصالح (*Material Laydown Areas*)،

۲) مناطق ساخت (*Fabrication Area*)،

۳) تجهیزات ساخت‌وساز (*Construction Equipment*)

۴) امکانات پشتیبانی (*Service Facility*).

در جدول ۴ نمونه‌ای از تجهیزات موقتی برای یک عملیات اجرا که شامل ساخت دو ساختمان می‌باشد مطابق برنامه زمان‌بندی آورده شده است.

جدول ۴- برنامه زمان‌بندی به‌کارگیری تسهیلات در طول پروژه.

مرجع	شرح	اندازه		برنامه زمان‌بندی (به ماه)													
		L	W	۰	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۳۶	۴۰	۴۴	۴۸
S	سایت	۱۰۰	۱۰۰													
S1	عملیات F1	۵۰	۵۰													
F1	ساختمان ثابت ۱	۲۵	۲۵													
F2	ساختمان ثابت ۲	۲۵	۲۵													
A	دفاتر	۱۲	۶													
B	نجاری	۶	۴													
C	آزمایشگاه	۳	۳													
D	کارگاه میلگرد	۱۲	۶													
E	تجهیز کردن کارگاه	۸	۶													
F	انبار	۸	۶													

ادامه جدول ۴- برنامه زمان‌بندی به‌کارگیری تسهیلات در طول پروژه.

مرجع	شرح	اندازه		برنامه زمان‌بندی (به ماه)											
		L	W	۰	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۳۶	۴۰	۴۴	۴۸
G	کارگاه لوله‌کشی	۶	۴													
H	کارگاهE/M	۵	۴													
I	ایستگاه سوخت	۳	۳													
J	امکانات کارگری	۶	۶													
K	توالت‌های کارگری	۶	۴													
L	امکانات کمک‌های اولیه	۳	۳													
M	سوله‌های ژنراتور	۳	۳													
N	خانه نگهبانی	۳	۳													
O	سوله پارکینگ	۴	۳													

در این پژوهش سعی داریم تا در ۴ چارچوب زمانی (برنامه زمان‌بندی ۱ تا ۴) مرتبط با یک پروژه (با در نظر گرفتن چرخه حیات)، چیدمان بهینه امکانات موقتی کارگاه را با استفاده از الگوریتم تئوری مورچگان پیاده کنیم. فرض کنید تعداد کل تأسیسات مورد نیاز در این پروژه (*a, b, c, d, e, f*) باشد که این تأسیسات می‌توانند به شش لوکیشن (*1, 2, 3, 4, 5, 6*) اختصاص پیدا کنند؛ بنابراین نام این مسئله را *F6T4* می‌گذاریم.

جدول ۵- تصویری از لوکیشن‌های موجود در سایت.

	4	3
5	Staging Area	1
	6	2

در این مسئله مقدار تابع هدف (*Objective Funcion Value: OFV*) حداقل کردن هزینه چیدمان پویای سایت در هر تکرار الگوریتم می‌باشد. منظور از هزینه، هزینه جابه‌جایی امکانات (*Relocation Cost*) و جریان‌های مبتنی بر فاصله (*Based- Distance Flows*) می‌باشد. اعداد مرتبط با هزینه جابه‌جایی هر *Facility* به‌صورت واقعی و اعداد مرتبط با فاصله بین تسهیلات و جریان موجود بین آن به‌صورت رندوم در ماتریس‌های زیر تولید شده است. با استفاده از این ماتریس‌ها و به‌کارگیری آن در الگوریتم و با توجه به پیشنهاد مقدماتی و تصادفی موجود به‌عنوان اولین مسیر موجود، چهار سناریوی مختلف تهیه شده‌اند و برای هر سناریو مقدار تابع هدف آن با توجه به جداول ۶ تا ۸ تهیه گردیده است.

جدول ۶- هزینه‌های جابه‌جایی برای مشکل F6T4.

a	b	c	d	e	f
۱۲۸	۲۱۱	۱۲۰	۱۲۱	۱۰۲	۲۱۶

تسهیلاتی که در چارچوب زمانی مکانشان تغییر کرده است با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند و بیانگر این نکته است که تغییر مکان این تسهیلات شامل هزینه می‌باشد. به این ترتیب سناریوی شماره ۱، با توجه به هزینه مینیمم ۲۴۹۶ جواب بهینه‌ای برای مشکل *DFLP* در این نمونه موردی می‌باشد. در جداول ۹ و ۱۰ برای مشکل *F6T4* چهار سناریو پیش بینی شده است.

- راه‌حل سناریوی ۱ مسئله *F6T4*: هزینه‌های جابه‌جایی صفر تعیین شده است (*Solution of Scenario 1 of the F6T4 problem: Relocation costs set at Zero*).
- راه‌حل سناریوی ۲ مشکل *F6T4*: هزینه‌های جابه‌جایی ۱۰ درصد تعیین شده است (*Solution of Scenario 2 of the F6T4 problem: Relocation costs set at 10%.*).
- راه‌حل سناریوی ۳ مشکل *F6T4*: هزینه‌های جابه‌جایی ۲۰ درصد تعیین شده است (*Solution of Scenario 3 of the F6T4 problem: Relocation costs set at 20%*).
- راه‌حل سناریوی ۴ مشکل *F6T4*: هزینه‌های جابه‌جایی ۸۰ درصد تعیین شده است (*Solution of Scenario 4 of the F6T4 problem: Relocation costs set at 80%*).

جدول ۷- هزینه‌های جابه‌جایی برای مشکل F6T4.

T1	a	c	d	e		
a	۰	۱۵	۱۷	۱		
c	۱۵	۰	۵	۰		
d	۱۷	۵	۰	۵		
e	۱	۳	۵	۰		
T2	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**	
a	۰	۲۰	۷	۱۶	۳	
b	۲۰	۰	۲	۵	۹	
c	۷	۲	۰	۲	۲	
d	۱۶	۵	۲	۰	۱۰	
e	۳	۹	۲	۱۰	۰	
T3	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**
a	۰	۱۱	۷	۵	۴	۱۴
b	۱۱	۰	۱۳	۱۰	۱۳	۱۳
c	۷	۱۳	۰	۱۳	۱۴	۷
d	۵	۱۰	۱۳	۰	۱۴	۱۳
e	۴	۱۳	۱۴	۱۴	۰	۷
f	۱۴	۱۳	۷	۱۳	۷	۰
T4	**a**	**d**	**e**			
a	۰	۷	۱۶			
d	۷	۰	۱۳			
e	۱۶	۱۳	۰			

جدول ۸- ماتریس فاصله برای مسئله F6T4.

مکان	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰	۱	۱	۲	۲	۲
۲	۱	۰	۲	۳	۳	۱
۳	۱	۲	۰	۱	۳	۳
۴	۲	۳	۱	۰	۲	۲
۵	۲	۳	۳	۲	۰	۲
۶	۲	۱	۳	۲	۲	۰

جدول ۹- الف

دوره زمانی ۱

	4	**e**
5	Staging Area	**d**
	c	**a**

دوره زمانی ۲

	e	**d**
5	Staging Area	**b**
	c	**a**

دوره زمانی ۳

	b	**e**
a	Staging Area	**c**
	f	**d**

دوره زمانی ۴

	a	**e**
5	Staging Area	**d**
	6	**2**

جدول ۹- ب

دوره زمانی ۱			دوره زمانی ۲			دوره زمانی ۳			دوره زمانی ۴		
	e	3		e	d		d	f		4	d
5	Staging Area	d	5	Staging Area	b	e	Staging Area	b	5	Staging Area	e
	c	a		c	a		c	a		6	a

جدول ۱۰- الف

دوره زمانی ۱			دوره زمانی ۲			دوره زمانی ۳			دوره زمانی ۴		
	4	a		b	a		4	a		4	e
5	Staging Area	d	5	Staging Area	d	5	Staging Area	d	5	Staging Area	d
	e	c		e	c		6	e		6	e

جدول ۱۰- ب

دوره زمانی ۱			دوره زمانی ۲			دوره زمانی ۳			دوره زمانی ۴		
	e	d		e	d		e	d		e	d
5	Staging Area	a	5	Staging Area	a	f	Staging Area	a	5	Staging Area	a
	6	c		b	c		b	c		6	2

پس از انجام مراحل یافتن جواب توسط الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان (*ACO*) چهار سناریو تعیین شدند که برای هرکدام میزان هزینه جابه‌جایی آن به‌صورت مجزا در نظر گرفته شده است. این چهار سناریو بهترین و بهینه‌ترین جواب را برای هر دوره زمانی به‌صورت مجزا و با توجه به هزینه تغییر مکان به‌صورت مجزا تعیین کردند و خلاصه راه‌حل‌های مورد نظر برای حل مشکل *F6T4* مطابق جدول زیر تهیه شد. منظور از ۱۰٪ در نظر گرفته شده برای هزینه جابه‌جایی، میانگین مجموع جریان‌هایی که هر *Facility* با بقیه امکانات در هر تایم‌فریم دارد می‌باشد.

جدول ۱۱-

بهترین تابع هدف	سناریو
۲۴۹۶	بدون هزینه جابه‌جایی
۲۶۳۵	هزینه جابه‌جایی ۱۰٪
۲۷۱۱	هزینه جابه‌جایی ۲۰٪
۲۷۳۷	هزینه جابه‌جایی ۸۰٪

به این ترتیب سناریوی شماره ۱، با توجه به هزینه مینیمم ۲۴۹۶ جواب بهینه‌ای برای مشکل چیدمان تسهیلات پویا (*DFLP*) می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

تئوری بهینه‌سازی کلونی مورچگان (*ACO*) مدلی برای تعیین بهترین راه‌حل در مسائل مختلف است. مسئله یافتن کوتاه‌ترین مسیر، ایمن‌ترین جانمایی، کمترین هزینه جابه‌جایی و کمترین هزینه جریان از مسائل بهینه‌سازی هستند که در آن از مورچه‌های مصنوعی استفاده می‌شود. مورچه‌های مصنوعی با حرکت بر روی نمودار مسئله و باقی گذاشتن نشانه‌هایی بر روی نمودار مانند فرومون مورچه‌های واقعی که در مسیر حرکت خود نشانه‌های باقی می‌گذارند، باعث می‌شوند که مورچه‌های مصنوعیِ بعدی بتوانند راه‌حل‌های بهتری برای مسئله فراهم نمایند. همچنین در این روش می‌توان توسط مسائل محاسباتی-عددی بر مبنای علم احتمالات بهترین مسیر را در یک نمودار پیدا کرد. مبنای

اصلی این روش تمرکز بر تکرار است تا به‌وسیله آن بتوان تمامی راه‌های ممکن را یافت و در ادامه بتوان با توجه به تابع هدف مورد نظر بهترین، امن‌ترین و بهینه‌ترین طراحی را انتخاب کرد. این روش با استفاده از الگوریتم‌های مورد نظر که قادرند تعداد زیادی تکرار را پشت سر هم انجام دهند صورت می‌گیرد و در نهایت بهترین راه به‌عنوان راه بهینه تعیین می‌شود. تسهیلاتی که در چارچوب زمانی مکانشان تغییر کرده است با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند و بیانگر این نکته است که تغییر مکان این تسهیلات شامل هزینه می‌باشد. به این ترتیب سناریوی شماره ۱، با توجه به هزینه مینیمم ۲۴۹۶ جواب بهینه‌ای برای مشکل $DFLP$ در این نمونه موردی می‌باشد. استفاده از الگوریتم ACO کمک می‌کند تا مدیران با برنامه‌ریزی بهتر، چیدمان و تجهیز ایمن تأسیسات در کارگاه‌ها را مدیریت کرده و از جابه‌جایی منابع پر ازدحام در کارگاه‌ها خودداری کنند. تسهیلاتی که ارتباط بیشتری با یکدیگر دارند می‌بایست نزدیک‌تر باشند طوری که هزینه حمل‌ونقل هم‌زمان قابل کاهش باشد. برای کاهش ریسک رابطه ایمنی جغرافیایی (تابع هدف ۱)، تسهیلات باید به فواصل دور از منابع خطر مانند جرثقیل‌های برجی، مسیرهای حمل و بالابرهای مخصوص حمل مصالح منتقل شوند. در کارگاه‌های شلوغ بهتر است که تسهیلات موقت به مکان‌های اطراف تجهیزات سنگین مانند جرثقیل برجی یا بالابر مخصوص حمل مصالح که به‌عنوان تسهیلات ثابت سرعت حمل بالایی در انتقال مصالح به اغلب تسهیلات را دارد اختصاص یابند. چنین چیدمانی هزینه حمل‌ونقل و سطح ایمنی حاصل از جریان‌های تعاملی را به حداقل می‌رساند و سبب تسهیل عملیات ساخت می‌شود. رابطه ایمنی جغرافیایی متناسب با کاهش فاصله بین اکثر تسهیلات موقت بیشتر می‌شود. برای کاهش رابطه ایمنی جغرافیایی تسهیلات بدون بهره‌وری مانند اتاقک کارگران و انبارهای مواد قابل اشتعال که بین تسهیلات سنگین جریان‌های تعاملی کمتری دارند، دور از آنها قرار گیرند. به این ترتیب سناریوی شماره ۱، با توجه به هزینه مینیمم ۲۴۹۶ جواب بهینه‌ای برای مشکل $DFLP$ در این نمونه موردی می‌باشد.

۷- مراجع

[۱] احمد، ع؛ اکبرنژاد، د. (۲۰۱۶). مدل برنامه‌ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط چند هدفه برای برنامه‌ریزی چیدمان سایت ساخت‌وساز برای به حداقل رساندن آلودگی صوتی و هزینه‌های حمل‌ونقل. نشریه ساخت‌وساز. شماره ۶۱ صفحات ۷۳–۸۵.

[۲] افتخاری، مهدی؛ کاتبی، سراج‌الدین؛ داعی، بیژن (۱۳۸۵). الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان بر مبنای گرادیان برای فضاهای پیوسته. (۱۳۸۵). نشریه استقلال. دوره ۲۵. شماره ۱. صفحات ۳۳ تا ۴۶.

[۳] امیر، وحید؛ سیفی، حسین؛ سپاسیان، محمد صادق؛ یوسفی، غلامرضا (۱۳۸۷). برنامه‌ریزی توسعه توأم پست‌ها و خطوط فوق توزیع به کمک الگوریتم‌های ژنتیک GA، اجتماع مورچگان AC و ترکیب ژنتیک با اجتماع مورچگان GA & AC. نشریه مهندسی برق و کامپیوتر ایران. دوره ۶. شماره ۱. صفحات ۳ تا ۱۴.

[۴] درآنی، زهره؛ محمودی، مریم سادات (۱۳۹۵). لبه یابی تصاویر نویزی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان. نشریه هوش مصنوعی و داده‌کاوی. دوره ۴ شماره ۱. صفحات ۷۷ تا ۸۳.

[۵] دهقانی، علی؛ امیر تیموری، سمیه؛ زارع مهرجردی، محمدرضا (۱۳۹۸). کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه‌سازی الگوی کشت (شهداد، شهرستان کرمان). نشریه اقتصاد کشاورزی. دوره ۱۳. شماره ۴. صفحات ۸۷ تا ۱۰۳.

[۶] ریسمانیان، مهدی؛ ضرغامی، اسماعیل (۱۴۰۰). الزامات و راهکارهای طراحی معماری برای کاهش خطرات جانی ساختمان های بلند مرتبه مسکونی در سوانح غیرمترقبه. نشریه شهر ایمن. دوره ۴، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۵، صفحات ۱ تا ۱۴.

[۷] سپهری، م؛ رحیمی مقدم، م. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها و کاربردهای آن، چاپ منهاج، تهران، ایران، ص ۱۶۰.

[۸] فیضی، سعیده؛ بصیری، مصطفی (۱۴۰۱). تاثیر طراحی شهری بر امنیت فضاهای شهری نمونه موردی: شهر جدید سهند. نشریه شهر ایمن. دوره ۵، شماره ۴، شماره پیاپی ۲۰، صفحات ۵۵ تا ۶۵.

[۹] قضاوی، محمود؛ بزازیان بناب، سعید (۱۳۹۰). یادگیری از جامعه مورچگان در بهینه‌سازی دیوارهای حایل بتنی. نشریه فناوری آموزش (فناوری و آموزش). دوره ۵ شماره ۳. صفحات :۲۰۵-۲۱۲

[۱۰] قنبری، وجیهه؛ رضائیان، جواد؛ مهدوی، ایرج (۱۳۹۵). الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچگان برای مسئله مسیریابی اتوبوس مدرسه. نشریه مهندسی حمل و نقل. دوره ۸ شماره ۱. صفحات ۸۹ تا ۱۰۹.

[۱۱] محمدرضاپور، بهروز. (۱۴۰۱). موانع و راهکارهای هوشمندسازی حمل و نقل درون شهری با رویکرد مدیریت بحران (نمونه موردی: شهر ارومیه). نشریه شهر ایمن. دوره ۵، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۸، صفحات ۱۶ تا ۳۴.

[۱۲] معصومی، م؛ منتظری، ح. (۲۰۱۳). بهینه‌سازی سیستم آبیاری تحت فشار با ACO. مجموعه مقالات سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی سالانه هیدرولیک، تبریز، ایران (به زبان فارسی).

[۱۳] میرزایی، مسعود؛ بشیری، مهدی (۱۳۸۹). بهینه‌سازی کلونی مورچگان. انتشارات شرکت چاپ و نشر بازرگانی. تهران. ایران.

[۱۴] نجفی زنگنه، سعید؛ شمس قارنه، ناصر؛ عزیزی، پرنیان؛ اشراق نیای جهرمی، عبدالحمید (۱۳۹۹). بهینه‌سازی کیفیت پروژه های عمرانی از طریق تئوری پایایی سیستم ها با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه گان کمینه بیشینه بهبودیافته. نشریه مهندسی سازه و ساخت. دوره۷، ویژه نامه ۱ (پیاپی ۳۰). صفحات ۶۴ تا ۸۰.

[۱۵] یوسفی خوشبخت، مجید؛ صدیق پور، محمد (۱۳۹۰). الگوریتم نمونه اصلاحی مورچگان برای حل مسئله چندین فروشنده دوره گرد. نشریه تحقیق در عملیات و کاربردهای آن (ریاضیات کاربردی). دوره ۲. شماره ۳ (پیاپی ۳۰). صفحات ۸۳ تا ۹۶.

[16] Afshar, Abbas; Massoumi, Fariborz; Afshar, Amin& Miquel A. Mariño (2015) State of the Art Review of Ant Colony Optimization Applications in Water Resource Management. Water Resources Management, volume 29, 3891–3904.

[17] Ballesteros, M.J.; Fernández, M.D.; Quintana, S.; Ballesteros, J.A.; González, I. (2010). Noise emission evolution on construction sites. Measurement for controlling and assessing its impact on the people and on the environment, Build. Environ. 45 711-717, http://dx.doi.org/ 10.1016/j.buildenv.2009.08.011.

[18] Behm, M. (2005). Linking construction fatalities to the design for construction safety concept, Saf. Sci. 43 589–611, http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2005.04.002.

[19] Celestine, Iwendi; Zhiyong, Zhang; Xin, Du. (2018). IEEE International. ACO based key management routing mechanism for WSN security and data collection.

[20] Deng, W., et al. (2019). An Improved Ant Colony Optimization Algorithm Based on Hybrid Strategies for Scheduling Problem. IEEE Access Journal. 7. pp 1-12.

[21] Dini, M.; Asadi, A. (2020). Water Resources Management. Optimal operational scheduling of available partially closed valves for pressure management in water distribution networks.

[22] Dubey, AK; Kumar, A; Agrawal, R. (2021). Evolutionary Intelligence. An efficient ACO-PSO-based framework for data classification and preprocessing.

[23] Dorigo, M. (1992). Ant colony Optimization, New Optimization Techniques in Engineering, 101-116 pp.

[24] Galbazaar, A.; Ali, S.; Kim, D. (2016). International Journal of Smart Home. Optimization Approach for Energy Saving and Comfortable Space Using ACO in Building. International Journal of Smart Home, Vol. 10, No. 4, pp. 47-56.

[25] Güven, A.F.; Yörükeren, N.; Samy, M.M. (2022). Energy. Design optimization of a stand-alone green energy system of university campus based on Jaya-Harmony Search and Ant Colony Optimization algorithms approaches– Elsevier.

[26] Malar, A.C.J.; Kowsigan, M.; Krishnamoorthy, N. (2021). Multi constraints applied energy efficient routing technique based on ant colony optimization used for disaster resilient location detection in mobile ad-hoc network. Journal of Ambient.

[27] Mehmood, N.; Umer, M.; Asgher, U. (2022). Journal of Composites Science. Multi-Hole Drilling Tool Path Planning and Cost Management through Hybrid SFLA-ACO Algorithm for Composites and Hybrid Materials. mdpi.com.https://doi.org/10.3390/jcs6120364.

[28] Paes, F.G.; Pessoa, A.A.; Vidal, T. (2017). A hybrid genetic algorithm with decomposition phases for the unequal area facility layout problem. Eur. J. Oper. Res. 256 742–756, http://dx.doi.org/ 10.1016/j.ejor.2016.07.022.

[29] Panwar, D.; Tomar, P.; Singh, V. (2018). Statistics and Management. Hybridization of Cuckoo-ACO algorithm for test case prioritization.

[30] Pierrette, P., Kattan, Z. (2021). An improved construction approach using ant colony optimization for solving the dynamic facility layout problem. Journal of the Operational Research Society. pp 1-16. Taylor & Francis.

[31] Ragmani, A.; Elomri, A.; Abghour, N.; Moussaid, K. (2020). A hybrid fuzzy ant colony optimization algorithm for virtual machine scheduling in high-performance cloud computing. Journal of Ambient.

[32] Ramalingam, SP. (2021). Scheduling Smart Home Appliances using ACO Algorithm with Different Electricity Tariff Schemes. Innovations in Power.

[33] Socha, K. and Dorigo, M. (2018). Ant Colony optimization for continuous domains, European Journal of Operational Research, 1155-1173, Brussels, Belgium

[34] Sulaima, M.F.; Dahlan, N.Y.; Isa, M.H.; Othman, M.N. (2019). ETOU electricity tariff for manufacturing load shifting strategy using ACO algorithm. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics (BEEI), 8(1).

[35] Verdaguer, M.; Molinos-Senante, M.; Poch, M. (2016). Waste Management-Elsevier. Optimal management of substrates in anaerobic co-digestion: An ant colony algorithm approach.

[36] Xiang, Y.; Yang, X. (2021). Energies. An ECMS for Multi-Objective Energy Management Strategy of Parallel Diesel Electric Hybrid Ship Based on Ant Colony Optimization Algorithm.

[37] Xu, J.P.; Song, X.L. (2014). Suggestions for temporary construction facilities' layout problems in large-scale construction projects, J. Constr. Eng. Manag. 140(5) 06014001, http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000841.

نشریه‌ی علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

Application of ACO Algorithm in the Management of Safe and Optimal Design and Equipment of Urban Workshops

Peymaneh Asgari[1*], Nahal Goodarzi[2]

1. Assistant Professor, Payame Noor University, Tehran Branch (Corresponding Author)
2. M.Sc. Student, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University

Abstract:

In order to design public and private spaces in cities, urban architects are looking for the implementation of simple and new systems to increase safety in construction sites. Providing suitable physical infrastructure in urban workshops that can guarantee the health and safety of workers, the urban environment and the efficiency of workshop performance is one of the important challenges in designing and equipping construction sites in a safe city. This research has been done with the aim of improving the safety and efficiency of urban workshops using the ant colony optimization algorithm. The research method is descriptive and exploratory and is a case study type. The ant theory algorithm uses a structured solution to solve the problems of workshop arrangement over time, which is done by using heuristic information based on the cost of flow and the cost of movement in different time frames. This algorithm works by determining the dominant relationship between the answers, which is the key parameter for the search algorithm. In order to achieve the final optimal results, a case study is used to verify the proposed model, which can be realized by assuming appropriate parameters. In the case study of the urban construction workshop, four scenarios were determined for safe equipment, and the most optimal design, scenario number 1, was concluded to be the best case for the arrangement of dynamic facilities, considering the minimum cost of 2496.

Keywords: Safe equipment, Algorithm, Ant colony, Optimization, Urban workshops.

* Corresponding author: ***peymanehasgari@pnu.ac.ir***