



بهینه‌سازی جانمایی داخلی کارگاه و تاثیر آن بر هزینه‌ی پروژه‌های ساخت با الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز

محمدجواد طاهری امیری^۱، میلاد همتیان^۲، فرشیدرضا حقیقی^{۳*}، مائده جوهری بارفروشی^۴

^۱ استادیار گروه عمران موسسه آموزش عالی پردیسان

^۲ دانشجوی دکترای مهندسی صنایع دانشگاه علوم و فنون مازندران

^۳ استادیار دانشکده عمران گروه راه و ترابری

^۴ دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۹

بازنگری: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۹

ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۷/۱۰

کلمات کلیدی:

جانمایی داخلی دینامیکی سایت
الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز
کاهش هزینه جانمایی
پروژه ساخت
مکان‌یابی تجهیزات

خلاصه: جانمایی دینامیکی سایت به معنای شناسایی مکانی بهینه برای تجهیزات موقت، مصالح و سایر ابزار و دفاتر موقت موجود در سایت ساختمانی است. جانمایی داخلی سایت، به عنوان یک مسئله دینامیک طبقه‌بندی می‌شود، چراکه تجهیزات مورد نیاز و همچنین نیازهای پروژه در مراحل مختلف و در طول عمر پروژه مدام در حال تغییر است. تحقیقات متعددی در گذشته به این مسئله پرداخته و با ارائه الگوریتم‌های مختلف، سعی در حل این مسئله پیچیده نموده‌اند. در این راستا، در این مطالعه یک مدل برنامه ریزی ریاضی خطی برای مسئله جانمایی داخلی دینامیکی پروژه‌های ساخت با هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های حمل و نقل بین بخش‌های مختلف، هزینه‌ی مکان‌یابی مجدد و هزینه جابه‌جایی بین انبار و تجهیزات توسعه داده شده‌است. از آنجایی که پیچیدگی مدل پیشنهادی با افزایش ابعاد مسئله زیاد می‌شود، به منظور حل آن یک الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز ارائه شده‌است. نتایج محاسباتی، نشان دهنده‌ی تنوع در جواب‌های به‌دست آمده از چیدمان بخش‌های مختلف با توجه به اولویت‌های در نظر گرفته شده برای آن‌هاست، به طوری که با تغییر اولویت تجهیزات مختلف، چیدمان بهینه‌ای از آن‌ها در کارگاه با کمترین فاصله ایجاد خواهد شد. اعتبارسنجی مدل پیشنهادی از طریق مقایسه نتایج به‌دست آمده از الگوریتم پیشنهادی برای مسئله در ابعاد کوچک با نتایج به‌دست آمده از حل آن در نرم افزار GAMS انجام گرفته‌است. همچنین بررسی سناریوهای مختلف، حاکی از عملکرد مناسب الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز پیشنهادی بوده‌است.

۱- مقدمه

قطعیت‌های موجود در تصمیم‌گیری، مقوله‌ی پیچیده‌ای است و به عوامل متعددی وابسته می‌باشد. یکی از عوامل مهم در بهره‌وری عملیات ساخت و ساز پروژه‌های عمرانی، جانمایی مناسب کارگاه است [۱]. لازم به ذکر است با صرف زمان کوتاهی جهت طراحی نحوه‌ی چیدمان تجهیزات و فضاها قبل از استقرار آن‌ها، می‌توان از بروز بسیاری از خسارت‌ها و نارضایتی‌ها جلوگیری کرد. مسلماً جابه‌جایی و ایجاد تغییرات در چیدمان فضاها و تجهیزات بر روی کاغذ به مراتب ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر از انتقال و جابه‌جایی واقعی آن‌هاست. به همین دلیل، محققان، به دنبال یافتن الگوریتم‌ها و مدل‌های فراابتکاری هستند که به جواب خوبی در مورد نحوه‌ی

جانمایی داخلی کارگاه، عبارت است از مشخص کردن ابزارها، ماشین‌آلات و تجهیزات موقت و دائمی برای انجام عملیات اجرایی و فنی و تخصیص فضاهای مناسب بین آن‌ها در راستای رسیدن به اهداف پروژه می‌باشد. طراحی چیدمان داخلی کارگاه‌های ساختمانی به مفهوم چینش تسهیلات موقتی مورد نیاز در درون مرزهای مشخص یک کارگاه می‌باشد. وظیفه‌ی اصلی بهینه‌سازی این فرایند، دست یافتن به چیدمانی از تسهیلات موقتی است که اهداف مدنظر طراحان را برآورده نماید. به طور کلی، تجهیز کارگاه‌های ساخت به علت عدم

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: haghghi@nit.ac.ir



سوم یعنی تعیین اندازه و شکل تسهیلات متداول موجود در تجهیز کارگاه ها برای رسیدن به حداکثر راندمان تمرکز شده است [۶]. محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۳) مسئله‌ی بهینه سازی چیدمان و استقرار تجهیزات در کارگاه های عمرانی را مورد بررسی قرار دادند. در این راستا یک الگوریتم جستجوی هارمونی برای حل مسئله پیشنهادی توسعه داده شده است [۷].

اسدزاده و قلی پور (۱۳۹۳) یک الگوریتم بهینه سازی چیدمان تجهیزات خطرزا در سایت کارگاه های عمرانی جهت دستیابی به حداکثر نمودن ایمنی ارائه دادند. در این راستا به منظور بهینه سازی مسئله جانمایی تجهیزات کارگاهی از الگوریتم ریاضیاتی به جای الگوریتم های متداول کاوشی استفاده گردیده است که با اطمینان بالایی، دستیابی به بهینه ترین چیدمان را ممکن می سازد. هدف از این مطالعه، حداقل سازی مجموع ریسک وارده بر تسهیلات مستقر در سایت کارگاه می باشد [۸].

اسدزاده و قلی پور (۱۳۹۴) مسئله‌ی بهینه سازی جانمایی تسهیلات تحت اثر ریسک جرثقیل را در سایت کارگاه ساختمانی با توجه به بحث ایمنی مورد مطالعه قرار دادند. هدف از این مطالعه، حداقل سازی مجموع ریسک وارده بر تسهیل مستقر در سایت کارگاه از جانب جرثقیل ها می باشد. به منظور بهینه سازی مسئله چیدمان به جای الگوریتم های کاوشی متداول در حل مسائل چیدمان کارگاه، از الگوریتم ریاضیاتی استفاده شده است [۹].

اندایش و صادق پور به بررسی بعد زمان در جانمایی کارگاه پرداخته و تفاوت بین مدل های استاتیکی و دینامیکی را مورد بررسی قرار دادند. همچنین روش دینامیکی ارائه شده در مطالعات نیز از لحاظ ماهیتی متفاوت بوده و در نتیجه پاسخ های ارائه شده در آن ها از یکدیگر متفاوت است. برخی از محققان، زمان پروژه را به بازه های زمانی مختلف تقسیم کرده و تجهیزات را در این بازه ها جانمایی می کنند که به این روش دینامیکی فازبندی شده گفته می شود [۱۰]. هووانگ و وانگ (۲۰۱۵) یک چیدمان سایت بهینه با در نظر گرفتن ملاحظات ایمنی طراحی کردند. بدین منظور یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط توسعه داده شده است. برای حل مسئله از الگوریتم شاخه و کران و از نرم افزار LINGO استفاده شده است. هدف از این مطالعه حداقل سازی هزینه کل شامل هزینه حمل و نقل مواد، هزینه آماده سازی و مکان یابی مجدد می باشد [۱۱].

چیدمان تجهیزات و واحدها می رسد [۱۲]. امروزه با بزرگتر شدن و پیچیده تر شدن پروژه های عمرانی، تکیه بر تجربیات و دانش فردی، پاسخ گوی نیاز مسئله نیست و بنابراین استفاده از روش های علمی و فراابتکاری در حل این گونه مسائل توسعه یافته است. جانمایی صحیح تجهیزات در یک کارگاه باعث کاهش هزینه های انتقال مصالح، کاهش زمان اجرای پروژه، افزایش ایمنی و سلامت کارگران و مهندسان و بهبود بهره وری ساخت خواهد شد [۱۳]. یک پروژه ی عمرانی، به دلیل ویژگی ها و خصوصیات منحصر به فرد خود، وجود متغیرها و عدم قطعیت ها، عوامل گوناگون داخلی و خارجی مؤثر بر پروژه، وسعت و شکل سایت و همچنین بسیاری از عوامل دیگر، تحت تاثیر قرار می گیرد [۱۴]. یکی از تعاریفی که برای جانمایی مطرح شده است، بیان می دارد که مقصود از جانمایی کارگاه های عمرانی، شناسایی، گزینش و مشخص کردن وسایل و تجهیزات موقت لازم و ضروری برای انجام عملیات مختلف ساختمانی، مشخص کردن اندازه، شکل و ابعاد آن ها و بالاخره، قرار دادن آن ها در مکان بهینه در داخل یا اطراف کارگاه در زمان انجام پروژه می باشد [۱۵]. در واقع چیدمان داخلی کارگاه فقط از نقطه نظر کاهش هزینه حمل و نقل، ما را به یک چیدمان انبوه و مترکم از تجهیزات و تسهیلات کارگاهی می رساند، اما نزدیکی بین تجهیزات، احتمال وقوع حادثه را بالا می برد. طرح چیدمان داخلی کارگاه، شامل هزینه ای است که بخش بزرگی از اقتصاد پروژه ی کارگاهی را شامل می شود. نخستین گام در طرح چیدمان داخلی کارگاه، شناسایی و گزینش تجهیزات و تسهیلات موقتی است که با توجه به فراوانی عوامل گوناگون در این زمینه، نیاز به شناخت معیارهای مناسب تصمیم گیری، احساس می شود. جانمایی کارگاه های ساختمانی، جزئی از روند طرح تجهیز کارگاه است و قسمت بزرگی از اقتصاد پروژه را شامل می شود. بنابراین در این تحقیق به بهینه سازی چیدمان داخلی کارگاه های عمرانی با حداقل سازی هزینه های پروژه پرداخته شده است. در ادامه برخی از تحقیقات انجام شده در رابطه با جانمایی کارگاه مورد بررسی قرار گرفته شده است:

روح پرور و روانشادنی (۱۳۹۰) مسئله‌ی طراحی چیدمان تجهیزات کارگاه های ساخت را با تمرکز بر تعیین ابعاد تسهیلات و روابط بین آن ها مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، سه مرحله از مراحل چهارگانه طراحی چیدمان تجهیز کارگاه مطرح شده و بر روی گام

مقالات مختلف، مشخص است که در اکثر مقالات از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک به منظور مدل‌سازی این مسئله بهره گرفته شده‌است. در این تحقیق، برای اولین بار از روش بهینه‌سازی علف‌های هرز که یکی از قدرتمندترین روش‌های بهینه‌سازی می‌باشد، به منظور بهینه‌سازی مدل چیدمان کارگاه استفاده شده‌است. همچنین در اکثر مطالعات انجام شده اهداف مدنظر شامل حداقل‌سازی هزینه‌های استقرار، حمل و نقل، چیدمان مجدد و ایمنی بوده‌است، اما در هیچ مطالعه‌ای فاصله تجهیزات از یک تجهیز خاص به عنوان هدف در نظر گرفته نشده‌است، برخی از تجهیزات در چیدمان داخلی کارگاه نقش کلیدی ایفا کرده، چرا که تمامی تجهیزات با آن در ارتباط بوده، بنابراین محل قرارگیری آن در کارگاه حائز اهمیت بسیاری از نظر هزینه‌ای خواهد بود. یکی از تجهیزاتی که می‌تواند با سایر تجهیزات در داخل یک کارگاه ارتباط مستقیم داشته باشد، انبار می‌باشد. از اینرو در این مطالعه، هدفی به صورت حداقل‌سازی هزینه ناشی از مسافت طی شده بین انبار و تجهیزات دیگر مد نظر قرار گرفته‌است.

۲- روش‌شناسی

الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز، یک الگوریتم بهینه‌سازی عددی، الهام گرفته از رشد علف‌های هرز می‌باشد. این الگوریتم در سال ۲۰۰۶ توسط محرابیانو لوکاس در قالب مقاله‌ای پیشنهاد شد [۱۸]. علف‌های هرز گیاهانی هستند که رشد هجوم آورنده و شدید آن‌ها، تهدید مهمی برای گیاهان زراعی محسوب می‌شود. علف‌های هرز، بسیار پایدار و تطابق‌پذیر در مقابل تغییرات محیط می‌باشد. بنابراین با الهام گرفتن و شبیه‌سازی خصوصیات آن‌ها می‌توان به یک الگوریتم بهینه‌سازی قوی رسید.

۲-۱- اکولوژی تولید مثل علف‌های هرز

علف‌های هرز، گیاهانی هستند که در یک منطقه‌ی جغرافیایی مشخص به شکل سراسری و برجسته رشد می‌کنند، به طوری که توسط بشر قابل حذف و کنترل نیستند. یک ادعایی که در مورد علف‌های هرز وجود دارد این است که علف‌های هرز همیشه برنده هستند. به طور کلی دلایل این ادعا را می‌توان به شکل زیر بیان کرد.

۱- وجود علف‌های هرز بعد از هزاران سال از کشاورزی

۲- وجود علف‌های هرز حتی بعد از استفاده از سموم مختلف

حاماد و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط چند هدفه برای طراحی چیدمان سایت توسعه دادند. هدف از این مطالعه، حداقل‌سازی هزینه‌های حمل و نقل و آلودگی صوتی بوده‌است. یک مجموعه جواب پارتو برای مطالعه موردی استفاده شده، ارائه شده‌است [۱۲].

نینگ و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل چندمعیاره برای مسئله‌ی چیدمان سایت ساخت با استفاده از منطق فازی توسعه دادند. در این راستا اهدافی همچون امنیت و حمل و نقل خارجی مد نظر قرار گرفته‌اند. برای حل مسئله چند معیاره، از روش Topsis استفاده شده‌است [۱۳].

پاپاداکی و چاسیاکوس (۲۰۱۶) یک مدل چیدمان سایت ساخت چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسعه دادند. اهداف در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل هزینه ساخت، هزینه حمل و نقل و ایمنی می‌باشد. نتایج به دست آمده حاکی از عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک پیشنهادی بوده‌است [۱۴].

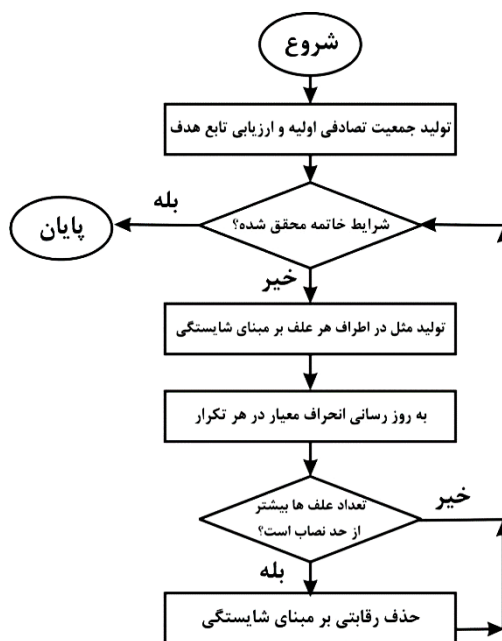
یی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای مسئله چیدمان سایت ساخت توسعه دادند. مسائل مربوط به ایمنی، سلامت و عوامل محیطی مانند گرد و خاک و سروصدا در این مدل در نظر گرفته شده‌است. نتایج محاسباتی نشان داده است که مدل پیشنهادی تا ۲۰ درصد بهبود در دستیابی به جواب بهینه حاصل کرده‌است [۱۵].

نینگ و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل ارزیابی ریسک ایمنی کمی برای مسئله طراحی چیدمان داخلی سایت ارائه دادند. در این راستا فاکتورهای ریسک شامل خطرات سقوط اشیاء، آلودگی صوتی و مواد شیمیایی مد نظر قرار گرفته‌است. بدین منظور در این مطالعه ابتدا فاکتورهای ریسک، شناسایی و دسته بندی شده‌اند. سپس تحلیل و ارزیابی آن‌ها انجام گرفته‌است. برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی یک مطالعه موردی نیز ارائه شده‌است [۱۶].

نینگ و همکاران (۲۰۱۸) یک الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه سه هدفه برای طراحی ایمن چیدمان سایت ساخت توسعه دادند. در این مطالعه، علاوه بر طراحی اهداف مرتبط با ایمنی، سعی در حداقل‌سازی هزینه‌ها نیز شده‌است. همچنین برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی از یک مطالعه موردی استفاده شده‌است [۱۷].

به طور معمول در این مسائل با توجه به پیچیدگی مسئله و ابعاد بزرگ آن از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود. با توجه به بررسی

۲۰	N0	تعداد جمعیت اولیه
۲۵	Pmax	حداکثر تعداد جمعیت علفها
۰	Smin	حداقل تعداد دانهها
۵	Smax	حداکثر تعداد دانهها
۳	Sigma_Init	مقدار اولیه انحراف استاندارد
۰.۰۰۱	Sigma_Final	مقدار نهایی انحراف استاندارد
۱۰۰	Itmax	تعداد تکرارها



شکل ۱. فلوچارت الگوریتم علفهای هرز
Fig. 1. Weed Algorithm Flowchart

مرحله سوم: ادامه‌ی حیات علف‌هایی با مطلوبیت بیشتر (حذف رقابتی)
مرحله چهارم: ادامه‌ی پروسه تا رسیدن به گیاهان با بهترین مطلوبیت
فلوچارت مربوط به نحوه عملکرد علف‌های هرز در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۳- ظاهر شدن گونه‌های جدید علف‌های هرز به صورت گسترده روی زمین
ویژگی‌های فوق‌نشان می‌دهد که علف‌های هرز، گیاهانی قوی و مزاحم در کشاورزی هستند. همچنین نشان دهنده‌ی این واقعیت است که علف‌های هرز خود را با محیط تطبیق می‌دهند و برای رشد، رفتار خود را تغییر می‌دهند. موفقیت علف‌های هرز، وابسته به اکولوژی و زیست‌شناسی آنها است [۱۸].

۳-۲- مقداردهی پارامترهای ورودی علف‌های هرز

پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده برای الگوریتم علف‌های هرز پیشنهادی در این تحقیق به شرح زیر می‌باشد. در این مطالعه دو شرط توقف در نظر گرفته شده است. شرط اول بدین صورت در نظر گرفته شده که اختلاف مقدار تابع هدف (مجموع هزینه‌های جانمایی) از حدی کمتر شود. شرط دومی که مد نظر قرار گرفته

۲-۲- شبیه‌سازی رفتار علف‌های هرز

مراحل شبیه‌سازی رفتار علف‌های هرز شامل موارد زیر می‌باشد:
مرحله اول: پخش دانه در فضای مورد نظر
مرحله دوم: رشد دانه‌ها با توجه به مطلوبیت (زاد و ولد) و پراکندگی محیطی

حمل و نقل، مکانیابی مجدد و هزینه جابه‌جایی تا انبار می باشد. در رابطه‌ی ۱، TC ، RC و DC به ترتیب نشان دهنده هزینه های حمل و نقل، هزینه های مکانیابی مجدد و هزینه جابه‌جایی تسهیلات مختلف تا انبار می باشند.

$$\min TC + RC + DC \quad (1)$$

رابطه‌ی ۲، نشان دهنده‌ی مجموع هزینه سفر تجهیزات در مراحل مختلف می باشد که در آن TCR_{ij}^t میزان هزینه سفر (تومان/متر) بین تسهیلات i و j در مرحله t و D_{ij}^t فاصله متعامد (پله ای) (متر) بین تسهیلات i و j در مرحله‌ی t می باشد. همچنین اندیس t نشان دهنده مرحله و F_t بیان کننده تعداد تسهیلات ثابت و متحرک در مرحله t است.

$$TC = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{F_{t-1}} \sum_{j=i+1}^{F_t} TCR_{ij}^t D_{ij}^t \quad (2)$$

رابطه‌ی ۳، نشان دهنده‌ی مجموع هزینه‌ی جابه‌جایی تجهیزات متحرک در دوره‌های مختلف می باشد که در آن $RC_m^{t(t-1)}$ هزینه مکانیابی مجدد (تومان) تسهیل متحرک i در مرحله t از موقعیت قبلی‌اش در مرحله $t-1$ می باشد. همچنین NMF_t تعداد تسهیلات متحرک در مرحله‌ی t می باشد.

$$RC = \sum_{t=2}^T \sum_{m=1}^{NMF_t} RC_m^{t(t-1)} \quad (3)$$

رابطه‌ی ۴، هزینه‌ی جابه‌جایی هر تجهیز را به طور جداگانه محاسبه می نماید در صورتیکه محل تجهیز تغییر کند، هزینه‌ی مربوط به آن از این رابطه تعیین می گردد.

$$RC_m^{t(t-1)} = E_m \times \begin{cases} 0 & \varphi_m^t = \varphi_m^{t-1} \text{ AND } D_m^{t(t-1)} = 0 \\ (FRC_m + VRC_m D_m^{t(t-1)}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

در رابطه‌ی ۴، اگر تسهیل متحرک m در مرحله‌ی $t-1$ وجود داشته باشد، مقدار E_m برابر ۱ و در غیراینصورت برابر ۰ خواهد بود. نشان دهنده زاویه تسهیل متحرک m در مرحله‌ی t می باشد. فاصله متعامد بین دو محل تسهیل متحرک m در مرحله‌ی

تعداد تکرار می باشد. تعداد تکرار در این الگوریتم برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده‌است.

۳- تعریف مسئله

هدف نهایی این تحقیق، بهینه‌سازی جانمایی داخلی سایت کارگاه‌های عمرانی که به همراه آن کاهش هزینه جانمایی سایت را به دنبال دارد، می باشد. با توجه به ادبیات موضوع و بررسی‌های متعدد، مشخص شد بهینه‌سازی این تحقیق از نوع تک‌هدفه است، که هدف آن حداقل سازی مجموع هزینه های جانمایی سایت کارگاه‌های ساخت بوده‌است. نکته دیگر در این مسئله، محدودیت ارائه‌ی برنامه‌ی جانمایی از پیش تعیین شده توسط مدیریت پروژه می باشد. به دلیل اینکه کارگاه ساخت به طور مداوم در طول مدت پروژه در حال تغییر و تحول است و مصالح و تجهیزات به صورت پیوسته در طول مدت پروژه به آن وارد و از آن خارج می شوند و در هر مرحله از ساخت، تجهیزات و ماشین‌آلات مورد نیاز براساس اولویت‌های پروژه تغییر می کنند و پیمانکارها روز به روز و یا هر دوره با توجه به شرایط کارگاه در این مورد تصمیم‌گیری می کنند، منجر به تلاقی فضاها با یکدیگر و قرار نگرفتن تجهیزات در جای خود و در نتیجه جابه‌جایی‌های مکرر در پروژه می شوند. از این رو جست‌وجوی یک روش بهینه‌سازی جانمایی مناسب تجهیزات برای تجهیز کارگاه‌های عمرانی، با توجه به این مشکلات مورد توجه محققین متعدد بوده‌است که برای حل این مسئله از یک مدل ریاضی تک‌هدفه با روش الگوریتم فرا ابتکاری علف‌های هرز استفاده شده‌است. این روش اولین بار در سال ۲۰۰۶ توسط محرابیان و لوکاس در قالب مقاله‌ای مطرح شده‌است [۱۸]. در این بخش مدل ریاضی مسئله به همراه تعریف پارامترها و متغیرهای مسئله ارائه می گردد. لازم به ذکر است، به منظور ساده سازی مدل پیشنهادی، هزینه های در نظر گرفته شده مستقل از زمان در نظر گرفته شده‌است. همچنین به منظور جانمایی تاورکرین، معیارهای مختلف از جمله پایداری تاور، دسترسی به مصالح، سهولت سرویس دهی به بخش های مختلف و ایمنی محیط کارگاه و ... در جانمایی تاورکرین اثرگذار است که در این مطالعه دو معیار سرویس دهی به بخش های مختلف براساس فاصله بین آن‌ها و ایمنی در نظر گرفته شده‌است. در ادامه مدل ریاضی پیشنهادی این تحقیق ارائه شده‌است:

رابطه‌ی ۱، نشان دهنده‌ی حداقل سازی مجموع هزینه های

$$\begin{aligned} |X_{site} - x_i| &\leq (LX_{site} - (Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i))/2; \text{ and} \\ |Y_{site} - y_i| &\leq (LY_{site} - (Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i))/2 \end{aligned} \quad (۸)$$

$$\begin{aligned} |x_i - x_j| &\geq (Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i)/2 + (Lx_j \cos \varphi_j + Ly_j \sin \varphi_j)/2; \text{ Or} \\ |y_i - y_j| &\geq (Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i)/2 + (Ly_j \cos \varphi_j + Lx_j \sin \varphi_j)/2 \end{aligned} \quad (۹)$$

$$\begin{aligned} |x_i - x_j| &\geq (Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i)/2 + (Lx_j \cos \varphi_j + Ly_j \sin \varphi_j)/2 + D_{ij}^{min}; \text{ OR} \\ |y_i - y_j| &\geq (Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i)/2 + (Ly_j \cos \varphi_j + Lx_j \sin \varphi_j)/2 + D_{ij}^{min} \end{aligned} \quad (۱۰)$$

$$\begin{aligned} |x_i - x_j| &\leq (Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i)/2 + (Lx_j \cos \varphi_j + Ly_j \sin \varphi_j)/2 + D_{ij}^{max}; \text{ and} \\ |y_i - y_j| &\leq (Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i)/2 + (Ly_j \cos \varphi_j + Lx_j \sin \varphi_j)/2 + D_{ij}^{max} \end{aligned} \quad (۱۱)$$

رابطه‌ی ۸ که در شکل ۲ سمت چپ اشاره شده‌است، بیانگر محدودیت مرزی سایت، بین تجهیزات f1، f2 و f3 نسبت به سایت می‌باشد. به طور مثال، تجهیزات f2 و f3 محدودیت مرز سایت را رعایت نکرده و با نقض محدودیت تعیین شده، بیرون زدگی از سایت را ایجاد کرده که با نقاط هاشور زده نشان داده شده‌است و تجهیز f1 با رعایت محدودیت تعیین شده در جای خود قرار گرفته‌است.

رابطه‌های ۷ و ۹ که در شکل ۲ سمت راست اشاره شده‌است، بیانگر محدودیت همپوشانی و نداشتن نقاط تلاقی بین تجهیزات f1، f2 و f3 می‌باشد. به‌طور مثال تجهیزات f2 و f3 با نقض این محدودیت، پدیده‌ی هم‌پوشانی را ایجاد کرده‌اند که با نقاط هاشور زده نشان داده شده‌است و همچنین تجهیز f1 با رعایت محدودیت تعیین شده، در جای خود قرار گرفته‌است. لازم به ذکر است، محدودیت همپوشانی در این مطالعه برای همه تجهیزات در نظر گرفته شده‌است. رابطه‌ی ۱۰ که در شکل ۳ سمت چپ نشان داده شده‌است بیانگر محدودیت‌های حداقل فاصله بین تجهیزات f1، f2 و f3 نسبت به هم در سایت می‌باشد. به‌طور مثال، تجهیز f3، محدودیت حداقل فاصله خود را نسبت به تجهیز f1 حفظ کرده و تجهیز f2 و f3، محدودیت حداقل فاصله خود را نسبت به هم حفظ نکرده و محدودیت تعیین شده را نقض کرده که با نقاط هاشورزده نشان داده شده‌است.

رابطه‌ی ۱۱ سمت راست که در شکل ۳ سمت راست نشان داده شده‌است بیانگر محدودیت‌های حداکثر فاصله بین تجهیزات f1، f2 و f3 نسبت به هم در سایت می‌باشد. به‌طور مثال تجهیز f3، محدودیت

t و $t-1$ را نشان می‌دهد. همچنین FRC_m و VRC_m به ترتیب بیانگر هزینه ثابت و متغیر مکان‌یابی مجدد (تومان/متر) برای تسهیل متحرک m می‌باشند.

رابطه‌ی ۵، نشان دهنده هزینه فاصله تجهیزات از انبار و هزینه جابه‌جایی بین تجهیزات و انبار می‌باشد. در این رابطه C_o بیانگر هزینه جابه‌جایی ابزار به ازای واحد مسافت بین تجهیزات و انبار است. D_{jo}^{t-1} و D_{oj}^t به ترتیب نشان دهنده فاصله بین تجهیز j و انبار در انتهای یک مرحله و فاصله انبار و تجهیز در مرحله بعدی می‌باشد. از این جهت این فاصله دو بار در نظر گرفته شده، چرا که امکان دارد تجهیز j از نوع متحرک بوده و مختصات آن در دو دوره یکسان نباشد.

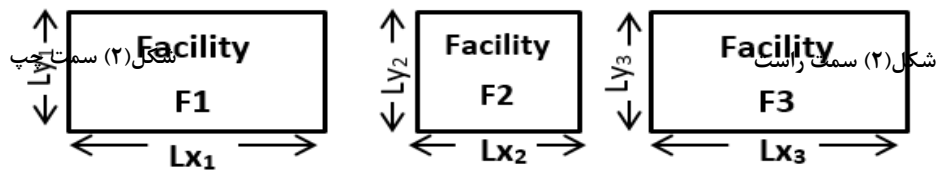
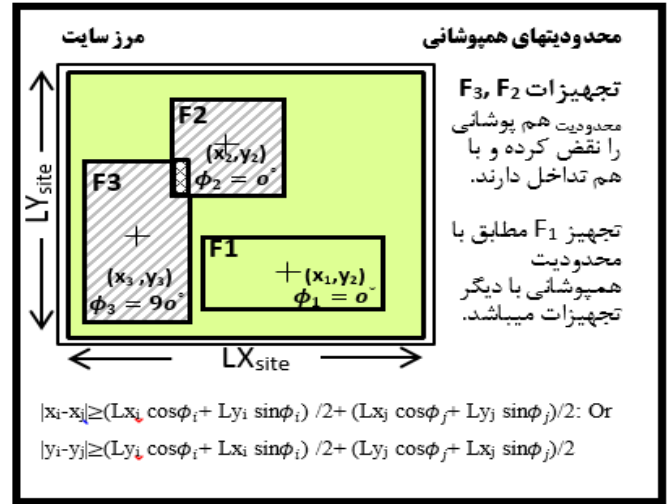
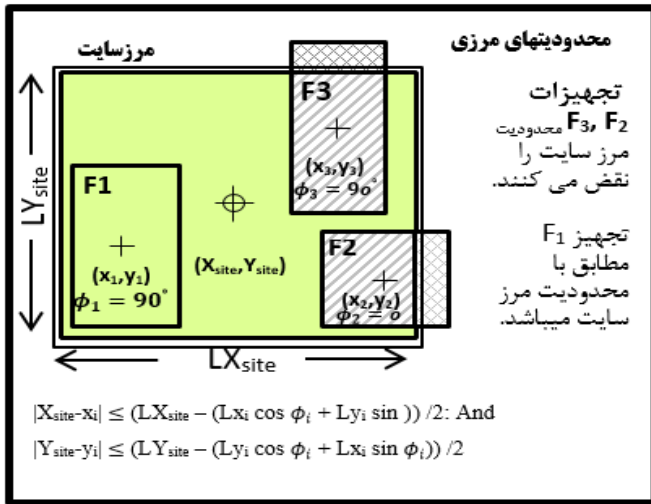
$$DC = \sum_{t=2}^T \sum_{j=1}^{F_T} C_o (D_{jo}^{t-1} + D_{oj}^t) \quad (۵)$$

رابطه‌ی ۶، نشان دهنده‌ی فاصله متعامد بین تجهیزات می‌باشد که با نماد D_{ij} نشان داده شده‌است. همچنین (x_i, y_i) و (x_j, y_j) مختصات متعامد از مرکز تسهیل i و j را نشان می‌دهند.

$$D_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (۶)$$

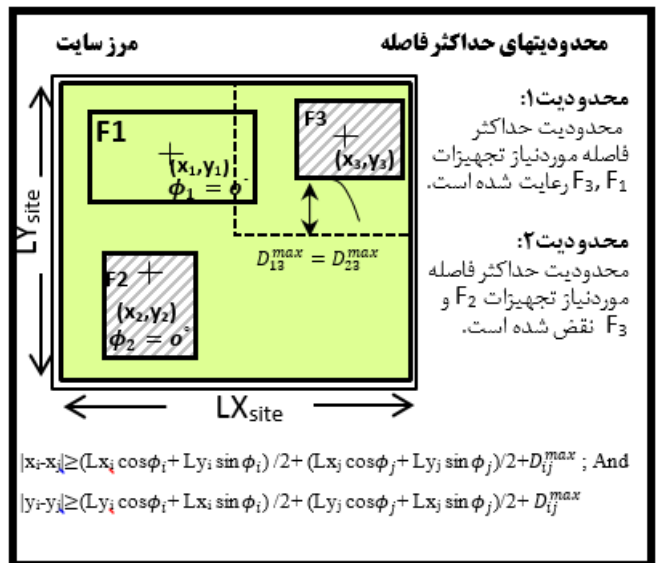
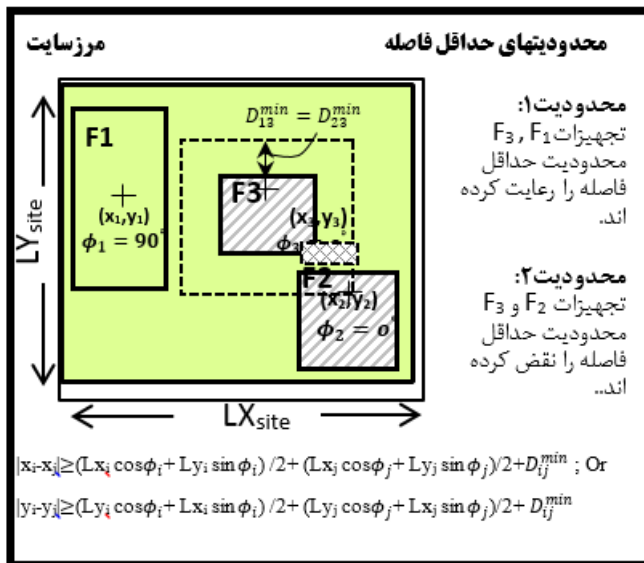
در این تحقیق جهت جانمایی تجهیزات در سایت، چهار دسته محدودیت در نظر گرفته شده‌است که در ذیل هر یک از این محدودیت‌ها به صورت کامل شرح داده می‌شود. پیش از ارائه روابط، پارامترهای مربوط به آن معرفی می‌شود. (X_o, Y_o) مختصات متعامد از مرکز انبار و (LX_o, LY_o) طول و عرض تعریف شده برای انبار می‌باشند. (X_{site}, Y_{site}) طول و عرض متعامد از مرکز سایت ساخت و (LX_{site}, LY_{site}) طول و عرض تعریف شده سایت ساخت می‌باشند. همچنین (Lx_i, Ly_i) طول و عرض تعریف شده برای تسهیل i می‌باشد. در نهایت φ_i و φ_j به ترتیب زاویه تسهیل i و j و D_{ij}^{min} و D_{ij}^{max} به ترتیب حداقل و حداکثر فاصله بین دو تسهیل i و j می‌باشد.

$$\begin{aligned} |x_o - x_i| &\geq \frac{(Lx_o \cos \varphi_o + Ly_o \sin \varphi_o)}{2} + \frac{(Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i)}{2} \quad (۷) \\ |y_o - y_i| &\geq \frac{(Ly_o \cos \varphi_o + Lx_o \sin \varphi_o)}{2} + \frac{(Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i)}{2} \end{aligned}$$



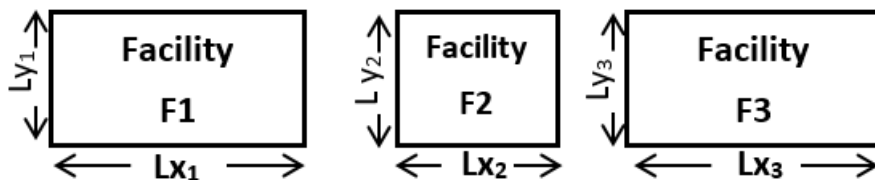
شکل ۲. محدودیت‌های طرح سایت به طور پیش فرض

Fig. 2. Site design limits by default



شکل (۳) سمت چپ

شکل (۳) سمت راست



شکل ۳. محدودیت‌های عملیاتی طرح سایت

Fig. 3. Site design limitations

جدول ۱. معرفی تجهیزات

Table 1. Introduction of equipment

نام تجهیز	حروف اختصاری
منطقه عملیاتی	F1
انبار روباز	F2
انبار سر پوشیده	F3
مخازن سوخت	F4
کارگاه ساخت و مونتاژ	F5
تاور کرین	F6
بچینگ	F7

جدول ۲. پارامترهای ورودی مربوط به مختصات و هزینه های مرتبط با هر تجهیز

Table 2. Input parameters for coordinate and cost of each facility

عرض	طول	VRC	FRC	تجهیز
۱۶۰	۴۶	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	F1
۳۲	۲۴	۴۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰	F2
۲۰	۱۸	۳۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	F3
۶	۶	۱۵۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	F4
۲۸	۱۶	۴۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰	F5
۴	۴	۲۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	F6
۲۰	۲۰	۳۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	F7

برنامه نویسی متلب، مهم ترین کاری که می بایست انجام شود، تنظیم پارامترهاست. حل مسئله با هر یک از مقادیر پارامترها، طی ۱۰۰ مرتبه اجرای نرم افزار انجام شده است و در نهایت مقداری به عنوان مقدار بهینه انتخاب گردیده است. مقداردهی پارامترهای ورودی مسئله، به صورت جداول ۲ تا ۵ نمایش داده شده است.

۵-۱- معرفی تجهیزات ثابت و متحرک و نحوه ی ورود آن ها در گام های مختلف

شکل ۴ بیانگر نحوه ی ورود تجهیزات متحرک و ثابت و زاویه ی قرارگیری تجهیزات و نیز شاخص موقعیت آن ها طی سه گام در سایت می باشد، بدین صورت است که:

تجهیزات ثابت ← هاشور زده

تجهیزات متحرک ← توپر

تجهیزات در نظر گرفته شده در این تحقیق، براساس مطالعه موردی می باشد. بدین ترتیب که تجهیزات f_1 ، f_2 ، f_3 ، f_4 و f_5 به عنوان تجهیز ثابت و تجهیزات f_6 و f_7 به عنوان تجهیزات متحرک در

حداکثر فاصله خود را نسبت به تجهیز f_1 حفظ کرده و همچنین تجهیزات f_2 و f_3 محدودیت حداکثر فاصله خود را نسبت به هم حفظ نکرده و محدودیت تعیین شده را نقض کرده است.

۴- معرفی مطالعه ی موردی

مطالعه ی موردی در نظر گرفته شده در این تحقیق به منظور ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، ساخت یک سازه ی بلند مرتبه واقع در شهر بابلسر می باشد که تجهیزات مورد نیاز برای تجهیز کارگاه ساختمانی آن به شرح جدول ۱ می باشد. لازم به ذکر است تمام داده های ورودی مورد نیاز برای حل مسئله پیشنهادی از مطالعه موردی ارائه شده استخراج گردیده است.

۵- حل مسئله با استفاده از الگوریتم فراابتکاری علف های هرز

و نرم افزار متلب^۱

پس از کدنویسی الگوریتم فراابتکاری علف های هرز در محیط

1 Matlab

جدول ۳. پارامتر ورودی مربوط به حداقل فاصله مجاز بین تجهیزات

Table 3. Input parameter related to minimum allowed distance between facilities

F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	
۵۰	۳۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۰	F1
۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۰	۵۰	F2
۵۰	۱۹.۸	۳۹	۱۹.۸	۰	۵۰	۵۰	F3
۵۰	۹.۶	۲۸.۸	۰	۱۹.۸	۵۰	۵۰	F4
۵۰	۲۸.۸	۰	۲۸.۸	۳۹	۵۰	۵۰	F5
۵۰	۰	۲۸.۸	۹.۶	۱۹.۸	۵۰	۳۰	F6
۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	F7

جدول ۴. پارامتر ورودی مربوط به حداکثر فاصله مجاز بین تجهیزات

Table 4. Input parameter related to minimum allowed distance between facilities

F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	
۲۹۷	۷۰	۲۲۰	۱۸۴.۸	۲۰۳.۵	۳۲۴.۵	۰	F1
۲۶۹.۵	۷۰	۱۹۲.۵	۱۵۷.۳	۱۷۶	۰	۳۲۴.۵	F2
۱۴۸.۵	۷۰	۷۱.۵	۳۶.۳	۰	۱۷۶	۲۰۳.۵	F3
۱۲۹.۸	۱۰۰	۵۲.۸	۰	۳۶.۳	۱۵۷.۳	۱۸۴.۸	F4
۱۶۵	۵۲.۸	۰	۵۲.۸	۷۱.۵	۱۹۲.۵	۲۲۰	F5
۷۰	۰	۵۲.۸	۱۰۰	۷۰	۷۰	۷۰	F6
۰	۷۰	۱۶۵	۱۲۹.۸	۱۴۸.۵	۲۶۹.۵	۲۹۷	F7

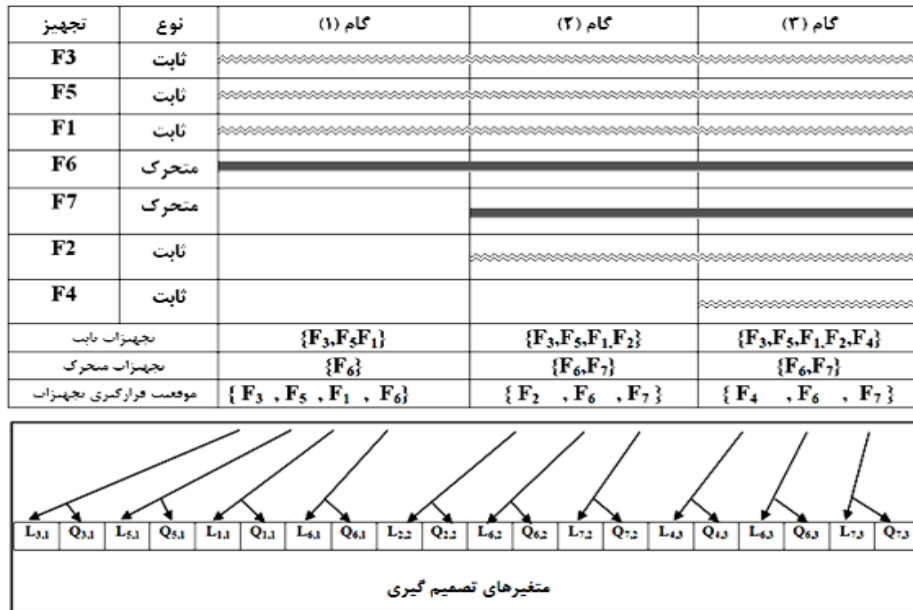
جدول ۵. پارامتر ورودی مربوط به هزینه سفر بین تجهیزات

Table 5. Input parameter related to travel cost between facilities

F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	
۱۰.۸	۶۷.۲	۸۰	۶۷.۲	۷۴	۱۱۸	۰	F1
۹۸	۵۷.۲	۷۰	۵۷.۲	۶۴	۰	۱۱۸	F2
۵۴	۱۳.۲	۲۶	۱۳.۲	۰	۶۴	۷۴	F3
۴۷.۲	۶.۴	۱۹.۲	۰	۱۳.۲	۵۷.۲	۶۷.۲	F4
۶۰	۱۹.۲	۰	۱۹.۲	۲۶	۷۰	۸۰	F5
۴۷.۲	۰	۱۹.۲	۶.۴	۱۳.۲	۵۷.۲	۶۷.۲	F6
۰	۴۷.۲	۶۰	۴۷.۲	۵۴	۹۸	۱۰.۸	F7

تجهیزات ثابت می‌باشند، بدون تغییر در مختصات در هر سه مرحله حضور پیدا کرده و با خط هاشور زده نشان داده شده‌است و به همراه آن تجهیز $[f_6]$ که به عنوان تجهیز متحرک می‌باشد، می‌تواند با تغییر مختصات در مراحل بعدی، وارد و جانمایی شود که با خط پر رنگ

نظر گرفته شده‌است، که در شکل ۴ نشان داده شده‌است. تفسیر شکل ۴ و مراحل انجام آن در سه گام نشان داده شده‌است که در ادامه این سه گام توضیح داده خواهد شد: گام اول- تجهیزات $[f_1, f_3, f_5]$ در این گام جانمایی شده و چون



شکل ۴. تجهیزات موقت ساخت و ساز
Fig. 4. Temporary construction equipment

۵-۲- جواب بهینه‌ی حدی با تابع هدف کمترین هزینه در سناریو

اول-دوم-سوم

در این مقاله به منظور تجزیه و تحلیل مدل پیشنهادی، سه سناریو در نظر گرفته شده‌است که به شرح جدول ۶ می‌باشد. در این راستا سعی گردید سناریوها براساس نحوه قرارگیری تجهیزات نسبت به هم طراحی گردد. بدین منظور تجهیز تاورکرین به عنوان تجهیزاتی که از نظر ایمنی دارای ریسک می‌باشد، مد نظر قرار گرفته و حداقل و حداکثر فاصله‌ای از آن نسبت به سایر تجهیزات به صورت سناریو طراحی شده‌است. از اینرو در این مقاله سه سناریو که فاصله تاورکرین از سه تجهیز مهم دیگر را کنترل می‌نماید، مد نظر قرار گرفته‌است. حداقل فاصله‌ای (D_{min}) که در سناریو اول بین دو تجهیز f_1 و f_6 در نظر گرفته شده‌است، برابر ۳۰ خواهد بود و حداقل فاصله‌ای (D_{min}) که در سناریو دوم بین دو تجهیز f_3 و f_6 در نظر گرفته شده‌است برابر با ۴۰ و حداکثر فاصله (D_{max}) برابر ۱۰۰ خواهد بود و همچنین حداقل فاصله‌ای (D_{min}) که در سناریو سوم برای دو تجهیز f_4 (مخزن سوخت) و f_6 (تاور کرین) به دلیل پر خطر بودن موقعیت این تجهیزات در نظر گرفته شده‌است برابر با ۴۰ و حداکثر فاصله (D_{max}) برابر ۱۰۰ خواهد بود.

در سناریو اول، دوم و سوم، از بین کلیه جواب‌ها در هر سناریو، یک جواب با کمترین هزینه انتخاب شده‌است. نحوه‌ی تخصیص و

(توپر) نشان داده شده‌اند.

گام دوم- کلیه‌ی تجهیزات $[f_5, f_3, f_1]$ که در گام قبل حضور داشته‌اند، در این گام نیز بدون تغییر مختصات، جانمایی شده و تجهیز $[f_6]$ هم به همین دلیل و با فرق اینکه چون تجهیز متحرک است، می‌تواند با تغییر مختصات حضور پیدا کرده و جانمایی شود و همچنین تجهیزات $[f_7, f_2]$ به عنوان تجهیزات جدید در این گام حضور پیدا کرده و جانمایی شده‌اند (تجهیز f_7 متحرک و تجهیز f_2 ثابت می‌باشد).

گام سوم- کلیه تجهیزات ثابتی که در مراحل قبل حضور داشته‌اند، در این گام نیز بدون تغییر در مختصات حضور دارند و تجهیزات $[f_7, f_6]$ که به عنوان تجهیزات متحرک در گام دوم جانمایی شده بودند، می‌توانند با تغییر در مختصات در گام سوم جانمایی شوند و همچنین تجهیز ثابت $[f_4]$ به عنوان تجهیز جدید در این گام اضافه شده و جانمایی می‌شود.

در پایین شکل نیز زاویه قرارگیری تجهیز f در گام t ($t = 1, 2, 3, \dots, 90$) درجه می‌باشد.

L_f, t نیز شاخص موقعیت تجهیز f در گام t می‌باشد. (موقعیتهای $1 \leftarrow N$)

$QF_3=90, QF_4=0, QF_5=90, QF_6=90, QF_7=0$

$QF_1=0, QF_2=90$ (زاویه قرارگیری تجهیزات در سایت (درجه))

جدول ۶. مشخصات سناریوها

Table 6. Scenarios specification

مشخصات سناریو ها		
سناریو ۱	$D_{min} F1, F6 = 30$	—
سناریو ۲	$D_{min} F3, F6 = 40$	$D_{max} F3, F6 = 100$
سناریو ۳	$D_{min} F4, F6 = 40$	$D_{max} F4, F6 = 100$

جدول ۷. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله اول از سناریو اول

Table 7. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the first stage of the first scenario

مختصات	مختصات تجهیزات {f1, f3, f5, f6} در گام اول-S1			
	f3	f1	f5	f6
X	85	169	94	80
Y	160	174	244	205

و $\gamma=105$ به عنوان تجهیز ثابت و جدید و تجهیز f7 با مختصات $x=43$ و $\gamma=194$ به عنوان تجهیز متحرک و جدید اضافه شده و جانمایی می‌شوند که در جدول ۸ قابل مشاهده است.

چیدمان تجهیزات در سه مرحله برای هر یک از این جواب‌ها در هر سناریو ارائه شده است که به طور کامل شرح داده می‌شود:

- مرحله اول در سناریو اول

حداقل فاصله‌ای که در سناریو اول برای تجهیزات f1 و f6 در نظر گرفته شده است برابر ۳۰ خواهد بود که این عدد قابل تغییر می‌باشد. در این مرحله، چهار تجهیز (f6, f5, f1, f3) که هویت این تجهیزات در جدول (۶) نشان داده شده است، تخصیص یافته، که تجهیزات (f5, f3, f1) به صورت ثابت و تجهیز f6 به صورت متحرک می‌باشد. همچنین مختصات مرکز تمامی تجهیزات در سناریو اول در جدول ۳ ذکر شده و قابل مشاهده است، به عنوان مثال در مرحله اول، تجهیز f3 با مختصات $x=85$ و $y=160$ و تجهیز f5، با مختصات $x=94$ و $y=244$ و تجهیز f1، با مختصات $x=169$ و $y=174$ و تجهیز آخر در این مرحله، تجهیز متحرک f6 با مختصات $x=80$ و $y=205$ می‌باشد.

- مرحله دوم در سناریو اول:

در این مرحله دو تجهیز f2 و f7 به عنوان تجهیز ثابت و متحرک به این گام اضافه شده که نحوه قرارگیری این دو تجهیز به صورت زیر می‌باشد:

تجهیزات (f6, f5, f1, f3) با مختصات قبلی خود در این مرحله وارد شده اند. همچنین در این مرحله تجهیز f2 با مختصات $x=13$

- مرحله سوم در سناریو اول:

در این مرحله، علاوه بر تجهیزات مرحله اول و دوم، یک تجهیز دیگر به عنوان تجهیز ثابت f4 با مختصات $x=101$ و $y=210$ به دیگر تجهیزات اضافه شده و جانمایی می‌شود که در جدول ۹ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که تجهیزات { f1-f2-f3-f5-f6-f7 } که در مرحله اول و دوم نیز حضور داشتند در این گام نیز بدون تغییر مختصات در همان مکان قبلی حضور داشته و جانمایی می‌شوند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سناریو اول از بین کلیه جواب‌ها در هر ۳ مرحله، یک جواب با کمترین هزینه انتخاب شده است. نحوه تخصیص و چیدمان تجهیزات در سه مرحله بطور کامل شرح داده شده است. نتایج کمینه‌سازی حدی هزینه‌های پروژه که مقدار بهینه آن برابر با کمترین هزینه ممکن برای جانمایی سایت خواهد بود به شرح جدول ۱۰ می‌باشد.

- مرحله اول در سناریو دوم:

حداقل فاصله‌ای (D_{min}) که در سناریو دوم برای دو تجهیز f3 و f6 در نظر گرفته شده، برابر با ۴۰ و حداکثر فاصله (D_{max}) برابر ۱۰۰ خواهد بود که این اعداد قابل تغییر می‌باشد. این حداقل فاصله

جدول ۸. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله دوم از سناریو اول

Table 8. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the second stage of the first scenario

مختصات تجهیزات {f1-f2-f3-f5-f6-f7} در گام دوم-S1						
مختصات	f3	f1	f5	f6	f2	f7
X	85	169	94	80	23	13
Y	160	174	244	205	105	194

جدول ۹. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله سوم از سناریو اول

Table 9. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the third stage of the first scenario

مختصات تجهیزات {f1-f2-f3-f4-f5-f6-f7} در گام سوم-S1							
مختصات	f3	f1	f5	f2	f7	f6	f4
X	85	169	94	23	13	80	101
Y	160	174	244	105	194	205	210

جدول ۱۱. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله اول از سناریو دوم

Table 11. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the first stage of the second scenario

مختصات تجهیزات {f1-f3-f5-f6} در گام اول-S2				
مختصات	f3	f5	f1	f6
X	۸۵	۲۶	۱۶۸	۷۸
Y	۱۶۰	۱۵۱	۱۳۵	۱۱۳

جدول ۱۰. مقادیر جواب حدی کمینه سازی هزینه پروژه در سناریو اول

Table 10. Limit values of project cost minimization in the first scenario

هزینه‌ها (هزار تومان)	
TC	۳۹۴۰۸۷
RC	۱۱۰۰۰۰۰
DC	۴۰۵۶۱۱
هزینه کل	۱۸۹۹۶۹۸

- مرحله‌ی سوم در سناریو دوم:
در این مرحله علاوه بر شش تجهیز (f1, f2, f3, f5, f6, f7) که در مرحله قبل جانمایی شده بودند، یک تجهیز جدید جانمایی شده که در جدول ۱۲ به طور کامل نشان داده شده است. تجهیز ثابت f4 با مختصات مرکز X = ۸۵ و Y = ۱۳۴ به دیگر تجهیزات اضافه می‌گردد. همچنین کلیه تجهیزاتی که در مرحله دوم جانمایی شده بودند، با همان مختصات قبل خود و بدون تغییر در این گام نیز جانمایی می‌شوند که در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سناریو دوم، از بین کلیه جواب‌ها در هر ۳ مرحله، یک جواب با کمترین هزینه انتخاب شده است. نحوه‌ی تخصیص و چیدمان تجهیزات در سه مرحله بطور کامل شرح داده شد، نتایج کمینه‌سازی حدی هزینه‌های پروژه که مقدار بهینه آن برابر با کمترین هزینه ممکن برای جانمایی سایت خواهد بود به شرح جدول ۱۴ آمده است.

همان‌طور که قبلاً گفته شد به دلیل موقعیت خطرناکی که این دو تجهیز نسبت به هم داشته‌اند تعیین شده است. در این مرحله، چهار تجهیز (f1, f3, f5, f6) تخصیص یافته که تجهیزات (f5, f3, f1) به عنوان تجهیز ثابت و تجهیز f6 به عنوان تجهیز متحرک می‌باشند که مختصات مرکز تجهیزات ذکر شده در جدول ۱۱ آورده شده است.

- مرحله‌ی دوم در سناریو دوم:

در این مرحله شش تجهیز (f1, f2, f3, f5, f6) تخصیص یافته که سه تجهیز f5, f3, f1 به عنوان تجهیز ثابت و همچنین یک تجهیز f6 به عنوان تجهیز متحرک که با همان مختصات مرکز در گام اول و اضافه شدن دو تجهیز جدید شماره (f7, f2) که تجهیز f2 به عنوان تجهیز ثابت با مختصات X = ۱۶ و Y = ۶۹ و تجهیز f7 به صورت متحرک با مختصات مرکز X = ۸۹ و Y = ۵۴ می‌باشند.

جدول ۱۲. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله‌ی دوم از سناریو دوم

Table 12. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the second stage of the second scenario

مختصات تجهیزات {f1-f2-f3-f5-f6-f7} در گام دوم-S2						
مختصات	f3	f5	f1	f6	f7	f2
X	85	26	168	78	91	14
Y	160	151	135	113	57	66

جدول ۱۳. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله‌ی سوم از سناریو دوم

Table 13. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the third stage of the second scenario

مختصات تجهیزات {f1-f2-f3-f4-f5-f6-f7} در گام سوم-S2							
مختصات	f3	f5	f1	f2	f6	f7	f4
X	85	26	168	14	78	91	88
Y	160	151	135	66	113	57	130

جدول ۱۵. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله‌ی اول از سناریو سوم

Table 15. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the first stage of the third scenario

مختصات تجهیزات {f1-f3-f5-f6} در گام اول-S3				
مختصات	f3	f5	f1	f6
X	85	20	180	80
Y	160	167	174	205

جدول ۱۴. مقادیر جواب حدی کمینه سازی هزینه پروژه در سناریو دوم

Table 14. Limit values of project cost minimization in the second scenario

هزینه‌ها (هزار تومان)	
TC	381204
RC	1100000
DC	479614
هزینه کل	1960818

جانمایی شده بوده‌اند، با همان مختصات قبل خود و بدون تغییر در این گام نیز جانمایی می‌شوند.

- مرحله‌ی سوم در سناریو سوم:

در این مرحله علاوه بر شش تجهیز (f1, f2, f3, f4, f5, f6) که در مرحله قبل جانمایی شده بودند، یک تجهیز جدید و ثابت f4 با مختصات مرکز $X = 77$ و $Y = 136$ به دیگر تجهیزات اضافه می‌گردد. همچنین کلیه تجهیزاتی که در مرحله‌ی دوم جانمایی شده بودند، با همان مختصات قبل خود و بدون تغییر در این گام نیز جانمایی می‌شوند که در جدول ۱۷ نشان داده شده‌است.

نتایج کمینه‌سازی حدی هزینه‌های پروژه که مقدار بهینه آن برابر با کمترین هزینه ممکن برای جانمایی سایت خواهد بود به شرح جدول ۱۸ می‌باشد.

- مرحله‌ی اول در سناریو سوم:

در این مرحله چهار تجهیز (f1, f3, f5, f6) در سایت جانمایی شده که سه تجهیز (f1, f3, f5) به عنوان تجهیز ثابت و یک تجهیز f6 به عنوان تجهیز متحرک با مختصات $X = 78$ و $Y = 203$ می‌باشد که در جدول (۱۵) نشان داده شده‌است.

- مرحله‌ی دوم در سناریو سوم:

در این مرحله علاوه بر چهار تجهیز (f1, f3, f5, f6) که در مرحله قبل جانمایی شده بودند، دو تجهیز جدید (f2, f7) در این مرحله به روند جانمایی سایت اضافه شده که یکی از آن‌ها تجهیز (f7) به عنوان تجهیز متحرک با مختصات $X = 86$ و $Y = 269$ و دیگری تجهیز f2 به عنوان تجهیز ثابت با مختصات $X = 13$ و $Y = 251$ می‌باشند. لازم به ذکر است که در جدول (۱۶)، کلیه تجهیزاتی که در مرحله‌ی اول

جدول ۱۶. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله‌ی دوم از سناریو سوم

Table 16. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the second stage of the third scenario

مختصات تجهیزات {f1-f2-f3-f5-f6-f7} در گام دوم-S3						
مختصات	f3	f5	f1	f6	f2	f7
X	85	20	180	80	15	89
Y	160	167	174	205	244	268

جدول ۱۷. مختصات تجهیزات با تابع هدف کمترین هزینه در مرحله‌ی سوم سناریو سوم

Table 17. The coordinates of the equipment with the objective function of the minimization of the cost in the third stage of the third scenario

مختصات تجهیزات {f1-f2-f3-f4-f5-f6-f7} در گام سوم-S3							
مختصات	f3	f5	f1	f2	f6	f7	f4
X	85	20	180	15	80	89	72
Y	160	167	174	244	205	268	133

مرتبه اجرای نرم‌افزار می‌باشد و در نهایت مقداری به عنوان مقدار بهینه انتخاب گردیده است که کمترین هزینه را طی ۱۰۰ مرتبه اجرای نرم‌افزار داشته باشد. طبق شکل ۵ مقدار هزینه از مقدار ۱/۹۹ به ۱/۸۶ کاهش پیدا کرده است.

شکل ۶ نشان‌دهنده‌ی حل مسئله با هر یک از مقادیر پارامترها برای سناریو دوم، طی ۱۰۰ مرتبه اجرای نرم‌افزار می‌باشد و مطابق این شکل مقدار هزینه از مقدار ۲/۰۳ به ۱/۹۲ کاهش پیدا کرده است. همین روند برای سناریو سوم نیز انجام شده است که روند تغییرات هزینه در تکرارهای مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در سناریو سوم، مقدار هزینه از مقدار ۲/۰۷ به ۲ کاهش پیدا کرده است.

۵-۳-۲ موقعیت جانمایی تجهیزات در سایت در سناریو اول- دوم-

سوم:

اشکال ۸ الی ۱۰ که در ذیل آمده است، شرایط بهترین موقعیت جانمایی تجهیزات در سایت و نحوه‌ی تخصیص و چیدمان تجهیزات در سه مرحله را نشان می‌دهد. در این پروژه، همانطور که قبلاً هم گفته شده از ۷ تجهیز در مراحل ساخت استفاده شد که تجهیز شماره f3 (انبار سرپوشیده) به عنوان تجهیز ثابت با مختصات $X = 90$ و $Y = 170$ می‌باشد که در تمامی مراحل جانمایی، کلیه‌ی تجهیزات با توجه به حداقل و حداکثر فاصله، می‌بایستی نسبت به تجهیز شماره ۳ (انبار سرپوشیده) جانمایی گردد، یعنی فواصل خود

جدول ۱۸. مقادیر جواب حدی کمینه سازی هزینه پروژه در سناریو سوم

Table 18. Limit values of project cost minimization in the third scenario

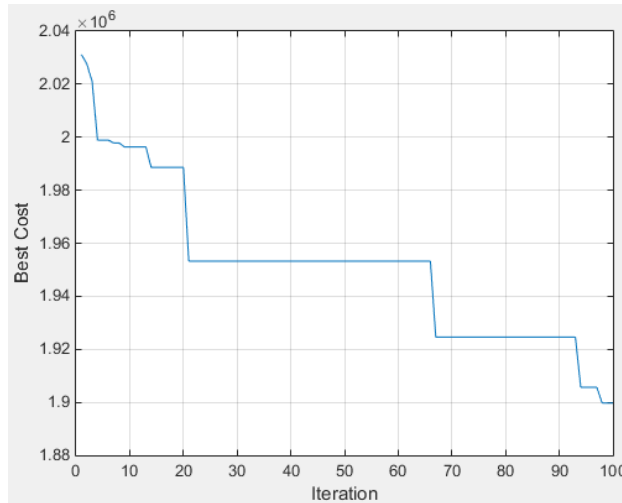
هزینه‌ها (هزار تومان)	
TC	400871
RC	1100000
DC	439047
هزینه کل	1939918

۵-۳-۳ خروجی‌های مسئله

با توجه به ابزار مربوطه در نرم‌افزار متلب و ورودی‌های مربوط به حالت‌های مختلف مسئله، خروجی‌های متعددی از این نرم‌افزار حاصل می‌شود که با بررسی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌توان به نتایج مختلفی دست پیدا کرد.

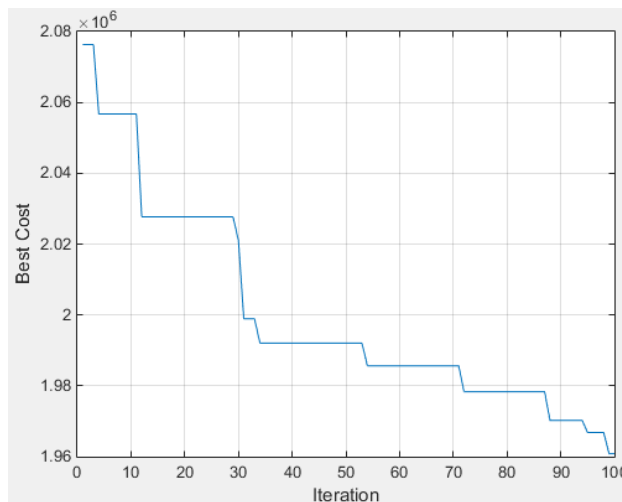
۵-۳-۱- جواب‌های بهینه در سناریو اول- دوم- سوم:

اشکال ۵ الی ۷ که در ذیل آمده است، شرایط جواب‌های حاصل شده در حالت‌های مختلف مسئله را نشان می‌دهند، همانطور که در تمامی این نمودارها مشخص است، جواب‌های بهینه در حالت‌های مختلف قرار دارند که این موضوع به این معنی است که با توجه به تابع هدف (تک‌هدفه) تعریف شده، با افزایش تعداد تکرارها، هزینه نیز در هر تکرار کاهش پیدا می‌کند که به ترتیب نمودارهای جواب‌های بهینه حالت‌های مختلف مسئله را نشان می‌دهند. شکل ۵ نشان‌دهنده‌ی حل مسئله با هر یک از مقادیر پارامترها برای سناریو اول، طی ۱۰۰



شکل ۵. جواب بهینه از لحاظ هزینه در سناریو اول

Fig. 5. The optimal cost response in the first scenario



شکل ۶. جواب بهینه از لحاظ هزینه در سناریو دوم

Fig. 6. The optimal cost response in the second scenario

در نظر گرفته شده است.

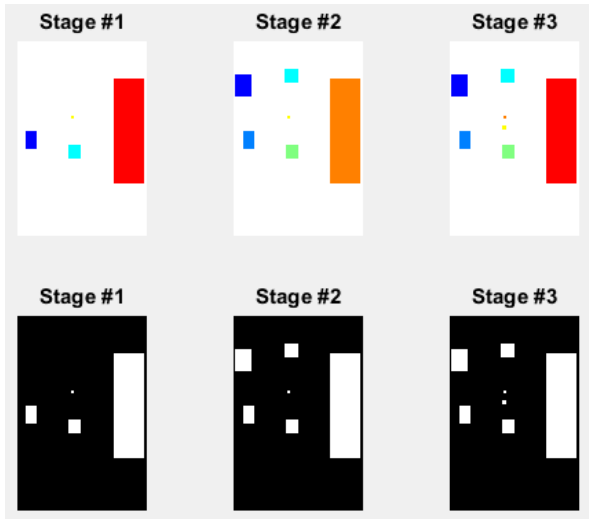
همچنین در ادامه شکل ۹ و ۱۰ نیز که مربوط به موقعیت جانمایی تجهیزات در سایت در سناریوی دوم و سوم می باشد، نشان داده شده است که مطابق با روند توضیح داده شده در بخش های قبلی در سایت مورد نظر جانمایی شده است.

۴-۵- اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی

به منظور اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی، مدل ریاضی پیشنهادی در نرم افزار حل دقیق GAMS پیاده سازی شده و مسئله‌ی نمونه با در نظر گرفتن سناریو اول توسط آن حل گردیده است. به منظور ساده سازی در حل مسئله به صورت دقیق از در نظر

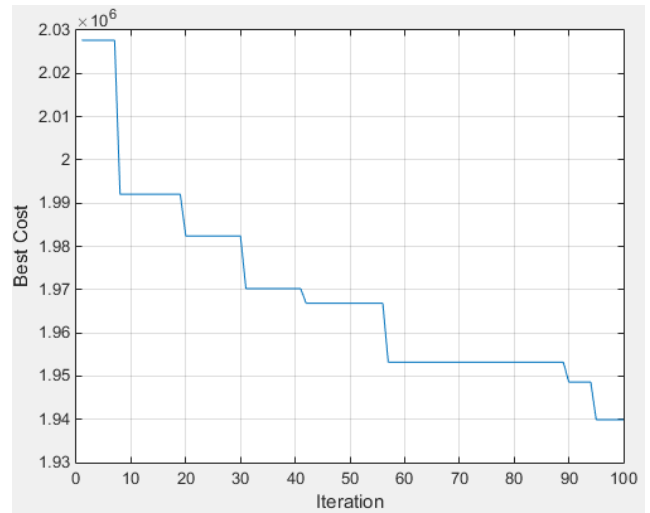
را با انبار سرپوشیده رعایت کنند. شکل ۸ موقعیت جانمایی تجهیزات

در سایت در سناریوی اول را نشان می دهد که در ادامه آمده است. همان طور که مشاهده می شود در شکل ۸ (سناریو اول) در مرحله ی اول چهار تجهیز (f_۱, f_۳, f_۵, f_۶) و در مرحله ی دوم علاوه بر چهار تجهیز در گام اول، دو تجهیز (f_۲, f_۷) جانمایی شده و در مرحله ی سوم علاوه بر تجهیزات گام اول و دوم یک تجهیز شماره f_۴ اضافه شده و جانمایی می گردد (لازم به ذکر است ماهیت تمامی تجهیزات و تجزیه و تحلیل تخصیص تجهیزات ذکر شده در قسمت های قبل به طور کامل توضیح داده شده است). موقعیت جانمایی تجهیزات که به صورت سیاه و سفید در شکل ۸ نمایش داده شده است، همان تجهیزات رنگی می باشد که فقط جهت بهتر دیده شدن موقعیت تجهیزات در سایت



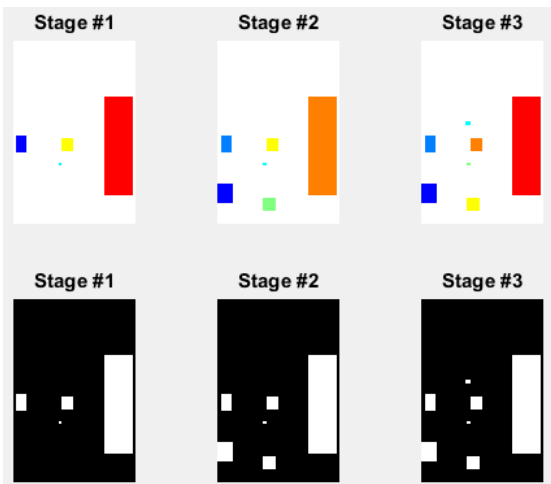
شکل ۹. موقعیت جانمایی تجهیزات در سایت در سناریو دوم

Fig. 9. Locating equipment on the site in the second scenario



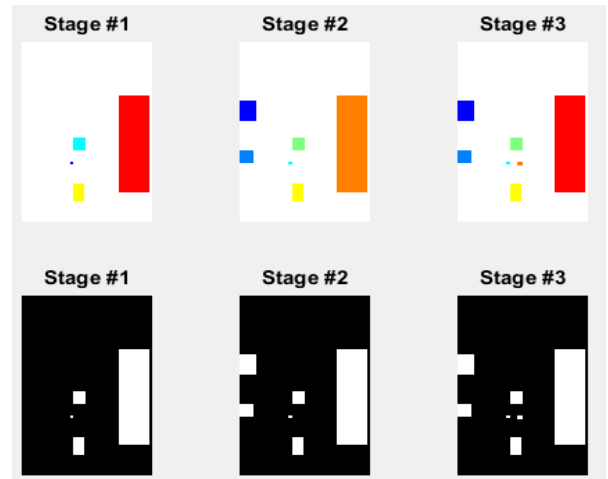
شکل ۷. جواب بهینه از لحاظ هزینه در سناریو سوم

Fig. 7. The optimal cost response in the third scenario



شکل ۱۰. موقعیت جانمایی تجهیزات در سایت در سناریو سوم

Fig. 10. Locating equipment on the site in the third scenario



شکل ۸. موقعیت جانمایی تجهیزات در سایت در سناریو اول

Fig. 8. Locating equipment on the site in the first scenario

$$RC_m^{t(t-1)} = E_m \times \begin{cases} 0 & \varphi_m^t = \varphi_m^{t-1} \text{ AND } D_m^{t(t-1)} = 0 \\ (FRC_m + VRC_m D_m^{t(t-1)}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۴)$$

$$DC = \sum_{t=2}^T \sum_{j=1}^{F_t} C_o D_{jo}^{t-1} D_{oj}^t \quad (۵)$$

$$D_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (۶)$$

$$|x_o - x_i| \geq \frac{(Lx_o + Ly_o)}{2} + \frac{(Lx_i + Ly_i)}{2} \quad (۷)$$

گرفتن زوایا در مدل پیشنهادی صرف نظر شده است. بدین ترتیب مدل ریاضی پیشنهادی به صورت زیر بازنویسی شده است.

$$\min TC + RC + DC \quad (۱)$$

$$TC = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{F_{t-1}} \sum_{j=i+1}^{F_t} TCR_{ij}^t D_{ij}^t \quad (۲)$$

$$RC = \sum_{t=2}^T \sum_{m=1}^{NMF_t} RC_m^{t(t-1)} \quad (۳)$$

جدول ۲۰. مقدار به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی

Table 20. The value obtained from the proposed algorithm

مقدار	هزینه (نماد)
۳۴۸۶۱۲	سفر تجهیزات (TC)
۱۱۰۰۰۰۰	جابه‌جایی تجهیزات متحرک (RC)
۳۶۶۴۵۷	رفت و آمد به انبار (DC)

IWO پیشنهادی در جدول ۲۰ گزارش شده است.

با مقایسه دو جدول فوق مشاهده می‌شود که نتایج به دست آمده از دو روش با هم برابر بوده، بنابراین می‌توان بیان نمود الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی توانایی یافتن بهترین جواب را برای مسئله ای با چنین ابعادی داشته است. در نتیجه می‌توان گفت الگوریتم پیشنهادی دارای صحت کافی برای حل مسائل با ابعاد بزرگ تر می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مسئله‌ی بهینه‌سازی جانمایی دینامیک تجهیزات در کارگاه ساختمانی مربوط به پروژه‌های ساخت مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه دو نوع تجهیز ثابت و متحرک در نظر گرفته شده، طوریکه قابلیت جابه‌جایی تجهیزات متحرک در دوره‌های زمانی مختلف وجود دارد. هدف در نظر گرفته شده در این تحقیق، حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های حمل و نقل بین تجهیزات، هزینه تغییر مکان تجهیزات متحرک و هزینه جابه‌جایی بین تجهیزات و انبار بوده است. بدین منظور یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی ارائه شده و برای حل آن در ابعاد واقعی و بزرگ یک الگوریتم بهینه‌سازی علفهای هرز توسعه داده شده است. به منظور ارزیابی مدل پیشنهادی، یک مطالعه موردی شامل یک سایت ساختمانی در شهر بابلس می‌باشد که به منظور استقرار کارگاه آن نیاز به هفت تجهیز است که پنج تجهیز آن ثابت و دو مورد دیگر متحرک می‌باشند. به منظور ارزیابی مدل پیشنهادی، سه سناریو مختلف در نظر گرفته شده که در آن‌ها فاصله بین تجهیزات متفاوت می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی چیدمان بهینه به دست آمده از هر یک از سناریوها را به صورت شماتیک به عنوان خروجی نشان داده است. نتایج به دست آمده، نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی بوده، طوریکه می‌توان از آن برای بهبود چیدمان تجهیزات در کارگاه‌های واقعی استفاده نمود. از نتایج

جدول ۱۹. مقدار به دست آمده از حل دقیق GAMS

Table 19. The value obtained from the exact solution

مقدار	هزینه (نماد)
۳۴۸۶۱۲	سفر تجهیزات (TC)
۱۱۰۰۰۰۰	جابه‌جایی تجهیزات متحرک (RC)
۳۶۶۴۵۷	رفت و آمد به انبار (DC)

$$|y_o - y_i| \geq \frac{(Ly_o + Lx_o)}{2} + \frac{(Ly_i + Lx_i)}{2}$$

$$|X_{site} - x_i| \leq (LX_{site} - (Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i)) / 2; \text{ and } (8)$$

$$|Y_{site} - y_i| \leq (LY_{site} - (Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i)) / 2$$

$$|x_i - x_j| \geq (Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i) / 2 + (Lx_j \cos \varphi_j + Ly_j \sin \varphi_j) / 2; \text{ Or } (9)$$

$$|y_i - y_j| \geq (Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i) / 2 + (Ly_j \cos \varphi_j + Lx_j \sin \varphi_j) / 2$$

$$|x_i - x_j| \geq (Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i) / 2 + (Lx_j \cos \varphi_j + Ly_j \sin \varphi_j) / 2 + D_{ij}^{min}; \text{ OR } (10)$$

$$|y_i - y_j| \geq (Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i) / 2 + (Ly_j \cos \varphi_j + Lx_j \sin \varphi_j) / 2 + D_{ij}^{min}$$

$$|x_i - x_j| \leq (Lx_i \cos \varphi_i + Ly_i \sin \varphi_i) / 2 + (Lx_j \cos \varphi_j + Ly_j \sin \varphi_j) / 2 + D_{ij}^{max}; \text{ and } (11)$$

$$|y_i - y_j| \leq (Ly_i \cos \varphi_i + Lx_i \sin \varphi_i) / 2 + (Ly_j \cos \varphi_j + Lx_j \sin \varphi_j) / 2 + D_{ij}^{max}$$

مدل ریاضی فوق در نرم افزار GAMS پیاده سازی شده و مسئله نمونه در شرایط سناریو اول را حل نموده است. خروجی به دست آمده از حل دقیق به شرح جدول ۱۹ می‌باشد.

همچنین الگوریتم پیشنهادی براساس مدل ریاضی جدید بازنویسی شده و مسئله نمونه با در نظر گرفتن سناریو اول توسط آن حل شده است. نتایج به دست آمده از حل مسئله توسط الگوریتم

Management C ASCE.

- [6]. Roohparvar, M., Ravanshadnia, M., 2011, "Steps of designing the construction site layout with a focus on determining the dimensions of the facility and the relationships between them", The Second International Conference on Strategic Project Management
- [7]. Mahmoudabadi, E., Beheshti Rad, M., Mohammadizadeh, M., (2014), "Optimization of layout and installation of equipment in construction site", National Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Management
- [8]. Asadzadeh, M., Gholipour, Y., (2014), "Development of an algorithm for optimizing the arrangement of hazardous equipment on the construction site to achieve maximum safety at the location of the facility", 15th Civil Students Nationwide Conference
- [9]. Asadzadeh, M., Gholipour, Y., (2015), "Optimizing the location of facilitation under the effect of tower crane risk at the construction site with regard to safety", 10th International Congress of Civil Engineering (In Persian).
- [10]. Andayesh, M., and Sadeghpour, F., 2014, "The time dimension in site layout planning", Automation in Construction, Volume 44, pages139 –129.
- [11]. Huang, C., and Wong, C.K., 2015, "Optimisation of site layout planning formultiple construction stageswith safety considerations and requirements", Automation in Construction, Volume 53, pages68 –58.
- [12]. Hammad, A.W.A., Akbarnezhad, A., Rey ., 2015, "A multi-objective mixed integer nonlinear programming model for construction site layout planning to minimise noise pollution and transport costs", Automation in Construction, Volume 53, pages68 –58.
- [13]. Ning, X., Ding, L. Y., Lou, H.B., Qi, S. J. 2016, "A multi-attribute model for construction site layout using intuitionistic fuzzy logic", Automation in Construction, (Article in press).
- [14]. Papadaki, I. N., Chassiakos, A. P., 2016, "Multi-Objective construction site layout planning using genetic algorithms", Procedia Engineering, Volume 164, pages 27 –20.

به‌دست آمده از این پژوهش، کلیه‌ی طراحان، سازمان‌ها، ارگان‌های دولتی، شرکت‌ها و بخش‌های خصوصی مرتبط با پروژه‌های ساخت می‌توانند جهت بهینه‌کردن جانمایی تجهیزات کارگاه استفاده‌نموده و با بهبود مدیریت و کاهش هزینه در اجرای پروژه‌ها به رشد اقتصادی و مدیریتی نیز دست یابند. همچنین می‌توان برای اعتبارسنجی بیشتر مدل پیشنهادی از روش‌های حل دیگری بهره‌برد. در این مطالعه هدف اصلی حداقل‌سازی هزینه‌های مربوط به چیدمان تجهیزات در یک کارگاه بوده‌است، در حالیکه می‌توان اهداف دیگری همچون ایمنی نیروهای انسانی و حتی تجهیزات را مدنظر قرار داد. همچنین در این تحقیق به منظور در نظر گرفتن فاصله بین تجهیزات از فاصله متعامد استفاده شده‌است که در تحقیقات آتی می‌توان از روش‌های دیگری به منظور در نظر گرفتن فاصله بین تجهیزات استفاده کرد. با توجه به مشخصه‌های تاورکرین، علاوه‌بر محدودیت‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق، می‌توان محدودیت‌های دیگری را نیز مدنظر قرار داد.

- 1 Andayesh
- 2 Sadeghpour
- 3 Huang
- 4 Wang
- 5 Hammad
- 6 Ning
- 7 Papadaki
- 8 Chassiakos
- 9 Yi
- 10 Mehrabian
- 11 Lucas

مراجع

- [1]. Kiomehr, M., (2005), "Application of genetic algorithm in management and location of construction workshops", MSc thesis in Islamic Azad University, Science and research branch
- [2]. Abdollahipour, M, (2004), "Optimal deployment of office units using AHP method", MSc thesis in Yazd university
- [3]. Alvani, M., Mirshafiee, N, 2006, " Production Management", Behnashr Publication
- [4]. Entezarkhiz, E, 2008, "Construction site layout from the point of view of safety in construction site", The first National Conference on Safety in Construction Site
- [5]. Elbeltagi, E., Hegazi, T., Eldosouky, A., (2004), "Dynamic, layout of Construction Temporary Facilities Considering Safety", Journal of Construction. Engineering &

- construction site layout, Automation in Construction, Volume 89, pages 12 –1.
- [18]. Mehrabian, A.R.and.Lucas.C, 2006, “A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization,” Ecological Informatics, Vol.1,pp 366–355.
- [19]. Said, H., El-Rayes., 2013, “Performance of global optimization models for dynamic site layout planning of construction projects”, Automation in Construction, Vol. 36, pp 78-71.
- [15]. Yi, W., Chi, H., Wang, S., 2018, “Mathematical programming models for construction site layout problems”, Automation in Construction, Volume 85, pages 248 –241.
- [16].Ning, X., Qi, J., Wu, C., 2018, “A quantitative safety risk assessment model for construction site layout planning”, Safety Sciences, Volume 104, pages 259 –246.
- [17]. Ning , X., Qi, J., Wu, C., Wang, W., 2018, “A tri-objective ant colony optimization based model for planning safe

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M.J. Taheri Amiri, M. Hematian, F.R. Haghighi, M. Javaheri Barforooshi, Site Layout Optimization and its Impact on the Cost of Construction Projects, Amirkabir J. Civil Eng., 53(2) (2021) 495-514.

DOI: [10.22060/ceej.2020.15506.5945](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.15506.5945)



