



Research Article

Optimization in civil engineering based on meta-heuristic algorithms

Afshin Ebadi^{1*}, Mostafa Ghazi Moradi²

*1**- PhD student in Civil Engineering and Construction Management, Islamic Azad University, Kashan Branch, Kashan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 02 January 2025; Revised: 05 January 2025; Accepted: 12 February 2025; Published: 21 March 2025

Abstract:

Metaheuristic optimization methods inspired by natural phenomena have rapidly grown significantly for solving optimization problems in various scientific fields, including civil engineering. One of the strengths of this metaheuristic approach is that it can solve problems in a wide space without the need for a continuous or differentiable objective function. Metaheuristic approaches are strategies that guide the process of searching for optimal answers in problems so that the search space for answers becomes efficient and appropriate answers are obtained in the problems. For this purpose, this approach has also been used significantly in civil engineering problems and has reported a clear perspective. The goal of multi-objective optimization in civil engineering problems has been to find acceptable answers and present them to the decision maker for the management and planning of construction projects with the approach of evaluating financial and time savings. Today, with the advancement of optimization algorithms and computers with high speed and processing power, serious challenges in civil engineering topics, including project scheduling, equipping and locating construction sites, and civil engineering approaches in crisis management, have been studied by researchers and scholars. In this study, a more detailed study of meta-heuristic algorithms was conducted by reviewing previous studies in this regard, and their mechanism and characteristics in civil engineering topics were evaluated.

Keywords: *Optimization methods, meta-heuristic algorithm, project management and planning, workshop equipment and layout, project scheduling*

Cite this article as: ebadi, A. and Ghazi Moradi, M. (2025). Optimization in civil engineering based on meta-heuristic algorithms. (e215177). Civil and Project, 7(1), e215177
<https://doi.org/10.22034/cpj.2025.503998.1342>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2025 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

بهینه سازی در مهندسی عمران مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری افشین عبادی^{۱*}، مصطفی قاضی مرادی^۲

*۱- دانشجوی دکتری عمران، مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان، کاشان، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳ دی ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۶ دی ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۲۴ بهمن ۱۴۰۳؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ فروردین ۱۴۰۴

چکیده

روش‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری با الهام از پدیده‌های طبیعی به سرعت برای حل مسائل بهینه‌سازی در زمینه‌های مختلف علمی از جمله مهندسی عمران رشد قابل توجهی پیدا کرده است. از نکات قوت این رویکرد فرا ابتکاری می‌توان به حل مسئله در یک فضای گسترده بدون نیاز به تابع هدف پیوسته یا مشتق پذیر دانست. رویکرد فرا ابتکاری استراتژی‌هایی هستند که فرآیند جستجوی پاسخ‌های بهینه در مسائل را هدایت می‌کنند تا فضای جستجوی جوابها بصورت کارآمد بررسی گردند و پاسخ‌های مناسب در مسائل حاصل شود. برای این منظور در مسائل مهندسی عمران نیز این رویکرد بصورت چشم‌گیری استفاده شده و چشم‌انداز روشنی را گزارش نموده است. هدف از بهینه‌سازی چندهدفه در مسائل مهندسی عمران یافتن جواب‌های قابل قبول و ارایه آن به تصمیم‌گیرنده جهت مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌های عمرانی با رویکرد ارزیابی صرفه جویی‌های مالی-زمانی بوده است. امروزه با پیشرفت الگوریتم‌های بهینه‌سازی و کامپیوترهای با سرعت و قدرت پردازش بالا چالش‌های جدی در موضوعات مهندسی عمران از جمله زمانبندی پروژه، تجهیز و جانمایی کارگاه‌های ساختمانی و رویکردهای عمرانی در مدیریت بحران مورد بررسی محققین و پژوهشگران قرار گرفته است. در این پژوهش با بررسی مروری مطالعات پیشین در این ارتباط بررسی دقیق تری از الگوریتم‌های فرا ابتکاری انجام شده و سازوکار و ویژگی‌های آن‌ها در موضوعات عمرانی ارزیابی شده است.

کلمات کلیدی: روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم فرا ابتکاری، مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه، تجهیز و جانمایی کارگاه، زمان بندی پروژه

۱- مقدمه

بر علم مدیریت پروژه در دهه‌های پایانی قرن بیستم، شاخه‌ای جدید به نام مدیریت پروژه، افزوده شد. این علم بر انجام دادن موفق فعالیت‌های پروژه با کمک تلاش انسان‌ها و بهره‌گرفتن از همه ابزارها تأکید دارد و سعی در کنترل کردن و استفاده کردن بهینه از منابع را دارد. مدیریت پروژه شاخه جدیدی از علم مدیریت می‌باشد و در کشورهای پیشرفته و صنعتی عمر آن بین ۴۵ تا ۵۰ سال است و در کشورهای در حال توسعه مانند کشور ایران کمتر از این مقدار می‌باشد. مدیریت پروژه در زمینه‌های مختلف کاربردی مانند ساختمان‌سازی، دفاعی و مهندسی گسترش پیدا کرده است. تفاوت مهم این شاخه از علم مدیریت با سایر شاخه‌های آن در کاربرد و طریقه استفاده از آن است. پروژه، فرآیندی است ساختار یافته که در آن، ابزار و تکنیک‌های گوناگونی برای مدیریت مؤثر منابع محدود برای رسیدن به اهدافی با کیفیتی که از قبل مشخص است، استفاده می‌شود. کنترل کردن هزینه و پیش‌بینی کردن از آینده، از مهم‌ترین هدف‌های مدیران پروژه می‌باشد و یکپارچه‌سازی منطقی و اصولی اطلاعات هزینه و زمان‌بندی پروژه در ساختاری معنی‌دار و منطقی، همیشه چالش اساسی مدیران پروژه است. محیط پروژه، محیطی می‌باشد که در آن تحولات با سرعت شگفت‌انگیزی رخ خواهد داد (تران و همکاران، ۲۰۱۹). مدیریت پروژه، نیازمند آگاهی از مدیریت نوین و تازه و همچنین درک کردن فرآیندهای طراحی و ساخت می‌باشد. پروژه‌های ساخت، مجموعه‌ای از هدف‌های معین و محدودیت‌هایی مانند چارچوب زمانی، کیفیت و بودجه مشخص برای تکمیل شدن خواهند داشت. مدیریت تحت عنوان یک الزام از دوران بشر اولیه تا کنون در همه فعالیت‌های اجتماعی بشریت حاضر است و امروزه به عنوان یک فرآیند اجتماعی، منبع اصلی در توسعه کشورها به شمار خواهد رفت (کرز، ۲۰۱۹). اگر پروژه‌ها مدیریت و کنترل نشوند، نمی‌توان از منابع هزینه شده به درستی بهره‌برداری کرد و منابع اتلاف خواهد شد و ممکن است باعث زیاد شدن زمان پروژه شود در واقع مدیریت پروژه به مدیران و کارفرمایان کمک می‌کند تا موفق شوند، خطرات مضر را کاهش دهند و بهره‌برداری از پروژه‌ها را تسریع بخشند (شاه ابراهیمی و همکاران، ۲۰۲۰). در زمان حال، فعالیت‌های برنامه‌ریزی و کنترل پروژه در بیشتر سازمان‌ها، به بحث مدیریت زمان و کیفیت ختم شده است و موجب خواهد شد که پروژه با راندمان و سود بهتری تمام شود. پروژه‌ای موفق خواهد بود که در زمان معینی که از قبل تعیین شده است و هزینه‌ای که از قبل مشخص است تمام شود، اما ممکن است در زمان اجرای پروژه آنچه در واقعیت در خصوص بودجه و هزینه‌های پروژه وجود داشت، با آنچه که پیش‌بینی شده تفاوت باشد، بنابراین این الزام وجود دارد که با داشتن شاخص‌های مناسب در مقاطع زمانی گوناگون، به این پرسش اساسی که آیا پروژه تا الان سودده بوده است یا نه پاسخ داده شود تا اگر انحرافی وجود دارد، به بررسی مسائل پروژه بپردازیم و نقص‌ها و مشکلات را پیدا کرده و برای برطرف کردن و بهبود آنها اقدام شود (نیکولاس و استین، ۲۰۲۰).

هر وقت موضوع پروژه‌های عمرانی مطرح شود، سه فاکتور زمان، هزینه و کیفیت اهمیت زیادی خواهند داشت. در نیاز می‌باشد که دو فاکتور زمان و هزینه به کمترین مقدار ممکن خود نائل شود، اما فاکتور کیفیت بیشترین حد خود شود (کرز، ۲۰۲۲). در این مثال یک پروژه عمرانی با داشتن منابع چند مهارته و با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برنامه‌ریزی شده می‌باشد. علاوه بر کم کردن دو فاکتور زمان و هزینه تا حد ممکن و زیاد کردن کردن کیفیت تا حد ممکن، به دنبال کم کردن تعداد نیروی انسانی مصرفی می‌باشیم. در این پروژه تعدادی فعالیت وجود دارد که هر فعالیت امکان دارد چندین حالت برای انجام دادنش موجود باشد که امکان دارد زمان فعالیت در حالت‌های گوناگون تغییر بکند، اما در هر صورت هر فعالیت خواهد توانست تنها در یک حالت انجام بشود. بین فعالیت‌ها، روابط پیش‌نیازی وجود دارد، به این ترتیب که شروع یک فعالیت بستگی به تمام شدن فعالیت پیش‌نیازش دارد و همچنین در انجام فعالیت‌ها انقطاع مجاز نمی‌باشد، یعنی این امکان وجود ندارد که یک فعالیت متوقف شود و ادامه آن به بعد موکول شود و یک فعالیت، زمانی شروع می‌شود که تمام نیروهای انسانی با سطح مهارت مورد نیازش آماده فعالیت باشند و نیروی انسانی از ابتدا تا به انتهای فعالیت مشغول کار در آن فعالیت باشد (هادی و همکاران، ۲۰۲۲). از این رو، با توجه به دامنه گسترده استفاده از بهینه‌سازی فرا ابتکاری با استفاده از الگوریتم‌ها، این مطالعه پیاده‌سازی شد تا مطالعه مروری پژوهش‌های پیشین منتشر شده ارائه و دامنه و زمینه‌های استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری را مورد بررسی قرار دهد. زیرا نقش الگوریتم‌های فرا ابتکاری در بهینه‌سازی و حل مسائل مهندسی هر روز در حال گسترش است (قدیری

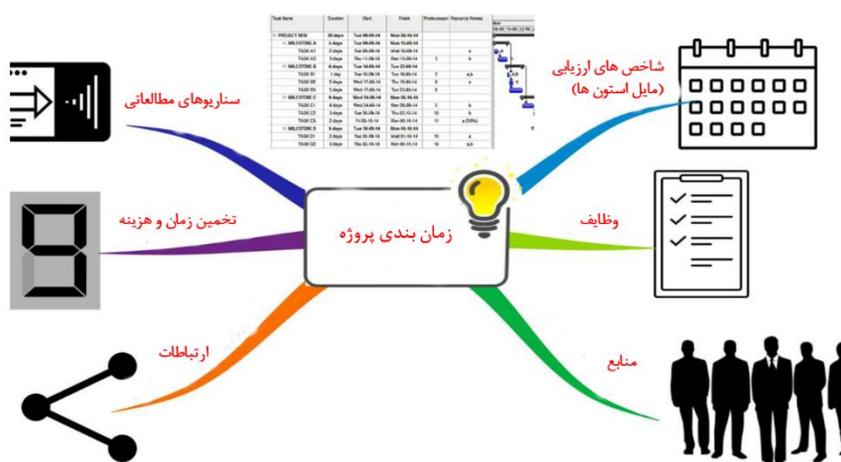
و همکاران، ۲۰۲۲). برای این منظور، پژوهش انجام شده در سه دسته زمانبندی پروژه، تجهیز و جانمایی کارگاه‌های ساختمانی و رویکردهای عمرانی در مدیریت بحران مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- شرح مفاهیم

جهت ارزیابی رویکرد بهینه سازی فرا ابتکاری در مدیریت و برنامه ریزی پروژه‌های صنعت عمران سه حوزه مسئله زمانبندی پروژه، تجهیز و جانمایی کارگاه، مدیریت بحران و ارزیابی محل اسکان با بررسی مقالات از مجلات معتبر انجام شده است.

۲-۱- مسئله زمان بندی پروژه

از اساسی‌ترین دلایل تأخیر در پروژه‌ها، به مشکل‌های مالی و انجام ندادن تعهدات مالی ارکان پروژه می‌توان اشاره نمود. از مهمترین بازخوردهایی که کمبود منابع مالی در پروژه‌ها دارد، دسترسی نداشتن به منابع موردنیاز فعالیت‌ها و یا کمبود منابع انسانی و یا غیرانسانی برای پیشبرد پروژه طبق زمان‌بندی که از قبل تعیین شده است. امروزه، پروژه‌های غیر معمول (مانند پروژه‌های تحقیق و توسعه، پروژه‌های ساخت و ساز جدید) به طور گسترده‌ای در اکثر از کشورها زیاد شده است. این پروژه‌ها معمولاً با در نظر گرفتن محدودیت منابع (به عنوان نمونه، تعداد محدودی از کارگران و یا منابع تجدیدپذیر مورد نیاز) اجرا خواهند شد (موسیلو و همکاران، ۲۰۰۲). پروژه‌های ساختمانی، معمولاً با محدودیت‌های گوناگونی مواجه هستند که بر زمان‌بندی و هزینه‌ی پروژه تأثیری قابل توجه خواهند داشت. محدودیت منابع مانند از مصالح، ماشین آلات و تجهیزات کارگاهی، نقدینگی و منابع انسانی ماهر و نیمه ماهر از مهمترین محدودیت‌های موجود در پروژه هستند. تحقیق در مورد پیدا کردن یک روش برنامه‌ریزی اصولی برای برنامه‌ریزی کردن پروژه‌های ساختمانی بصورت بهینه با توجه به این محدودیت‌ها مورد توجه بسیاری از پژوهشگران است که به روش‌های گوناگونی، سعی در ارائه راهکار مناسب کرده‌اند. در دنیای رقابتی عصر حاضر، تقاضا برای تمام کردن یک پروژه در زمان کمتر در حال زیاد شدن است. این حالت مدیران پروژه را مجبور کرده است تا به اثر حیاتی محدودیت منابع توجه اساسی بکنند. شکل (۱) ساختار یک مسئله زمان بندی پروژه را نمایش داده است.

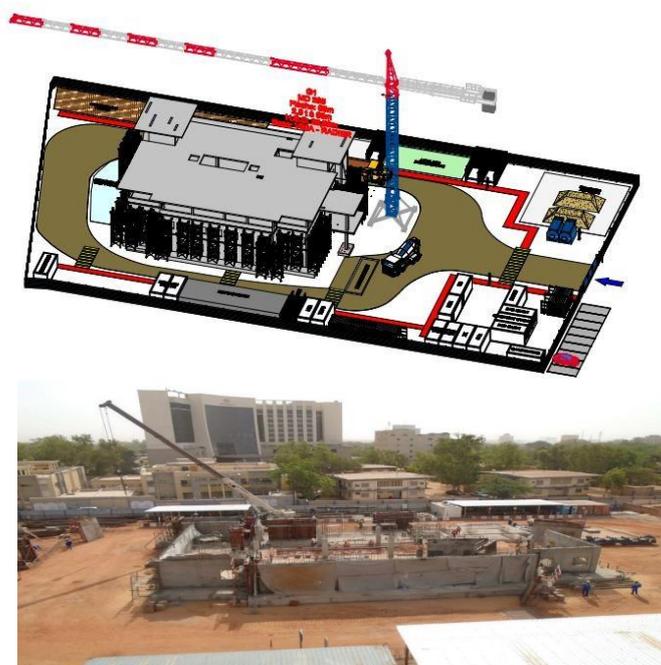


شکل (۱): ساختار زمان بندی پروژه موثر

با توجه به ساختار شرح داده، مطالعات جامعی در ارتباط با موضوع زمان بندی پروژه انجام شده که در این بخش به بررسی آن‌ها پرداخته شده است.

۲-۲- تجهیز و جانمایی کارگاه

تجهیز کارگاه، یکی از اولین و مهمترین اقدامات مدیر کارگاه است که در صورت موفقیت می‌تواند منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ی زمان و هزینه در پروژه‌های بزرگ باشد. تهیه یک نقشه دقیق از تجهیزات مورد نیاز، ابعاد و کاربری آنها، دید بهتری به مدیریت کارگاه داده و او می‌تواند با تغییراتی، زمان حمل و نقل، توقف و رفاه پرسنل کارگاه را بهبود بخشد (اندایش و صادق‌پور، ۲۰۱۴). این مهم معمولاً براساس تجربه در کارگاه‌های ساختمانی انجام می‌شود. جانمایی و تجهیز کارگاه به معنی شناسایی، تخمین ابعاد و جاگذاری تجهیزات موقت کارگاه در محدوده پروژه می‌باشد. این تجهیزات موقت شامل محل تخلیه بار، انبارها، کارگاه‌های کوچک، محل تعمیر و نگهداری، بچینگ و دفاتر اداری است. تجهیزات موقت مورد نیاز و مساحت مورد نیاز آنها به عوامل زیادی مانند نوع پروژه، مقیاس، طرح، محل پروژه و ساختار عملیات ساخت و ساز وابسته است (هوانگ و وونگ، ۲۰۱۵). از طرف دیگر، جانمایی کارگاه‌های عمرانی، یکی از اصلی‌ترین عوامل در ایمنی و بهره‌وری عملیات ساخت و ساز در پروژه‌ها می‌باشد. از آنجا که ساخت و ساز دارای یک طبیعت غیریکنواخت است، لذا هر پروژه نیاز به یک برنامه جانمایی مخصوص به خود دارد. بدلیل وجود متغیرها و عدم قطعیت‌ها، طراحی جانمایی سایت دارای مشکلاتی با زوایای مختلف می‌باشد. با پیشرفت و توسعه روز افزون صنعت، امکانات و تجهیزات بیشتری برای صنعت ساخت و ساز و کارهای عمرانی، ابداع و ساخته شده است که در نتیجه این امکانات و تجهیزات جدید و پیشرفته، امکان اجرای پروژه‌های بزرگ و پیچیده‌تر عمرانی فراهم شده است. با بزرگ‌تر و پیچیده‌تر شدن پروژه‌های عمرانی، نیاز به حفظ ایمنی و یافتن روش‌هایی به منظور کاهش حوادث در کارگاه‌ها بیش از پیش احساس می‌شود (همد و همکاران، ۲۰۱۵). به مرور و با گذشت زمان و اجرای پروژه‌های بزرگ، مهندسان به این نتیجه رسیده‌اند که یکی از عواملی که می‌تواند به شدت بر کاهش حوادث در کارگاه‌ها تأثیر بگذارد یک جانمایی خوب و مناسب برای کارهای پروژه‌های عمرانی می‌باشد (پاپاداکی و چاسیاکوس، ۲۰۱۶). شکل شماره (۲) نمایشی از تجهیز کارگاه ساختمانی با جرثقیل را بصورت واقعی و طرح شماتیک نمایش می‌دهد.



شکل (۲): نمایشی از تجهیز کارگاه در پروژه ساختمانی

۲-۳- مدیریت بحران و ارزیابی محل اسکان

مدیریت بحران عبارت است از مجموعه فعالیت‌های اجرایی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و سیاسی وابسته به مراحل مختلف و کلیه سطوح بحران، در جهت نجات، کاهش ضایعات و خسارات، جلوگیری از وقفه زندگی، تولید و خدمات، حفظ ارتباطات، محیط زیست و بالاخره ترمیم و بازسازی خرابی‌ها (ووت و همکاران، ۲۰۲۱). به عبارت دیگر مدیریت بحران، فرآیند برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات مقامات دولتی و دستگاه‌های اجرایی دولتی، شهرداری‌ها و نهادهای عمومی است که با مشاهده، تجزیه و تحلیل بحران‌ها، به صورت یکپارچه، جامع و هماهنگ با استفاده از ابزارهای موجود تلاش می‌کنند از بحران‌ها پیشگیری نموده یا در صورت وقوع آنها در جهت کاهش آثار، ایجاد آمادگی لازم، مقابله، امدادسانی سریع و بهبود اوضاع تا رسیدن به وضعیت عادی و بازسازی تلاش کنند (عبدالله و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از وظایف مهم برنامه‌ریزان بخش مدیریت بحران در هر سیستم برنامه‌ریزی و اجرایی، پیش‌بینی‌های جدی برای اسکان اضطراری و موقت آسیب‌دیدگان است. چرا که انسان آسیب دیده و داغ دیده بدون سرپناه متعارف، در آستانه آسیب‌های جدی جسمی، روحی و روانی می‌باشد. در صورت عدم پیش‌بینی صحیح و بموقع در این زمینه جامعه آسیب دیده شاهد بازخوردهای منفی و غیر قابل جبران برای نسل حادثه دیده فعلی و نسل‌های آتی خواهد بود. به همین دلیل نقش مکان‌یابی و اسکان موقت آسیب‌دیدگان در مکان‌های پیش‌بینی شده، حائز اهمیت بسیاری در برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی می‌باشد (پیرسون و میتروف، ۲۰۱۹). شکل (۳) انواع بلایای طبیعی را نشان می‌دهد. با توجه به بلایا و بحران‌های تحمیل شده صنعت عمران باید راهکارها و شرایط متناسبی را برای مقابله در نظر بگیرد. از این رو در این زمینه نیز مطالعاتی در ارتباط با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری در جهت مدیریت بحران با رویکرد مهندسی عمران انجام گردیده است.



شکل (۳): انواع بحران

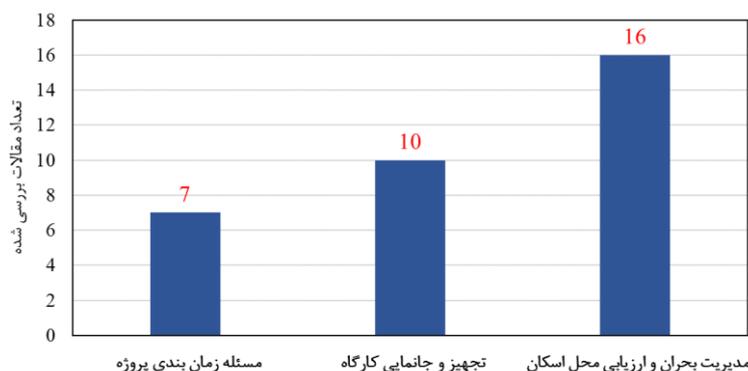
۳- روش تحقیق

این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی است که با هدف بررسی و تحلیل نوآورانه مطالعات پیشین در حوزه بهینه سازی در مهندسی عمران مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری انجام شده است. روش تحقیق مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و تحلیل محتوای کیفی است. به منظور جمع‌آوری داده‌ها، مقالات و منابع علمی منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ از پایگاه‌های استنادی معتبر مانند ScienceDirect، Wiley و Springer برای منابع خارجی انتخاب شده‌اند. برای ارزیابی منابع داخلی نیز از نمایه سیویلیکا و مجلات علمی-پژوهشی داخلی استفاده شده است. معیارهای انتخاب مقالات شامل تازگی تحقیق، مرتبط بودن به موضوع، روش‌شناسی معتبر و نوآوری بوده است. ابزار اصلی تحقیق، تحلیل محتوای سیستماتیک مقالات منتخب است که به کمک نرم‌افزارهایی مثل Mendeley و EndNote، برای سازماندهی و کدگذاری داده‌ها به کار گرفته شده است. در مرحله

تحلیل، یافته‌ها بر اساس تحلیل مقایسه‌ای و تحلیل موضوعی بررسی و طبقه‌بندی شده‌اند تا روندها، شکاف‌های پژوهشی و نوآوری‌های موجود شناسایی شوند.

۳-۱- مقالات داخلی

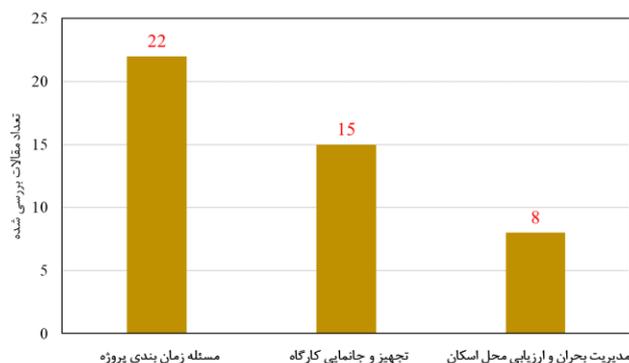
در این تحقیق با بررسی منابع داخلی به جستجوی کلیدواژه‌ها پرداخته شده است. برای این منظور، جهت موضوع مسئله زمان‌بندی پروژه کلید واژه ((زمان‌بندی پروژه))، موضوع تجهیز و جانمایی کارگاه عبارت ((بهینه‌سازی جانمایی و تجهیزات کارگاه)) و همچنین موضوع مدیریت بحران و ارزیابی محل اسکان عبارت ((بهینه‌سازی محل اسکان)) در فاز اول بررسی گردید. در ادامه با محدود تر کردن بررسی‌ها و فیلتر کردن موضوعات غیر مرتبط در نهایت ۳۳ مقاله گزینش گردید. شکل (۴) تعداد مقالات داخلی بررسی شده در موضوعات این تحقیق را نشان داده است.



شکل (۴): مقالات داخلی بررسی شده در موضوعات این تحقیق

۳-۲- مقالات خارجی

جهت بررسی مقالات خارجی ارزیابی‌ها در موتور جستجوی گوگل اسکالر انجام شد. در ادامه به جهت ارزیابی کیفی تر مقالات، مطالعات نمایه شده در پایگاه‌های استنادی بین‌المللی گزینش گردیده است. در مجموع ۴۵ مقاله انتخاب که در شکل (۵) دسته بندی آن‌ها نمایش داده است.



شکل (۵): مقالات خارجی بررسی شده در موضوعات این تحقیق

۴- بررسی پیشینه پژوهش‌ها

به جهت ارزیابی مطالعات انجام شده در حوزه بهینه سازی فرا ابتکاری در مهندسی عمران، پیشینه مطالعات در سه بخش و هرکدام از بخش‌ها به تفکیک پیشینه داخلی و خارجی بررسی گردیده است.

۴-۱- مسئله زمانبندی پروژه

جدول (۱) گزیده ای از مهم‌ترین منابع منتشر شده از مقالات داخلی و خارجی را در حوزه مسئله زمانبندی پروژه گزارش نموده است. همچنین در ادامه این بخش نیز مطالعات بیش‌تری از این موضوع بررسی شده است.

جدول (۱): پژوهش‌های مهم بررسی شده در حوزه استفاده از الگوریتم‌ها در مسئله زمانبندی پروژه

| مقالات خارجی | | | | مقالات داخلی | | | |
|--|------------|---|------|--|------------|--|------|
| نتایج | سال انتشار | عنوان | ردیف | نتایج | سال انتشار | عنوان | ردیف |
| مسئله تخصیص نیروی انسانی چند مهارته مورد بهینه‌سازی قرار گرفت. | ۲۰۱۸ | تجزیه و تحلیل تجویزی برای برنامه ریزی منابع انسانی در صنعت خدمات حرفه ای | ۵ | مدلی مبتنی بر سه تابع هدف جهت برنامه‌ریزی پروژه ارائه شد | ۱۳۹۸ | موازنه زمان-هزینه- کیفیت در روش زنجیره بحرانی با فعالیت‌های چندحالتی با استفاده از الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات | ۱ |
| گروه بندی نیروهای انسانی، بارگذاری و تخصیص فعالیت‌ها در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است | ۲۰۱۸ | مشکل انتساب کارگران موقت در سیستم های تولید سرم با در نظر گرفتن ناهمگونی کارگران | ۶ | مسائل زمان- بندی در سناریو- های محدودیت منابع بررسی و بهینه گردید | ۱۳۹۸ | ارائه روش حل دقیق و فراابتکاری برای مسئله کمینه‌سازی زمان تکمیل پروژه با در نظر گرفتن محدودیت بودجه | ۲ |
| به ارزیابی مسئله زمان‌بندی پروژه‌های ساخت‌وساز مسکونی دولتی با اجرای رویکرد کاهش زمان و هزینه پرداخته شد | ۲۰۲۳ | توسعه مدیریت پروژه و عملکرد پروژه‌های ساخت و ساز ساختمان در میانمار | ۷ | شرایط توقف در پروژه‌های ساختمانی و تاثیر آن بر هزینه و زمان مورد بررسی قرار گرفت | ۱۴۰۰ | بهینه‌سازی زمان، هزینه، کیفیت با فعالیتهای دارای انقطاع در پروژه‌های عمرانی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری علفهای هرز | ۳ |
| پیاده سازی الگوریتم ژنتیک نامغلوب به بهینه‌سازی عملکرد انرژی و زمان‌بندی | ۲۰۲۳ | بهینه سازی انرژی، اقتصادی و آسایش مقاوم سازی ساختمان ها با در نظر گرفتن تغییرات آب و هوایی: یک رویکرد NSGA-III مبتنی بر شبیه سازی | ۸ | بهینه سازی سه‌هدفه مبتنی بر متغیرهای زمان، هزینه و منابع انجام شد | ۱۴۰۲ | طراحی مدل چندهدفه استوار برای زمانبندی پروژه با محدودیت منابع و موازنه زمان - هزینه | ۴ |

۴-۴-۱- پیشینه داخلی

طاهری امیری و همکاران (۱۳۹۶) مسئله موازنه زمان- هزینه - کیفیت را با فعالیت‌های چندحالتی را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری چند هدفه ازدحام ذرات حل نموده است. در این تحقیق برای هر یک از فعالیت‌ها چندین مد اجرایی در نظر گرفته

شده است و روش زمان‌بندی پروژه، روش زنجیره بحرانی بوده است، بدین شکل که الگوریتم بهینه‌سازی این تحقیق به دنبال شناسایی بهترین توالی و مد اجرایی فعالیت‌ها بوده که در آن زمان و هزینه پروژه حداقل شده و کیفیت آن در بالاترین مقدار خود قرار داشته باشد. خاتمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۶) زمان‌بندی پروژه‌های ساخت با استفاده از ترکیب برنامه‌ریزی چندهدفه و بهینه‌سازی را از طریق شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش، مسئله زمان‌بندی پروژه با استفاده از ابزار شبیه‌سازی شبکه کنترل پروژه، وارد نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌شود و خروجی‌های آن با خروجی‌های حاصل از یک الگوریتم فراابتکاری مقایسه می‌شود. در ادامه نیز راهکارهای مدیریتی به‌منظور بهینه‌سازی زمان‌بندی از لحاظ کمینه‌سازی زمان کل، هزینه و تسطیح منابع بررسی و پیشنهاد شده است. مهدوی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی به ارائه روش حل دقیق و فراابتکاری برای مسئله کمینه‌سازی زمان تکمیل پروژه با در نظر گرفتن محدودیت بودجه پرداختند. دین منظور یک الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای پیدا کردن بهینه اقدامات اصلاحی در نرم افزار MATLAB پیاده سازی و توسعه داده شد. تحلیل حساسیت زمان تکمیل پروژه نسبت به سطوح بودجه مختلف انجام گرفت. همچنین متوسط زمان حل مسئله نمونه بازای سطوح مختلف محاسبه و گزارش گردید. در نهایت برای اعتبارسنجی الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی، مسئله بطور دقیق توسط نرم افزار GAMS حل گردیده و با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی قابلیت حل مسئله بطور دقیق را داشته است چرا که فاصله بین جواب مسائل نمونه در سطوح بودجه مختلف برابر صفر بوده است. در مطالعه ای دیگر، طاهری امیری و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به بهینه‌سازی زمان، هزینه، کیفیت با فعالیت‌های دارای انقطاع در پروژه‌های عمرانی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری علف‌های هرز پرداختند. در این تحقیق، از یک الگوریتم فراابتکاری بهبود یافته علف‌های هرز برای بهینه‌سازی زمان، هزینه و کیفیت پروژه استفاده شده است. در مدل ارائه شده، زمان فعالیت‌ها به گونه‌ای تغییر می‌کند که بتوان حداکثر استفاده را از منابع برد. به عبارت دیگر با افزایش زمان بعضی از فعالیت‌ها، می‌توان آنها را به‌طور همزمان با فعالیت‌های دیگر اجرا کرد که در نهایت باعث کاهش هزینه، زمان و افزایش کیفیت پروژه خواهد شد. نتایج حاصل از گزارشات جواب‌های پارتو، مزایا و اثربخشی الگوریتم بهینه‌سازی مذکور را نشان می‌دهند. در نهایت به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده مدل پیشنهادی در ابعاد کوچک به صورت دقیق با استفاده از نرم‌افزار گمز و به صورت فراابتکاری با نرم‌افزار متلب حل شده و نتایج به دست آمده در دو حالت با هم مورد مقایسه قرار گرفت. پازانی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی مروری به بررسی پروژه‌های عمرانی با رویکرد کاهش هزینه و زمان و ارتقاء جامع کیفیت پرداخته‌اند. این مطالعه با پیاده‌سازی رویکرد جامع کیفیت و بررسی تاثیر مدیریت کیفیت در تغییرات بهینه‌های عمرانی در پروژه ساختمانی به بهینه‌سازی زمان و هزینه در جهت کاهش تاثیرپذیری تاخیرات پرداخته است. چرویده و شهرکی (۱۴۰۱) با پیاده سازی فرایند فرا ابتکاری در انتخاب پروژه به بهینه سازی با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه پرداختند. ایشان در این مطالعه با توجه به ارزیابی در روش زنجیره بحرانی به ترکیب بهینه‌ای از زمان، هزینه و کیفیت در شرایط محدودیت منابع رسیدند. الگوریتم پیشنهادی با نرم افزار متلب کد نویسی و نتایج مورد نظر استخراج شد. برای صحت سنجی مدل پیشنهادی نیز، دو مطالعه موردی با ۷ و ۱۸ فعالیت حل شده است. همچنین از یک پروژه با ۶۰ فعالیت که بهینه سازی زمان، هزینه و کیفیت در آن صورت پذیرفته بود، برای اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی در تحقیق استفاده شد و نتایج اعتبار مناسبی را گزارش نموده است. شهرکی و همکاران (۱۴۰۲) مسئله بهینه سازی زمان بندی پروژه با محدودیت منابع و زمان بندی پروژه را در شرایط غیرقطعی و وجود عدم قطعیت مورد بررسی قرار داده است. این مطالعه با در نظر گرفتن اهداف و محدودیت‌های مسئله زمان‌بندی پروژه، مسئله‌ای را در قالب مدل ریاضی تبیین و بررسی نموده است. یافته‌های این تحقیق نشان داد با افزایش میزان محدوده پارامترهای غیرقطعی، مدت زمان پروژه افزایش یافته و برای مقادیر بالاتر پارامترهای استواری، درصد تغییر مدت زمان پروژه روند کاهشی پیدا کرده است.

۴-۱-۲- پیشینه خارجی

کواناکا و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیق خود به بررسی مسئله زمان‌بندی پرستاران پرداختند. در این تحقیق از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک جهت حل مدل با در نظر گرفتن محدودیت‌های استفاده شده است. جهت برآورده‌سازی محدودیت‌ها، تغییر

شیفت‌ها در این مدل مورد بررسی قرار گرفت. چیراندینی و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود به بررسی مسئله زمان‌بندی نیروی کار با در نظر گرفتن تخصیص نیروی کار در بازه‌های زمانی معین پرداختند. در این تحقیق برای زیاد کردن بهره‌وری، حجم کاری انعطاف‌پذیر برای نیروی کار لحاظ شده است. برای حل مدل و پیاده‌سازی آن از الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده کردند. مسلیو و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیق خود به بررسی یک الگوریتم جستجوی ممنوعه جهت حل مسئله طراحی شیفت کاری نیروی کار پرداختند. در این تحقیق بیان کردند که طراحی شیفت‌های کاری یکی از اساسی‌ترین قدم‌ها در فرآیند زمان‌بندی نیروی کاری است. جهت بالا بردن سطح الگوریتم، از یک رویکرد ابتکاری جهت تولید جواب اولیه خوب استفاده کردند. نتیجه‌های حاصله از نمونه‌های واقعی و تصادفی، حاکی از کارا بودن الگوریتم پیشنهادی است. توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق خود به بررسی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح برای زمان‌بندی نیروی انسانی پرداختند. این مدل طبق تخصیص یک الگوی کاری طبق زمان با توجه به خواسته‌ها و نیازهای سیستم و نیروی کار مورد بررسی قرار گرفت. تابع هدف مدل ارائه شده در این تحقیق در قالب هزینه بیکاری، هزینه تخطی از درجه اهمیت شیفت، هزینه مازاد پرسنل متخصص و هزینه تقاضای پوشش نیافته کمینه شده و با کمک گرفتن از روش جستجوی ممنوعه قابل حل می‌باشد. توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود به بررسی یک مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح جهت برنامه‌ی زمان‌بندی نیروی انسانی، با در نظر گرفتن تجربه، تخصص و مطلوبیت افراد پرداختند. در مدل ارائه شده در این تحقیق، اگر با کمبود مواجه شدند، نیروی انسانی با تجربه‌ی بالاتر با تحمیل جریمه به سیستم جایگزین خواهد شد. در ادامه با لحاظ کردن همزمان جنبه‌های هزینه و مطلوبیت، تلاش بر آن است که بین این دو معیار اساسی در مسئله زمان‌بندی نیروی انسانی تعادل ایجاد شود. با توجه به پیچیدگی مدل ارائه شده در این تحقیق، جهت حل کردن مدل در ابعاد بزرگ یک الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت [۲۷]. بلنگوئز (۲۰۰۸) در تحقیق خود به بررسی مسئله زمان‌بندی پروژه چند مهارتی پرداختند و روش‌های حل گوناگونی برای آن در نظر گرفتند. در این نوع مدل‌ها، علاوه بر اینکه نیروی انسانی چند مهارت دارند، هر فعالیت در شبکه پروژه هم نیازمند مهارت مختلف است. در این تحقیق از روش شاخه و کران برای حل دقیق مدل کمک گرفتند و در کنار آن چند روش ابتکاری و فراابتکاری مورد بررسی قرار گرفت. کاظمی پور و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق خود به بررسی مسئله زمان‌بندی پروژه چند مهارتی پرداختند. در این تحقیق از مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP)^۱ استفاده کردند و به علت پیچیدگی مدل، یک الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید جهت رسیدن به جواب‌های نزدیک به بهینه در ابعاد بزرگ مورد استفاده قرار گرفت. برای اعتبارسنجی الگوریتم فراابتکاری مورد استفاده در این پژوهش، نتایج‌های به دست آمده در ابعاد کوچک با نتیجه‌های به دست آمده از حل دقیق با نرم افزار لینگو مقایسه شد. فیرات و هورکنز (۲۰۱۲) در تحقیق خود به بررسی یک رویکرد مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی MIP برای مسئله زمان‌بندی و تخصیص نیروی کار با فعالیت‌هایی که نیاز به چندین مهارت دارد، پرداختند. در این تحقیق نحوه تخصیص دادن کارکنان به فعالیت‌های پروژه با توجه به مهارت مورد نیاز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در این تحقیق فرض شده که مجموعه‌ای از متخصصان در طول روز کاری هستند که بیشتر در زمان‌بندی نگهداری و راه اندازی از آنها استفاده می‌شود. مدل برنامه‌ریزی پیشنهاد شده در این پژوهش قابلیت تخصیص کارکنان با چند مهارت را دارد و عملکرد خوبی دارد. شاه نظری و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق خود به بررسی مسئله زمان‌بندی نیروی انسانی چند مهارتی پرداختند. این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه فازی برای زمان‌بندی نیروی کار با چند مهارت را توسعه داده است. بنابراین مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی در نظر گرفته شد و از دو رویکرد حل فازی برای تبدیل مدل فازی به دو مدل تک هدفه کمک گرفتند. چون پیچیدگی این مسئله از نوع NP-Hard می‌باشد، دو الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی انبوه ذرات و جستجوی ممنوعه مورد بررسی قرار گرفت. مهمانچی و شادرخ (۲۰۱۳) در تحقیق خود به بررسی مسئله زمان‌بندی نیروی انسانی با در نظر گرفتن چندین مهارت برای فعالیت‌ها پرداختند. آنها برای حل کردن مدل از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جدید با در نظر گرفتن اثر یادگیری و فراموشی بر مهارت انسان کمک گرفتند. چون تابع اثر یادگیری نمایی و غیرخطی است، برای تقریب خطی مناسب آن از برنامه‌ریزی مجزا استفاده کردند. مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط (MINLP)^۲ در نظر گرفته شده در این تحقیق

^۱Mixed integer linear programming

^۲Mixed integer nonlinear programming

برای اعتبارسنجی با تولید نمونه مثال‌هایی با استفاده از نرم افزار CPLEX کمک گرفتند. کوریا و سالدانهادا گاما (۲۰۱۴) در تحقیق خود به بررسی یک مساله زمانبندی پروژه چند مهارته با نگاه هزینه گرایانه پرداختند. در این مدل شروع و انجام پروژه‌ها نیاز به چند مهارت دارد و امکان دارد بیشتر از یک منبع از هر مهارت جهت انجام فعالیت لازم شود. هزینه انجام دادن فعالیت به مقدار استفاده از منبع و هزینه‌های ثابت و متغیر وابسته است. برای حل کردن این مدل یک چهارچوب مدل برنامه‌ریزی ریاضی مورد بررسی قرار گرفت. یک هدف اصلی این مدل فهم میزان تاثیر نگاه هزینه گرایانه بر جواب کلی ارائه شده می‌باشد. فرناندز و فرمینان (۲۰۱۴) در تحقیق خود به بررسی یک مدل یکپارچه برای مسئله زمان‌بندی پروژه و تخصیص نیروی انسانی با در نظر گرفتن زمان‌های پردازش قابل کنترل پرداختند. برای این کار زمان پردازش فعالیت‌ها به منابع تخصیص یافته از جمله نیروی انسانی وابسته خواهد بود؛ یعنی اثر یادگیری مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح همراه با توسعه آن در شرایط مختلف بیان کردند. به علت پیچیدگی مدل یکپارچه، برای بدست آوردن جواب تقریبی و خوب در مدت زمان کوتاه یک الگوریتم جستجوی تصادفی حریصانه ارائه شد. آلمیدا و همکاران (۲۰۱۶) تحقیقی انجام داده‌اند و نتایج نشان داد که یکی از عمده‌ترین مسأله‌های زمانبندی پروژه با منابع محدود، زمانبندی پروژه با منابع چند مهارته محدود می‌باشد. برای حل کردن این مدل از طرح برنامه‌ریزی موازی کمک گرفتند. یکی از این نوع طرح‌ها با بر روی مسئله زمانبندی پروژه با منابع محدود با موفقیت صورت گرفت. [۳۵]. بهلولی و همکاران (۲۰۱۶) شایستگی در حوزه مدیریت نیروی انسانی را ارزیابی نمودند. بدین منظور از تکنولوژی نرم‌افزاری، روش‌های ریاضی و آماری برای ارزیابی و تحلیل شایستگی استفاده شده است. براساس مدل استاندارد شایستگی که درخت شایستگی حرفه‌ای، نوآوری و اجتماعی نامیده می‌شود، چهارچوب پیشنهادی ابزار انعطاف‌پذیری در محیط واقعی برای متخصصان جهت ارزیابی نیروی انسانی فراهم آورده است. کیانتو و همکاران (۲۰۱۷) مسئله مدیریت نیروی انسانی مبتنی بر دانش را مورد مطالعه قرار دادند. این ایده بطور عملی در مجموعه داده‌های ۱۸۰ شرکت اسپانیایی با استفاده از روش مدلسازی معادلات ساختاری و حداقل مربعات جزئی اجرا شده است. نتایج حاصل از مطالعات نشان داده است که مدیریت صحیح نیروی انسانی مبتنی بر دانش منجر به اثرگذاری مثبت بر بازگشت سرمایه و عملکرد نوآورانه شرکت خواهد شد. باتارلین و همکاران (۲۰۱۷) اثر مدیریت نیروی انسانی بر بازار رقابتی در شرکت‌های حمل و نقلی را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه در خصوص مفاهیم، مزایا و تحلیل رقابتی بحث شده و مدل‌های مدیریت منابع انسانی مورد بررسی قرار گرفته است. برک و همکاران (۲۰۱۸) مسئله برنامه‌ریزی نیروی انسانی را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه عدم قطعیت در پیش‌بینی درآمدها در نظر گرفته شده است. بدین منظور از روش بهینه‌سازی استوار برای حل مسئله با هدف حداکثرسازی

سود استفاده شده است. لیان و همکاران (۲۰۱۸) مسئله تخصیص نیروی انسانی چند مهارته را در شرکت تولید سرامیک مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه سطوح مهارت و کارایی مختلفی برای نیروهای انسانی در نظر گرفته شده است. همچنین گروه بندی نیروهای انسانی، بارگذاری و تخصیص فعالیت‌ها در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است. بدین منظور یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی با هدف ایجاد تعادل حجم بارگذاری بین نیروهای انسانی ارائه شده است. از آنجایی که مسئله NP-hard است، برای حل مسئله در ابعاد بزرگ الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب توسعه داده شده است. هتو و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی در کشور میانمار به ارزیابی مسئله زمان‌بندی پروژه‌های ساخت‌وساز مسکونی دولتی با اجرای رویکرد کاهش زمان و هزینه پرداخته‌اند. همچنین در این تحقیق تعدد مدیران پروژه در بخش‌های مختلف اجرایی پروژه مورد بررسی قرار گرفته و پروژه‌های خصوصی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از مدیران با بلوغ سوابق اجرایی در بخش‌های مختلف در کاهش زمان و هزینه در پروژه نتایج مناسبی را نشان داده است. مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از پیاده سازی الگوریتم ژنتیک نامغلوب به بهینه‌سازی عملکرد انرژی و زمان‌بندی انجام آن پرداخته است. این مطالعه در شهر تهران انجام شده و زمان‌بندی انجام با اجرای متغیرهای زیست محیطی ارزیابی شده است. همچنین در این تحقیق الگوریتم اشاره شده با ادغام فرایند مدلسازی عددی مورد بررسی قرار گرفت که این موضوع به اجرای بهتر بهینه‌سازی کمک شایانی نموده است.

۴-۲- تجهیز و جانمایی کارگاه

با توجه به شرح تفصیلی تجهیز و جانمایی کارگاه در این بخش، تحقیقات پیشین در ارتباط با این موضوع بررسی شده است. جدول (۲) مواردی از مطالعات مهم‌تر در موضوع استفاده از فرایند فرا ابتکاری در تجهیز و جانمایی کارگاه را نشان داده است.

جدول (۲): پژوهش‌های مهم بررسی شده در حوزه استفاد از الگوریتم‌ها در تجهیز و جانمایی کارگاه

| مقالات خارجی | | | | مقالات داخلی | | | |
|--|------------|---|------|--|------------|---|------|
| نتایج | سال انتشار | عنوان | ردیف | نتایج | سال انتشار | عنوان | ردیف |
| مسائل مربوط به ایمنی، سلامت و عوامل محیطی مانند گردوخاک و سروصدا در این مدل در بهینه‌سازی در نظر گرفته شد. | ۲۰۱۸ | مدل‌های برنامه‌نویسی ریاضی برای مسائل طرح‌بندی سایت ساختمانی | ۵ | ارائه مدلی برای جانمایی تجهیزات در کارگاه ساختمانی با توسعه الگوریتم‌های تصمیم‌گیری | ۱۳۹۴ | مدلی برای افزایش ایمنی و کاهش هزینه در پروژه‌های ساخت و ساز با اولویت بندی چیدمان مناسب کارگاه‌های ساختمانی | ۱ |
| استفاده از مولفه‌های ایمنی در بهینه‌سازی تجهیز و جانمایی کارگاه با موفقیت انجام شد | ۲۰۱۸ | یک مدل ارزیابی کمی ریسک ایمنی برای برنامه ریزی طرح بندی سایت ساخت و ساز"، علوم ایمنی، | ۶ | با تغییر اولویت تجهیزات مختلف، چیدمان بهینه‌ای از آن‌ها در کارگاه با کمترین فاصله ایجاد شد. | ۱۴۰۰ | بهینه‌سازی جانمایی داخلی کارگاه و تاثیر آن بر هزینه‌ی پروژه‌های ساخت با الگوریتم بهینه‌سازی علفهای هرز | ۲ |
| مطالعه مروری در ارتباط با استفاده از اهداف مطالعاتی مختلف در بهینه‌سازی مسائل تجهیز و جانمایی | ۲۰۲۲ | بهینه‌سازی چند هدفه برای بهبود مدیریت پروژه: وضعیت فعلی و مسیرهای آینده | ۷ | اجتناب از بکارگیری روش‌های سنتی در پروژه‌های صنعتی و EPC | ۱۴۰۱ | بررسی آیت‌های موثر در تجهیز کارگاه پروژه‌های صنعتی و EPC | ۳ |
| مونتاز قطعات پیش‌ساخته جهت اجرا در کارگاه ساختمانی با توسعه الگوریتمی هیبریدی بهینه‌سازی شد | ۲۰۲۳ | بهینه‌سازی توالی مونتاز اجزای ساختمان بر اساس الگوریتم ژنتیک بازپخت شبیه‌سازی شده | ۸ | مدیریت ریسک بر آماده‌سازی، تجهیز و برچیدن کارگاه در مسکن مهر تاثیر داشته و باید به عنوان تابع هدف بررسی گردد | ۱۴۰۲ | بررسی تاثیر مدیریت پروژه بر آماده‌سازی، تجهیز و برچیدن کارگاه (مورد مطالعه: مسکن مهر فاز . | ۴ |

۴-۲-۱- پیشینه داخلی

روح پرور و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی مراحل طراحی چیدمان تجهیز کارگاه‌های ساخت با تمرکز بر تعیین ابعاد تسهیلات و روابط بین آنها پرداختند. در این مقاله سه مرحله از مراحل چهارگانه طراحی چیدمان تجهیز کارگاه مطرح شد و بر روی گام سوم یعنی "تعیین اندازه و شکل تسهیلات" متداول موجود در تجهیز کارگاه‌ها برای رسیدن به حداکثر راندمان و ایمنی متمرکز شدند. خوش طبع و اشتهازدیان (۱۳۹۱) به برنامه‌ریزی چیدمان مناسب کارگاه‌های ساختمانی برای حفظ ایمنی و کنترل هزینه

پرداختند. آنها در این کار بر شیوه‌ها و مدل‌هایی که تاکنون تغییرات و تحولات اساسی به منظور بهینه‌یابی جانمایی در کارگاه‌های ساخت و ساز به وجود آمدند، مروری داشتند و در نهایت با استفاده از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزارهای مربوطه، به ارائه مدلی جهت چیدمان کارگاه‌های عمرانی پرداختند. حسامی و همکاران (۱۳۹۱) به دست‌بندی عوامل مؤثر در تجهیز کارگاه‌های ساختمانی با دو رویکرد الگوریتم رتبه‌بندی پرداختند. محققین در این کار با استفاده از این دو تکنیک، عوامل مؤثر در تجهیز کارگاه‌های عمرانی را اولویت‌بندی کردند تا بتوانند جانمایی بهینه‌ای از تجهیزات و افزایش ایمنی را ارائه دهند. بر اساس این تحقیق، عامل برنامه‌ریزی پروژه، اصلی‌ترین فاکتور در تجهیز کارگاه‌های ساختمانی انتخاب شده است. شاکری و منصوری (۱۳۹۳) به بررسی فرآیند تجهیز و برچیدن کارگاه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مطالعات محل تجهیز کارگاه باید توسط مهندسين مشاور و قبل از شروع مناقصه با دید مهندسی و اجرایی انجام پذیرد. در حالیکه متأسفانه اکنون با ورود پیمانکار به محل و بعد از اعمال نظرات شخصی ریاست کارگاه و مدیران پیمانکار و یا مهندسين ناظر و نماینده مجری، طرح دستخوش تغییرات سلیقه‌ای می‌شود. اسدزاده و همکارانش (۱۳۹۳) در تحقیقی با موضوع تدوین الگوریتم بهینه‌سازی چیدمان تجهیزات خطرزا در سایت کارگاه‌های عمرانی جهت دستیابی به حداکثر ایمنی در محل قرارگیری تسهیلات به بیشینه‌سازی ایمنی موجود در کارگاه‌های ساختمانی یا به عبارتی حداقل نمودن ریسک ناشی از اندرکنش تسهیلات مستقر در سایت (حضور انسان) یا تجهیزات و ماشین-آلات خطرزا پرداختند. برای دستیابی به این هدف، مدلی جهت مکانیابی تجهیزات خطرزا برای دستیابی به حداقل ریسک ممکن ارائه کردند. محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۳) به جستجوی هارمونی و چیدمان تجهیزات در کارگاه‌های عمرانی پرداختند. آنها در این کار به وسیله الگوریتم جستجوی هارمونی، یک مدل چیدمان دینامیکی ارائه کردند که با توجه به برنامه توزیع زمانی تجهیزات و امکان جابجایی تجهیزات در دوره‌های زمانی به انجام چیدمان می‌پردازد. انطباق مناسب و منطقی بردارهای هارمونی با بحث چیدمان دینامیکی از خصوصیات ساختار این مدل بود. انصاری‌فر (۱۳۹۴) به ارائه مدلی برای افزایش ایمنی و کاهش هزینه در پروژه‌های ساخت و ساز با اولویت‌بندی چیدمان مناسب کارگاه‌های ساختمانی پرداختند. در این تحقیق، پس از شناسایی عوامل مؤثر بر جانمایی وسایل و تجهیزات در کارگاه‌های ساختمانی، طبق نظر کارشناسان و اسناد موجود، با استفاده از روش الگوریتم-های تصمیم‌گیری به ارزیابی و اولویت‌بندی آنها پرداخته شد و بر این اساس مدلی برای جانمایی تجهیزات در کارگاه ارائه شد تا مشکلات ناشی از افزایش هزینه، زمان و کاهش ایمنی در کارگاه‌ها به حداقل ممکن برسد. طاهری و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به ارزیابی فرایند بهینه‌سازی در جانمایی داخلی کارگاه و تاثیر آن بر هزینه‌ی پروژه‌های ساخت با الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز پرداخته است. در این مطالعه، نتایج محاسباتی، نشان‌دهنده‌ی تنوع در جواب‌های به‌دست آمده از چیدمان بخش‌های مختلف با توجه به اولویت‌های در نظر گرفته شده برای آن‌هاست، به‌طوری که با تغییر اولویت تجهیزات مختلف، چیدمان بهینه‌ای از آن‌ها در کارگاه با کمترین فاصله ایجاد شده است. همچنین 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 گرفته است. شکروی و تقوی (۱۴۰۱) در پژوهشی به بررسی آیتیم‌های مؤثر در تجهیز کارگاه پروژه‌های صنعتی و EPC پرداختند. در این مطالعه، پروژه‌های اجرا شده و مطالعات انجام یافته قبلی، به شیوه مدون جهت فاز تجهیز کارگاه در قراردادهای EPC و پروژه‌های صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مطالعه نشان داد سازوکار اجرا شده در پروژه‌های بررسی شده باعث تحمیل عقب ماندگی در زمان‌بندی، هزینه مضاعف تغییرات و تحمیل فشار بر نیروی انسانی پروژه شده و از اجرای آن سازوکار در پروژه‌های صنعتی و EPC باید اجتناب ورزید. صنم و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تاثیر مدیریت پروژه با رویکرد بهینه‌سازی بر آماده‌سازی، تجهیز و برچیدن کارگاه در فاز ۸ مسکن مهر پردیس پرداخته‌اند. هزینه تجهیز کارگاهی، متناسب با مراحل زمانی اجرای تجهیز کارگاهی، در مشخصات و یا فهرست بها، پیش‌بینی‌های لازم را با توجه به دستورالعمل‌های مربوطه انجام داده و سپس براساس توابع هدف کمینه‌سازی هزینه و زمان و مشخصات توپوگرافی منطقه فاز بهینه‌سازی انجام شده است. همچنین در فاز بعدی نیز، به منظور بررسی میزان روابط میان ابعاد چارچوب تحقیق از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد مدیریت زمان بر آماده‌سازی، تجهیز و برچیدن کارگاه تاثیر دارد، مدیریت کیفیت بر آماده‌سازی، تجهیز و برچیدن کارگاه تاثیر دارد، مدیریت کیفیت بر آماده‌سازی، تجهیز و برچیدن کارگاه تاثیر دارد، مدیریت ریسک بر آماده‌سازی، تجهیز و برچیدن کارگاه تاثیر دارد، بنابراین نتیجه گرفته شده است که مدیریت پروژه بر آماده‌سازی، تجهیز و برچیدن کارگاه در پروژه مسکن مهر فاز ۸ تاثیر معناداری دارد.

۴-۲-۲- پیشینه خارجی

در پروژه‌های واقعی، تجهیزات مرتباً به پروژه وارد و از آن خارج می‌شوند. این مسئله منجر به ماهیت دینامیکی مسئله جانمایی سایت می‌شود. روش‌های اکتشافی و سیستم‌های بر پایه اطلاعات جغرافیایی نیز برای حل مسائل بزرگتر استفاده شده‌اند. حامیانی (۱۹۸۹) و تاملین (۱۹۹۲) از یک سیستم مبتنی بر قانون برای قرار دادن تجهیزات در کارگاه، با یک جستجوی بر پایه ارضای محدودیت‌ها استفاده کرده‌اند. سید و الرایز (۲۰۱۰) مسائل امنیتی در سازه‌های زیربنایی و خاص را مدنظر قرار داده و مسئله جانمایی سایت کارگاه را با در نظر گرفتن دو هدف کاهش ریسک خطر امنیتی و کاهش هزینه دنبال نمودند و علاوه بر تجهیزات موقت ثابت، تجهیزات موقت متغیر را نیز در نظر گرفته و مدل ارائه شده از نوع جانمایی دینامیکی را مطرح نمودند. این مدل ارزیابی شامل چهار مرحله اصلی شناسایی خطر، بهینه‌سازی روشنایی امنیتی، بهینه‌سازی امنیتی و هزینه ارزیابی عملکرد مدل بوده است. چنگ (۲۰۰۲) از روش شبکه‌های عصبی برای یافتن چیدمان بهینه استفاده کرده است. بدین ترتیب که مجموعه‌ای از تجهیزات معین در یک مجموعه‌ای از مکان‌های از پیش تعیین شده جای خود را به طور پیوسته تغییر می‌دهند تا زمانیکه پاسخ بهینه با هزینه کمتر بدست آید. محققان دیگری نیز از ابزار قدرتمند الگوریتم ژنتیک برای حل مساله جانمایی سایت استفاده کرده‌اند. اگرچه هر کدام از آنها از فرمول متفاوتی برای الگوریتم ژنتیک خود استفاده کرده‌اند، همه آنها نشان‌دهنده قدرت الگوریتم ژنتیک در حل مسائل بزرگی هستند که تکنیک‌های بهینه‌یابی ریاضی معمولاً قادر به حل آنها نیستند. اندایش و صادق پور (۲۰۱۴) به بررسی بعد زمان در جانمایی کارگاه پرداخته و تفاوت بین مدل‌های استاتیکی و دینامیکی را بررسی می‌کنند. همچنین روش دینامیکی ارائه شده در مطالعات نیز از لحاظ ماهیتی متفاوت بوده و در نتیجه پاسخ‌های ارائه شده در آنها از یکدیگر متفاوت است. برخی از محققان، زمان پروژه را به بازه‌های زمانی تقسیم کرده و تجهیزات را در این بازه‌ها جانمایی می‌کنند. به این روش دینامیکی فازی گفته می‌شود. اما در روش دینامیکی واقعی، هر کدام از بازه‌های موجود در برنامه‌ی زمان بندی به عنوان یک مرحله از پروژه در نظر گرفته می‌شود. از لحاظ نحوه برخورد با بازه‌های زمانی نیز رویکردهای متفاوتی وجود دارد. هووانگ و وانگ (۲۰۱۵) یک چیدمان سایت بهینه با در نظر گرفتن ملاحظات ایمنی طراحی کردند. بدین منظور یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط توسعه داده شده است. برای حل مسئله از الگوریتم شاخه و کران و از نرم افزار لینگو استفاده شده است. هدف از این مطالعه حداقل‌سازی هزینه کل شامل هزینه حمل و نقل مواد، هزینه آماده‌سازی و مکان‌یابی مجدد می‌باشد. حاماد و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط چند هدفه برای طراحی چیدمان سایت ساخت توسعه دادند. هدف از این مطالعه حداقل‌سازی هزینه‌های حمل و نقل و آلودگی صوتی بوده است. یک مجموعه جواب پارتو برای مطالعه موردی استفاده شده، ارائه شده است. نینگ و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل چند معیاره برای مسئله 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 تاپسیس استفاده شده است. 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 بدست آمده حاکی از عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک پیشنهادی بوده است. یی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مسئله چیدمان سایت ساخت توسعه دادند. مسائل مربوط به ایمنی، سلامت و عوامل محیطی مانند گردوخاک و سروصدا در این مدل در نظر گرفته شده است. نتایج محاسباتی نشان داده است که مدل پیشنهادی تا ۲۰ درصد بهبود در دستیابی به جواب بهینه حاصل کرده است. نینگ و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل ارزیابی ریسک ایمنی کمی برای مسئله طراحی چیدمان داخلی سایت ساخت ارائه دادند. در این راستا فاکتورهای ریسک شامل خطرات سقوط اشیاء، آلودگی صوتی و مواد شیمیایی مد نظر قرار گرفته است. بدین منظور در این مطالعه ابتدا فاکتورهای ریسک، شناسایی و دسته‌بندی شده‌اند. سپس تحلیل و ارزیابی آنها انجام گرفته است. برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی یک مطالعه موردی نیز ارائه شده است. گواو و ژانگ (۲۰۲۲) در مطالعه ای مروری به بررسی اهداف تحقیقاتی جهت طراحی ایمن چیدمان سایت ساخت توسعه دادند. در این مطالعه‌ها علاوه بر طراحی اهداف مرتبط با ایمنی، سعی در حداقل‌سازی هزینه‌ها نیز شده است. لیو و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی توالی مونتاژ اجزای ساختمان با استفاده از الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک پرداخته است. این مطالعه با ایجاد مدل‌هایی از مونتاژ مکانیکی قطعات به ارزیابی قطعات پیش‌ساخته مورد نیاز

برای اجرای سازه‌ای به مطالعه مقایسه‌ای از الگوریتم‌ها اقدام نموده است. در این مقایسه، الگوریتم ژنتیک بازپخت شبیه‌سازی شده می‌تواند طرح توالی مونتاژ بهینه را با دقت و کارایی بیشتری جستجو کند و همزمان شاخص‌های ارزیابی را برآورده نماید.

۴-۳- مدیریت بحران و ارزیابی محل اسکان

در این بخش مطالعات در حوزه بهینه‌سازی مدیریت بحران و ارزیابی محل اسکان مورد بررسی قرار گرفته است. جدول (۳) بخشی از مطالعات با اهمیت بالاتر را شرح داده است.

جدول (۳): پژوهش‌های مهم بررسی شده در حوزه استفاد از الگوریتم‌ها در مدیریت بحران و ارزیابی محل اسکان

| مقالات خارجی | | | | مقالات داخلی | | | |
|---|------------|--|------|--|------------|--|------|
| نتایج | سال انتشار | عنوان | ردیف | نتایج | سال انتشار | عنوان | ردیف |
| با بهینه‌سازی انجام شده، شرایط محیطی خاص منطقه و کمبود امکانات زیرساختی برای امداد رسانی را از جمله عوامل مؤثر در شدت تلفات دانست | ۲۰۱۱ | پاسخ به یک زلزله در ارتفاع بالا: مثال زلزله یوشو | ۴ | بخش جنوبی منطقه چهار به عنوان گزینه برتر تعیین شد که دارای فضاهای شهری مناسب از قبیل فضاهای سبز، آموزشی و ورزشی می‌باشد | ۱۳۹۸ | تعیین مکان‌های بهینه احداث پایگاه‌های چند منظوره مدیریت بحران در مناطق با خطر زلزله بالا (شمال تبریز). | ۱ |
| یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر ریسک جدید را برای کمک به برنامه‌ریزان مدیریت ریسک بلافاصله ارائه شد | ۲۰۲۳ | بهینه‌سازی انتخاب سرپناه اضطراری در زلزله با استفاده از یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری گروه بزرگ ریسک محور | ۵ | بخش مرکزی شهرستان ارومیه، به دلیل نزدیکی به مراکز نظامی، مراکز بهداشتی - درمانی همچنین به دلیل امنیت از لحاظ جغرافیایی، زمین ساختی مناسب برای اسکان موقت می‌باشد | ۱۴۰۰ | مکان یابی اسکان موقت جهت مدیریت بحران بعد از زلزله (نمونه موردی شهرستان ارومیه)، | ۲ |
| یک مدل تصادفی دوهدفه مکان یابی- تخصیص - مسیریابی امداد و نجات در شرایط واکنش به بلافاصله ارائه شد | ۲۰۲۴ | یک مدل تصادفی دوهدفه مکان یابی- تخصیص- مسیریابی امداد و نجات در بلافا | ۶ | در مجموع ۱۳۲۱۸۷۲۵ مترمربع حدوداً معادل ۱۳۲۱ هکتار در منطقه ۱۹ تهران قابلیت اسکان را پیدا نموده است | ۱۴۰۳ | مکان یابی اسکان اضطراری در منطقه ۱۹ شهر تهران با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره. | ۳ |

۴-۳-۱- پیشینه داخلی

سیلاوی (۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های فازی و مدل بهینه‌سازی شده و معیارهایی مانند شدت زمین لرزه، شیب، قدمت ساختمان، تعداد طبقه، تراکم مراکز صنعتی خطرناک و تراکم جمعیت، آسیب‌پذیری فیزیکی ساختمان‌های مسکونی و نیز آسیب‌پذیری انسانی را در دو سناریوی وقوع زمین لرزه در روز در یکی از روزهای سال تحصیلی و شب برای حوزه‌های آماری شهر تهران ارزیابی نمود. صفرزاده و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به بررسی کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه در مکانیابی اردوگاه‌های اسکان موقت شهر تهران پس از وقوع زلزله پرداخته است. این موضوع که یکی از مهمترین مسائلی که مورد توجه سازمان مدیریت بحران قرار دارد، انتخاب مکان‌هایی جهت استقرار سانه دیدگان بوده است. با توجه به اینکه زلزله از اصلی‌ترین سوانح طبیعی است که کشور ما را همواره تهدید می‌کند. برنامه‌ریزی و تعیین موقعیت اماکن اسکان موقت پس از

زلزله امری بسیار مهم در زمینه‌ی مدیریت بحران در کشور می‌باشد. لذا در تحقیق پیش روی، سعی شده مکانهای بهینه اسکان موقت آسیب‌دیدگان زلزله‌های احتمالی را برای شهر تهران که از نظر جغرافیایی استعداد لرزه‌خیزی بالایی دارد مورد پیش‌بینی قرار داده تا در صورت وقوع حادثه، مدیریت بحران زلزله را با ایجاد تسهیلات لازم جهت شناخت مکانهای مناسب اسکان موقت یاری نماید. در این تحقیق، به منظور بهینه‌سازی اماکن اسکان موقت پس از زلزله براساس فاکتورهای فیزیکی از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ازدحام ذرات استفاده شده است. در این الگوریتم، اهداف اصلی شامل نزدیکی به مناطق آسیب‌پذیر، نزدیکی به مناطق با جمعیت بالا و نزدیکی به راه‌های اصلی درجه یک تعریف شده‌اند. مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از سیستم استنتاج فازی و با در نظر گرفتن فاکتورهای نزدیکی به گسل، نزدیکی به بیمارستان‌ها و نزدیکی به مراکز آتش‌نشانی مشخص گردید و وارد الگوریتم گردید. با توجه به چند هدفه بودن الگوریتم ازدحام ذرات در نهایت تصمیم‌گیرنده در جبهه‌ی جواب با تعدادی جواب با ارزش یکسان مواجه خواهد بود که تحت سناریوی مختلف و با توجه به اولویت و شرایط موجود می‌تواند بهترین جواب را از میان جواب موجود انتخاب کند. در تست‌های انجام شده بر روی الگوریتم مشخص شده که از نظر همگرایی و تکرارپذیری قابل قبول است، نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک سیستم حاکی تصمیم‌گیری در مواقع بروز بحران به مدیران و برنامه‌ریزان در خصوص برنامه‌ریزی و مکان‌یابی صحیح اسکان موقت آسیب‌دیدگان زلزله کمک نماید. اخوان عبدالهیان و همکاران (۱۳۹۴) مکان‌یابی مراکز اسکان و امداد از منظر مدیریت بحران با ترکیب تکنیک تاپسیس و روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و نرم افزار GIS در شهر سبزوار انجام دادند. تایج پژوهش حاکی از آن است که معیارهای نزدیکی به کاربری‌های مسکونی، نزدیکی به مراکز درمانی، نزدیکی به ایستگاه آتش‌نشانی، دسترسی مناسب به راه‌ها و دوری از تأسیسات شهری خطرناک در مکان‌یابی مراکز اسکان و امداد دارای بیشترین اهمیت می‌باشد. همچنین با توجه به شرایط و ویژگی‌های شهر سبزوار معیارهای نزدیکی به کاربری‌های مسکونی و دسترسی مناسب به راه‌های دسترسی دارای بیشترین اولویت در مکان‌یابی این مراکز می‌باشد. در تحقیق دیگر، ساجدی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی مزایای بهینه‌سازی زمان و هزینه در استقرار سکونت‌گاه‌های اسکان موقت پس از بحران پرداختند. هدف از این پژوهش، آرایش بهینه بلوک‌های جمعیتی در سکونت‌گاه‌ها بوده که به نحوی، اولاً بیش از ظرفیت هر سکونت‌گاه در آن اسکان داده نشوند و ثانیاً "کمترین فاصله و هزینه جهت جابجایی جمعیت صرف گردد. نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم ازدحام ذرات نشان داد که هر بلوک جمعیتی به کدام سکونت‌گاه بایستی حرکت کند تا در نهایت هزینه و زمان عملیات بهینه گردند. بنفشه و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به تعیین مکان‌های بهینه احداث پایگاه‌های چند منظوره مدیریت بحران در مناطق با خطر زلزله بالا در مناطق ۱، ۴ و ۱۰ در شمال شهر تبریز پرداخته است. در مرحله نخست به شناسایی و بررسی عوامل موثر بر مکان‌گزینی پایگاه‌ها و سپس با گردآوری و آماده‌سازی لایه‌ها، نقشه‌های رستری تهیه شد. در ادامه با وزن‌دهی به پارامترها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداخته و در نهایت لایه‌های اطلاعاتی بر مبنای مدل بولین و فازی با یکدیگر تلفیق و در نهایت از ترکیب نتایج حاصل از این مرحله گزینه‌هایی به عنوان مکان مطلوب، معرفی شد. نتایج استخراج شده از پژوهش، بخش جنوبی منطقه چهار به عنوان گزینه برتر تعیین شد که دارای فضاهای شهری مناسب از قبیل فضاهای سبز، آموزشی و ورزشی معرفی نموده است. قادری و همکاران (۱۴۰۰) در مکان‌یابی اسکان موقت جهت مدیریت بحران بعد از زلزله در شهرستان ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از روش منطق فازی با در نظر گرفتن نقشه‌های گسل، مراکز نظامی، مراکز بهداشتی - درمانی، مراکز آتش‌نشانی، خطوط برق فشار قوی، انتقال گاز، مراکز سکونتی، مسیل و رودخانه انجام شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد بخش مرکزی شهرستان ارومیه، به دلیل نزدیکی به مراکز نظامی، مراکز بهداشتی - درمانی همچنین به دلیل امنیت از لحاظ جغرافیایی، زمین‌ساختی و کمترین آسیب‌پذیری در زمان وقوع زلزله، نقش به‌سزایی در خدمات رسانی و امداد و نجات پس از وقوع زلزله داشته و به همین دلایل بهینه‌ترین مکان‌ها را در جهت برنامه‌ریزی و مکان‌یابی اسکان موقت بعد از زلزله را دارا می‌باشد. در پژوهشی دیگر، خیر دست و همکاران (۱۴۰۳) مطالعه‌ای در زمینه مکان‌یابی اسکان اضطراری در منطقه ۱۹ شهر تهران با استفاده از الگوریتم‌های تصمیم‌گیری انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد پس از تولید نهایی نقشه‌ی اسکان و طبق نتایج این پژوهش، ۲۸ پهنه با ارزش ۷-۹ جهت اسکان مورد پذیرش واقع شد. همچنین ۱۷ پهنه با ارزش ۷ (نسبتاً خوب)، ۷ پهنه با ارزش ۸ (خوب) و ۴ پهنه با ارزش ۹ (ایده آل) در منطقه مورد مطالعه جهت اسکان اضطراری شناسایی شدند. در مجموع ۱۳۲۱۸۷۲۵ مترمربع حدوداً معادل ۱۳۲۱ هکتار در منطقه ۱۹ تهران قابلیت اسکان را پیدا نموده است.

۴-۳-۲- پیشینه خارجی

راشد و ویکس (۲۰۰۸) در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله" با استفاده از تحلیل‌های فضای معیاری، ابتدا محدودیت‌های دیدگاه‌های مکانی (ArcGIS) به همراه بهینه‌سازی فرا ابتکاری در تحلیل آسیب‌پذیری اثبات کرده و آسیب‌پذیری زلزله را تحلیل کرده و در نهایت به این مطلب تأکید نموده که می‌توان از روش‌های دیگر استفاده کرد. مارتینلی و سیفانا (۲۰۰۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و ارائه سناریوهای آسیب برای شهرهای ایتالیا، ابتدا با استفاده از مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری، میزان آسیب‌پذیری ساختمانی را ارزیابی نموده و در نهایت با ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به تخمین و مدلسازی خسارات ناشی از زلزله‌های احتمالی پرداخته شده است. جیورجیدائو و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی به بهینه‌سازی واکنش اضطراری تکاملی چند هدفه برای حوادث بزرگ پرداخته است. این مطالعه در مکان‌یابی بلایای طبیعی، هسته‌ای و حمل و نقلی با رویکرد تصمیم‌گیری مبتنی بر واکنش اضطراری پرداخته است. جیولیو و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی زلزله مخرب ۷/۱ ریشتری سال ۲۰۱۰ بخش یوشو در کشور چین با ۲۶۹۸ نفر کشته را مورد مطالعه قرار داده و در آن ضمن بیان عوامل مؤثر در شدت گرفتن خسارات وارده بر منطقه، به تجربیات بازسازی و بازگرداندن منطقه به حالت قبل از وقوع زلزله و نقش سازمانها و نهادهای دولتی در امداد رسانی به آسیب‌دیدگان از جمله اسکان آنها پرداخته است. این پژوهش شرایط محیطی خاص منطقه و کمبود امکانات زیرساختی برای امداد رسانی را از جمله عوامل مؤثر در شدت تلفات دانسته است. در مطالعات جدیدتر نیز، لومر و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی استفاده از روش‌های بهینه‌سازی به انتخاب پناهگاه اضطراری در زمان زلزله با استفاده از یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری ریسک محور پرداختند. این مطالعه یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر ریسک جدید را برای کمک به برنامه‌ریزان مدیریت ریسک بلایا ارائه داده تا بهترین مکان‌ها را برای پناهگاه‌های اضطراری پس از زلزله شناسایی گردد. مساحت مکان‌های بهینه شده برای پناهگاه‌های اضطراری در منطقه، بسته به نگرش ریسک تصمیم‌گیرنده از ۴٪ (بدبینانه) و تا ۲۸٪ (خوش‌بینانه) متغیر بوده است. بایگان و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی یک مدل تصادفی دوهدفه مکان‌یابی - تخصیص - مسیریابی امداد و نجات در شرایط واکنش به بلایا ارائه نمودند. ایشان با ترکیب الگوریتم‌های فرا ابتکاری و روش محدودیت افسیلون، یک راه حل کارآمد قوی برای اهداف مدل توسعه داده‌اند.

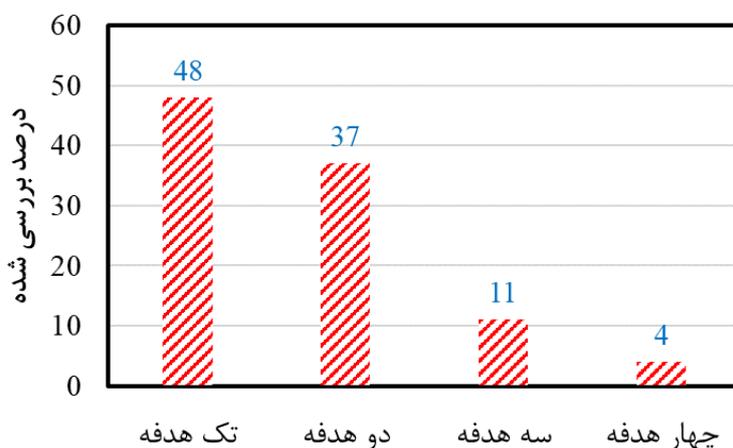
۵- بحث و نتایج

با توجه به مباحث اشاره شده، رسیدن به هدف‌های سازمانی به برنامه‌ریزی و طرح‌ریزی راهبردهای مناسب حوزه‌های وابسته به سازمان مانند منابع انسانی، منابع مالی، تکنولوژی بستگی دارد. در سال‌های گذشته به موضوع منابع انسانی توجه بیشتری نموده‌اند، به همین علت که این عامل را بعنوان برترین عامل در کسب مزیت رقابتی پایدار دانسته‌اند. با بیان این مطالب می‌توان بطور خلاصه ادعان داشت که مدل بهینه‌سازی یک هدفه/چند هدفه ارائه شده است. در این قسمت به ویژگی‌های رویکرد بهینه‌سازی فرا ابتکاری در مسائل تحقیقاتی در مهندسی عمران پرداخته خواهد شد. از جمله این مسائل تک/چند هدفه بودن مطالعات، تنوع الگوریتم‌های بهینه‌سازی، نرم افزار مورد استفاده و سرعت همگرایی آن‌ها می‌باشد.

۵-۱- بررسی تک/چند هدفه بودن مطالعات

برای بهینه‌سازی مسائل مهندسی عمران، ابتدا متناسب با موضوع بررسی، اهدافی انتخاب شده تا با بررسی قیود و پارامترها بهینه‌سازی (کمینه یا بیشینه) اتفاق بیفتد. با توجه به مطالعات بررسی شده، ارزیابی نتایج بر مبنای ۱-۴ هدف در نظر گرفته شده که بیشتر تحقیقات تک هدفه و یا حداکثر دو هدفه بوده است. شکل (۶) نمودار بررسی اهداف بررسی شده در این تحقیقات را نشان داده است. از جمله اهداف در مسائل بهینه‌سازی زمان بندی پروژه که بیشترین اهداف را در مطالعات شامل شده‌اند حداقل‌سازی زمان تکمیل پروژه‌ها، مجموع هزینه‌های کل اجرای پروژه شامل دستمزد پرداختی به پرسنل و هزینه‌ی بیکاری نیروی انسانی، حداکثرسازی کیفیت اجرای چند پروژه و همچنین در نظر گرفتن مدل شایستگی نیروی انسانی می‌باشد. در موضوعات جانمایی و تجهیز کارگاه نیز اهداف در نظر گرفته شده شامل حداقل‌سازی هزینه حمل و نقل بین تجهیزات، حداقل‌سازی هزینه‌های مکان‌یابی مجدد، حداکثرسازی سطح ایمنی و حداقل‌سازی مجموع آلودگی صوتی بوده است. در مطالعات مکان

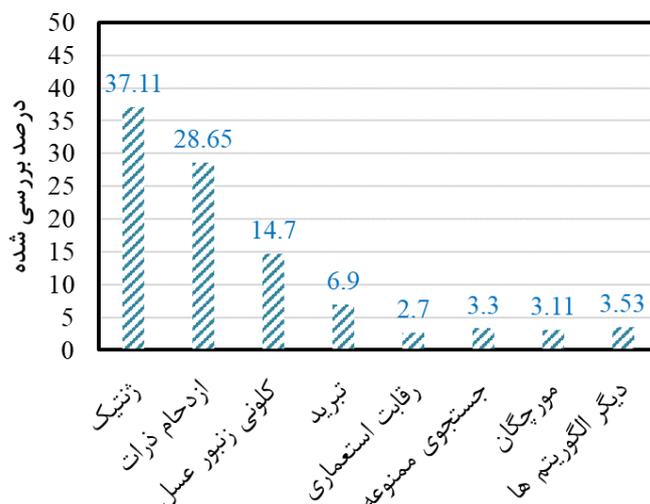
یابی در مدیریت بحران نیز کمینه سازی فواصل نسبت به معیارهای ارزیابی از جمله مراکز آتش نشانی و بهداشتی جر مهم ترین توابع هدف بررسی شده بوده است. یکی از مهمترین مسائلی که همواره مورد توجه سازمان‌های مسئول در مدیریت بحران قرار دارد انتخاب مکانی مناسب جهت اسکان موقت جمعیت‌های آسیب دیده از سوانح می‌باشد. بدیهی است عدم رعایت مکان‌گزینی صحیح ممکن است فاجعه دیگری حتی به مراتب وخیم‌تر از سانحه اولیه بدنبال داشته باشد. لذا دسترسی مناسب به معبر و مراکزی مانند فضاهای باز، مراکز امداد و نجات و ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نقش مؤثری در کاهش تلفات و آسیب‌پذیری در هنگام وقوع زلزله احتمالی و پس از آن دارد.



شکل (۶): بررسی اهداف تحقیقاتی تحقیق‌های بهینه سازی

۵-۲- پراکندگی الگوریتم‌های بهینه سازی در تحقیقات پیشین

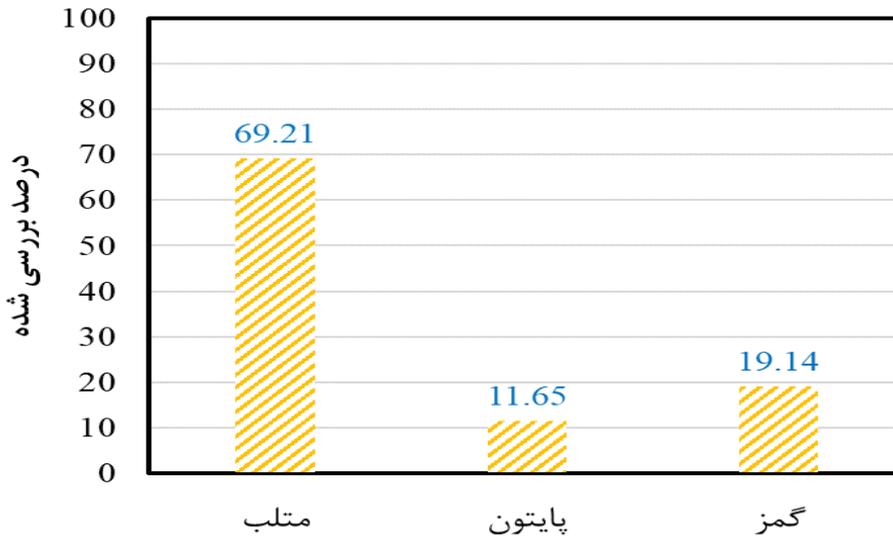
استفاده از الگوریتم‌ها در کاهش هزینه‌های مالی و زمانی یک پروژه اهمیت زیادی دارد. در مطالعات بررسی شده الگوریتم‌های بهینه سازی مختلفی استفاده گردیده است. بیشترین الگوریتم استفاده شده ژنتیک بوده که درصد آن ۳۷/۱۱ می‌باشد. الگوریتم چند هدفه ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب نیز در این دسته گنجانده شده و شکل‌های دو و سه هدفه از آن مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم ژنتیک به علت سرعت همگرایی مناسب و انعطاف پذیری مطلوب آن پیاده سازی و به شکل‌های مختلفی عملیات بهینه سازی را انجام داده است. از دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده ازدحام ذرات با ۲۸/۶۵ درصد، کلونی زنبور عسل با ۱۴/۷ و تبرید با ۶/۹ درصد می‌باشد.



شکل (۷): توزیع پراکندگی الگوریتم‌های استفاده شده

۵-۳ نرم افزارهای مورد استفاده

از دیگر تحلیل‌های انجام شده بررسی استفاده از نرم افزارهای کدنویسی و بهینه سازی می‌باشد. مطالعات پژوهش‌های پیشین نشان داد از نرم افزارهای متلب، پایتون و گمز جهت کدنویسی استفاده شده و مقالات و تحقیقاتی با پیاده سازی الگوریتم‌ها ارائه شده است. شکل (۶) توزیع استفاده از نرم افزارها را در بررسی تحقیقات نشان داده است. همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده استفاده از نرم افزار متلب بسیار راجح تر از نرم افزارهای دیگر بوده و همچنین از نرم افزار گمز جهت حل مسئله با ابعاد کوچکتر نیز استفاده گردیده است.



شکل (۸): نرم افزارهای استفاده در مسائل بهینه سازی صنعت عمران

۵-۴- شناسایی خلاهای تحقیقاتی

بر اساس مطالب ارائه شده در فایل، می‌توان چندین خلا تحقیقاتی در زمینه بررسی استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی هزینه‌های ساخت و ساز شناسایی کرد. این خلاها به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- **توجه ناکافی به مسائل چندهدفه پیچیده:** بیشتر مطالعات بررسی شده در این تحقیق، اهداف بهینه‌سازی را به صورت تک‌هدفه یا حداکثر دوهدفه در نظر گرفته‌اند. این امر نشان می‌دهد که نیاز به تحقیقاتی وجود دارد که مسائل چندهدفه پیچیده‌تر را با در نظر گرفتن تعاملات بین پارامترهای مختلف، از جمله هزینه، زمان، کیفیت، و بهره‌وری نیروی انسانی بررسی کنند.
- **محدودیت الگوریتم‌های مورد استفاده:** اکثر مطالعات به الگوریتم ژنتیک و تعداد محدودی از الگوریتم‌های فراابتکاری مانند ازدحام ذرات و شبیه‌سازی تبرید تکیه داشته‌اند. تحقیقاتی که به ترکیب الگوریتم‌ها یا توسعه نسخه‌های پیشرفته‌تر از الگوریتم‌های موجود بپردازند، می‌توانند پتانسیل‌های بیشتری برای بهینه‌سازی به ارمغان بیاورند.
- **عدم بررسی جامع ابزارهای نرم‌افزاری مدرن:** بیشتر پژوهش‌ها از نرم‌افزار متلب برای پیاده‌سازی استفاده کرده‌اند، در حالی که ابزارهای مدرن‌تر و مقیاس‌پذیرتری مانند پایتون و فریم‌ورک‌های خاص آن مانند TensorFlow یا PyTorch کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این امر می‌تواند خلا مهمی برای تحقیقات آینده باشد.
- **عدم بررسی کافی رویارویی با عدم قطعیت‌ها:** بسیاری از پروژه‌های ساختمانی با عدم قطعیت‌هایی نظیر تغییرات قیمت مصالح، نوسانات بازار، یا شرایط محیطی مواجه‌اند. در مطالعات مورد بررسی، روش‌های مدیریت عدم قطعیت و سناریوسازی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

- **کاربردهای محدود در بخش مدیریت بحران:** اگرچه مدیریت بحران در بخش‌هایی مانند مکانیابی و اسکان موقت بررسی شده، اما نیاز به تحقیقاتی وجود دارد که روش‌های فراابتکاری را برای بهینه‌سازی رویکردهای جامع‌تر مدیریت بحران، مانند توزیع منابع و زمان‌بندی واکنش اضطراری، توسعه دهند.
- **محدودیت در حوزه‌های مورد بررسی:** مطالعات عمدتاً روی مسائل زمان‌بندی پروژه، تجهیز و جانمایی کارگاه متمرکز شده‌اند. با این حال، سایر جنبه‌های پروژه‌های عمرانی مانند ارزیابی زیست‌محیطی، مدیریت ریسک، و بهینه‌سازی نگهداری سازه‌ها کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۶- نتیجه گیری

هدف از بهینه‌سازی چندهدفه یافتن جواب‌های قابل قبول و ارایه آن به تصمیم‌گیرنده برای انتخاب یک گزینه از میان جواب‌های ارایه شده است. امروزه با پیشرفت الگوریتم‌های بهینه‌سازی و کامپیوترهای با سرعت و قدرت پردازش بالا دیگر طراحی سازه‌ای که منجر به طرحی ایمن شود کافی نیست و طراحان به دنبال گزینه‌ای هستند که به طرحی ایمن، با عملکرد مطلوب سازه‌ای و اقتصادی منجر شود. لذا در این مطالعه نیز ارزیابی‌مروری از روش‌های بهینه‌سازی فراابتکاری در مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌های عمرانی با رویکرد ارزیابی صرفه‌جویی‌های مالی-زمانی ارائه شده است. مقالات بررسی شده نتایج جالب توجهی از ویژگی‌های بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری را پیاده‌سازی نموده و مسائل و چالش‌های عمرانی را ارزیابی نمودند. مطالعه حاضر به جهت بررسی کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در سه دسته زمان‌بندی پروژه، تجهیز و جانمایی کارگاه و مدیریت بحران با رویکرد مهندسی عمران بررسی و نتایج زیر از این مطالعه مروری مستخرج گردید.

- نتایج نشان داد اهداف بررسی شده در مطالعات عموماً تک هدف و دو هدفه بوده که این موضوع بررسی عمیق‌تر مسائل مهندسی عمران با بررسی پارامترهای بیشتر و توابع هدف اساسی‌تری را ضروری می‌بخشد.
- تنوع الگوریتم‌های استفاده شده نشان داد روش الگوریتم ژنتیک به عنوان روشی با سرعت همگرایی مناسب و دقیق و منعطف استفاده بیشتری در این مطالعات داشته و نتایج اخذ شده از مقالات با استفاده از بهینه‌سازی‌های یک یا چند هدفه بوسیله الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفته است.
- عموم مطالعات بهینه‌سازی انجام شده از طریق کدنویسی در نرم افزار متلب بوده و برای حل مسائل در ابعاد کوچکتر در نرم افزار گمز نیز در تعدادی پژوهش استفاده گردیده است. با توجه به رشد و گسترش زبان برنامه‌نویسی پایتون، نیاز به یادگیری و استفاده از این زبان برنامه‌نویسی نیز به دغدغه‌ای مفید برای پژوهشگران بدل شده که پیش‌بینی می‌شود در سالیان آینده کدنویسی و مدلسازی در این نرم افزار جایگزین متلب گردد.
- یافته‌ها نشان داد بهینه‌سازی جانمایی کارگاه‌ها منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی و بهره‌وری شده است. همچنین استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری نیز منجر به کاهش زمان و هزینه پروژه‌ها و بهبود کیفیت اجرا شد. در موضوع مدیریت بحران نیز، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری منجر به بهبود تصمیم‌گیری و کاهش زمان واکنش به بحران شده است.
- خلاصه‌ای تحقیقاتی فرصت‌های مهمی برای پژوهشگران فراهم می‌کند تا با تمرکز بر جنبه‌های جدید و کاربردی‌تر، اثرات استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری را در بهینه‌سازی هزینه‌ها و عملکرد پروژه‌های عمرانی افزایش دهند. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی مسائل مهندسی عمران یکی از موضوعات کلیدی و رو به رشد در تحقیقات علمی است. با این حال، بررسی مطالعات موجود نشان می‌دهد که هنوز موضوع‌های متعددی در این حوزه وجود دارد که می‌تواند مسیرهای جدیدی برای پژوهشگران فراهم کند.

مراجع

- Abdalla, M., Alarabi, L., & Hendawi, A. (2021). Crisis management art from the risks to the control: a review of methods and directions. *Information*, 12(1), 18.
- Afrasiab Kheirdast, S. A., Jowzi, S., Rezayan, M., & Mirza Ebrahim Tehrani, M. (2024). Locating emergency shelters in District 19 of Tehran using multi-criteria decision-making method. *Human and Environment*, 1, 35–54.
- Akhavan Abdollahi, M. R., Taghvaei, M., & Varesi, H. (2016). Locating shelter and relief centers from the perspective of crisis management using a combination of TOPSIS technique and AHP-GIS method in Sabzevar city. *Geography and Urban Development*, 3(2), 107–126.
- Andayesh, M., and Sadeghpour, F., (2014). “The time dimension in site layout planning”, *Automation in Construction*, Volume 44, pages129– 139.
- Andayesh, M., and Sadeghpour, F., (2014). “The time dimension in site layout planning”, *Automation in Construction*, Volume 44, pages129– 139.
- Ansarifar, S. (2015). A model for increasing safety and reducing costs in construction projects through prioritizing proper site layout. *National Conference on Architectural Engineering, Civil Engineering, and Urban Development*.
- Asadzadeh, M., & Gholipour, Y. (2014). Developing an optimization algorithm for hazardous layout in construction sites to achieve maximum safety in facility placement. *15th National Civil Engineering Students Conference*.
- Bakhshi Lomer, A. R., Rezaeian, M., Rezaei, H., Lorestani, A., Mijani, N., Mahdad, M., ... & Arsanjani, J. J. (2023). Optimizing emergency shelter selection in earthquakes using a risk-driven large group decision-making support system. *Sustainability*, 15(5), 4019.
- Batarlienè, Nijolè et al. “The Impact of Human Resource Management on the Competitiveness of Transport Companies.” *Procedia Engineering* 187: 110–16, 2017.
- Baygan, B., Mehrabian, A., Yousefi Nejad Attari, M., & Doostideilami, M. J. (2024). A Bi-Objective Stochastic Model of Locating-Allocating-Routing Relief and Rescue in Disaster Response Conditions: An Accelerated Benders Decomposition. *Complexity*, 2024(1), 8838354.
- Bellenguez-Morineau, O., “Methods to solve multi-skill project scheduling problem”, *A Quarterly Journal of Operations Research*, Vol. 6, pp. 85-88, 2008.
- Berk, Lauren, Dimitris Bertsimas, Alexander M. Weinstein, and Julia Yan. “Prescriptive Analytics for Human Resource Planning in the Professional Services Industry.” *European Journal of Operational Research*. 2018.
- Bernardo F. Almeida , Isabel Correia , Francisco Saldanha-da-Gama, “Priority-based heuristics for the multi-skill resource constrained project scheduling problem”, *Expert Systems with Applications*, Vol.57, pp.91-103, 2016.
- Bohlouli, Mahdi et al. “Competence Assessment as an Expert System for Human Resource Management: A Mathematical Approach.” *Expert Systems with Applications* 70: 83–102, 2017.
- Cherouideh, J., & Shahraki, M. R. (2022). Project selection optimization using the tabu search algorithm considering time, cost, quality, and resource constraints in the critical chain method. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 9(3), 43–64.
- Cheung, Sai-On and Tong, Thomas Kin-Lun and Tam, Chi-Ming. Site pre-cast yard layout arrangement through genetic algorithms. In *Automation in Construction*, Volume 11, No. 1, pages 35–46. Elsevier, 2002.

Chirandini, M., Schaerf, A. and Tiozzo, F., "Solving employee timetabling problems with flexible workload using tabu search", The 3rd international Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling , Konstanz, Germany, pp. 298-303, 2002.

Correia , Francisco Saldanha-da-Gama, "The impact of fixed and variable costs in a multi-skill project scheduling problem: An empirical study", Computers & Industrial Engineering, Vol. 72, pp. 230-238, 2014.

Fernandez-Viagas, V., and Framinan, J.M., "Integrated Project Scheduling and Staff Assignment with Controllable Processing Times", Hindawi Publishing Corporation, The Scientific World Journal, 2014.

Firat, M., and Hurkens, C.A.J., "An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem", Journal of Scheduling, Vol. 15, pp. 363-380, 2012.

Georgiadou, P. S., Papazoglou, I. A., Kiranoudis, C. T., & Markatos, N. C. (2010). Multi-objective evolutionary emergency response optimization for major accidents. Journal of Hazardous Materials, 178(1-3), 792-803.

Ghaderi, R., Omidvarfar, S., & Bayramzadeh, N. (2021). Locating temporary shelters for post-earthquake crisis management (Case study: Urmia County). 2nd International Conference and 5th National Conference on Natural Resources and Environmental Protection, Ardabil.

Ghadiri, A., Sedaghat Shayegan, D., & Amirkardoust, A. (2022). Multi-objective firefly optimization algorithm for construction site layout planning. Iranian Journal of Optimization, 14(4), 245-260.

Ghasemi, S., Davoudi, A., & Bagheri Tehrani, M. (2023). The impact of project management on site preparation, equipment, and dismantling (Case study: Mehr Housing Phase 8). International Conference on Civil Engineering, Architecture, and Information Technology in Urban Life

Guo, K., & Zhang, L. (2022). Multi-objective optimization for improved project management: Current status and future directions. Automation in Construction, 139, 104256.

Hadi, A., Liu, Y., & Li, S. (2022). Transcending the silos through project management office: Knowledge transactions, brokerage roles, and enabling factors. International Journal of Project Management, 40(2), 142-154.

Hamiani, A. Knowledge representation for the site layout problem. In Computing in Civil Engineering@ sComputers in Engineering Practice, pages 283–289, American Society of Civil Engineers, 1989.

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, pages58– 68.

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, pages58– 68.

Hesami, S., Akbari Kafash, E., & Tila, N. (2012). Prioritizing factors affecting the equipment of construction sites using AHP and ANP approaches. 2nd National Conference on Construction Engineering and Management, Amirkabir University of Technology.

Htoo, T. T., Dodanwala, T. C., & Santoso, D. S. (2023). Project management maturity and performance of building construction projects in Myanmar. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 28(1), 04022070.

Huang, C., and Wong, C.K., (2015), "Optimisation of site layout planning formultiple construction stageswith safety considerations and requirements", Automation in Construction, Volume 53, pages58– 68.

Huang, C., and Wong, C.K., (2015), "Optimisation of site layout planning formultiple construction stageswith safety considerations and requirements", *Automation in Construction*, Volume 53, pages58– 68.

Jifu Liu, Yida Fan, Piejun Shi, (2011), Response to a high-Altitude Earthquake: The Yushu Earthquake example, *Int J. Disaster risk sci*,2(1),43-53.

Kawanaka, H., Yamamoto, K., Yoshikawa, T., Shinogi, T. and Tsuruoka, S., "Genetic algorithm with the constraints for nurse scheduling problem", *Congress on Evolutioary Computation*, pp. 1123-1130, 2001.

Kazemipoor, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., and Shahnazari-Shahrezaei, P., "Solving a mixed-integer linear programming model for a multi-skilled project scheduling problem by simulated annealing ", *Management Science Letters*, Vol. 2, pp. 681-688, 2012.

Kerzner, H. (2019). *Using the project management maturity model: strategic planning for project management*. John Wiley & Sons.

Kerzner, H. (2022). *Project management metrics, KPIs, and dashboards: a guide to measuring and monitoring project performance*. John Wiley & Sons.

Khatami Firoozabadi, S. M. A., Bagheri, M., & Yousefi, S. (2017). Scheduling construction projects using a combination of multi-objective programming and simulation-based optimization. *Research in Production and Operations Management*, 8(2), 83–98.

Khodabandeh Shahraki, M., Razavi Haji Agha, S. H., & Daneshvar, M. (2023). Designing a robust multi-objective model for project scheduling with resource constraints and time-cost trade-offs. *Industrial Management*, 15(2), 223–243

Khoshtaba, M., & Eshtehardiann, E. (2012). Planning appropriate construction site layouts for safety maintenance and cost control. 2nd National Conference on Construction Engineering and Management, Amirkabir University of Technology.

Kianto, Aino, Josune Sáenz, and Nekane Aramburu. "Knowledge-Based Human Resource Management Practices, Intellectual Capital and Innovation." *Journal of Business Research* 81: 11–20, 2017.

Lian, Jie, ChenGuang Liu, WenJuan Li, and Yong Yin. "A Multi-Skilled Worker Assignment Problem in Seru Production Systems Considering the Worker Heterogeneity." *Computers & Industrial Engineering* 118: 366–382, 2018.

Liu, C., Zhang, F., Zhang, H., Shi, Z., & Zhu, H. (2023). Optimization of assembly sequence of building components based on simulated annealing genetic algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, 62, 257-268.

Mahdavi, I., Hemtian, M., Taheri Amiri, M. J., & Ghanat, O. (2019). Providing exact and metaheuristic solution methods for the project completion time minimization problem considering budget constraints. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 6(3), 41–56.

Mahmoud Abadi, A., Beheshti Rad, M., & Mohammadzadeh, M. (2014). Harmony search and equipment layout in construction sites. 1st National Conference on New Horizons in Empowerment and Sustainable Development in Architecture, Civil Engineering, Tourism, Energy, and Urban & Rural Environment.

Martinelli A, Cifani G, 2008, Building Vulnerability Assessment and Damage Scenarios in Celano (Italy) Using a Quick Survey Data-based Methodology, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 28:875-889.

Mehmanchi, E., and Shadrokh, S., "Solving a New Mixed Integer Non-Linear Programming Model of the Multi-Skilled Project Scheduling Problem Considering Learning and Forgetting Effect on the Employee Efficiency", *Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 400-404, 2013.

Mostafazadeh, F., Eirdmouza, S. J., & Tavakolan, M. (2023). Energy, economic and comfort optimization of building retrofits considering climate change: A simulation-based NSGA-III approach. *Energy and Buildings*, 280, 112721.

Musliu, N., Schaerf, A. and Slany, W., "Local Search for shift Design", *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, No. 1, pp. 51-64, 2002.

Musliu, N., Schaerf, A. and Slany, W., "Local Search for shift Design", *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, No. 1, pp. 51-64, 2002.

Nicholas, J. M., & Steyn, H. (2020). *Project management for engineering, business and technology*. Routledge.

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).

Ning, X., Qi, J., Wu, C., (2018), "A quantitative safety risk assessment model for construction site layout planning", *Safety Sciences*, Volume 104, pages 246– 259.

Papadaki, I. N., Chassiakos, A. P., (2016), " Multi-Objective construction site layout planning using genetic algorithms", *Procedia Engineering*, Volume 164, pages 20– 27.

Papadaki, I. N., Chassiakos, A. P., (2016), " Multi-Objective construction site layout planning using genetic algorithms", *Procedia Engineering*, Volume 164, pages 20– 27.

Pazani, M., Rezaeifar, O., & Rabizadeh, A. (2022). Project management in civil engineering: Expert assessment to reduce costs and time with a focus on comprehensive quality improvement. *Journal of Civil Engineering and Projects*, 4(4), 62–71.

Pearson, C. M., & Mitroff, I. I. (2019). From crisis prone to crisis prepared: A framework for crisis management. In *Risk management* (pp. 185-196). Routledge.

Rashed, T., & Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576.

Rezaei Banafsheh, M., Valizadeh Kamran, K., & Mohsenzadeh, M. (2019). Determining optimal locations for establishing multipurpose crisis management bases in high seismic risk areas (North Tabriz). *Geography and Planning*, 23(68), 111–133.

Rouhparvar, M., & Ravaneshadnia, M. (2011). Stages of designing construction site layout with a focus on determining facility dimensions and their interrelations. *2nd International Conference on Strategic Project Management*.

Safar Zadeh, R., Karimi, M., & Alaei Moghaddam, S. (2016). Application of multi-objective particle swarm optimization algorithm in locating temporary shelter camps in Tehran after an earthquake. *2nd International Congress on Earth Sciences and Urban Development*.

Said, H., and El-Rayes, KH. (2010) "Optimizing the planning of construction site security for critical infrastructure projects", *Automation in Construction*, Volume 19, Issue 2, Pages 221-234.

Sajjadi, S. F., Hashemi, S. H., & Kalvandi, S. M. (2018). Optimization of time and cost in the establishment of temporary settlements after disasters. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 50(5), 1003–1014.

Shahebrahimi, Seyedeh Sima, Davood Sedaghat Shaygan, and Aliasghar Amirkardoost. "Knowledge Management to Investigate the Management of Gas & Oil Industry Gas Compressor Stations Projects."

Shahnazari-Shahrezaei, P., Tavakkoli-Moghaddam, R., and Kazemipoor, H., "Solving a new fuzzy multi-objective model for a multi-skilled manpower scheduling problem by particle swarm optimization and elite tabu search", *Intrnational Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 64, pp. 1217-1240, 2013.

Shakeri, E., & Mansouri, M. (2014). Review of the process of site equipment and dismantling. 1st National Congress on Construction and Evaluation of Civil Projects.

Shakroui, H., & Taghavi, B. (2022). Investigation of effective items in the equipment of industrial and EPC project sites. *Journal of Civil Engineering and Project Management*, 4(8), 37–47.

Silavi, T. (2010). Seismic vulnerability assessment of Tehran city using intuitionistic fuzzy models (Master's thesis in GIS). University of Tehran.

Taheri Amiri, M. J., Haghghi, F. R., Eshtehardi, E. A., & Abasi, A. (2019). Time-cost-quality trade-off in the critical chain method with multi-mode activities using a multi-objective particle swarm optimization algorithm. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 6(1), 134–154.

Taheri Amiri, M. J., Hamtani, M., Haghghi, F. R., & Javaheri Barforoushi, M. (2021). Optimization of internal site layout and its impact on construction project costs using the invasive weed optimization algorithm. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(2), 495–514.

Taheri Amiri, M. J., Hemtani, M., & Jooj, M. (2021). Optimization of time, cost, and quality with interrupted activities in civil projects using the invasive weed optimization algorithm. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(3), 807–822.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Eslami, S.H. "A mathematical model for manpower scheduling solved by genetic algorithm" *Sharif of Science and Technology*, Vol. 12, No. 57B, pp.21-31, 2006.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Fatemi-Ghomi, S.M.T., Afsari, F. and Safaei, M., "A mathematical model for manpower scheduling solved by tabu search", *Amirkabir Journal of Science and Technology*, Vol. 16, No. 61B, pp.13-22, 2005.

Tommelein, ID and Levitt, RE and Hayes-Roth, B. SightPlan model for site layout. In *Journal of Construction Engineering and Management*, Volume 118, No. 4, pages=749–766, American Society of Civil Engineers, 1992.

Tran Thi Hoang, G., Dupont, L., & Camargo, M. (2019). Application of decision-making methods in smart city projects: a systematic literature review. *Smart Cities*, 2(3), 433-452.

Wut, T. M., Xu, J. B., & Wong, S. M. (2021). Crisis management research (1985–2020) in the hospitality and tourism industry: A review and research agenda. *Tourism Management*, 85, 104307.

Yi, W., Chi, H., Wang, S., (2018), "Mathematical programming models for construction site layout problems", *Automation in Construction*, Volume 85, pages 241– 248.