

## توسعه مدل بهینه سازی چیدمان مصالح کارگاهی پروژه های عمرانی با

### ادغام روش مدیریت ساخت ناب و هوش مصنوعی

سپهر حسنی درخشنده<sup>۱\*</sup>، سید وحید فقیهی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران،

s.derakhshandeh@ut.ac.ir

۲- استادیار، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، vfaghhihi@ut.ac.ir

### چکیده

در پروژه های عمرانی، یکی از مهم ترین چالش ها مدیریت بهینه فضای کارگاه و جانمایی مصالح است. این مسأله با توجه به تغییرات پویا در محیط های کارگاهی و محدودیت های منابع، مانند فضا و مصالح، به پیچیدگی بیشتری می انجامد. در روش های سنتی، این فرآیند به صورت دستی و تجربی انجام می شود که می تواند به کاهش کارایی، افزایش هزینه ها و طولانی تر شدن زمان پروژه منجر شود. با توجه به این مسائل، این مقاله به بررسی ادغام اصول مدیریت ساخت ناب (Lean Construction) - روش 5S - با تکنیک های هوش مصنوعی، به ویژه الگوریتم های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm)، برای بهینه سازی جانمایی مصالح در کارگاه های ساختمانی می پردازد. در این تحقیق، ابتدا مدل سازی فضای کارگاهی با استفاده از فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) انجام شده و سپس با به کارگیری الگوریتم های بهینه سازی، موقعیت بهینه برای چیدمان مصالح به دست می آید. هدف این تحقیق افزایش کارایی پروژه ها از طریق کاهش هزینه های انبارداری مصالح، بهبود زمان بندی پروژه و کاهش مخاطرات و تداخلات غیرضروری در فضای کارگاه است. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که استفاده از این رویکرد می تواند تأثیر چشمگیری در بهبود مدیریت فضای کارگاهی داشته باشد و به کاهش زمان اجرا و هزینه های مرتبط با مصالح کمک می کند. این تحقیق همچنین نشان می دهد که ادغام روش های ناب با هوش مصنوعی به افزایش بهره وری نیروی کار و کاهش حوادث ناشی از چیدمان نادرست مصالح کمک می کند.

**واژه های کلیدی:** ساخت ناب، هوش مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی فضای کارگاه، 5S

### ۱- مقدمه

#### ۱-۱- تعریف مسأله

در پروژه های عمرانی، جانمایی مصالح در کارگاه های ساختمانی یکی از چالش های اصلی مدیریت پروژه ها به شمار می رود. کارگاه های عمرانی اغلب با محدودیت فضا مواجه هستند و نیاز به استفاده بهینه از این فضا برای ذخیره سازی مصالح، حمل و نقل و انجام فعالیت های ساخت و ساز وجود دارد. بسیاری از مشکلات مرتبط با تأخیرهای پروژه، افزایش هزینه ها و کاهش بهره وری به دلیل مدیریت نامناسب فضا و جانمایی نادرست مصالح بروز می کنند [۱]. تخصیص فضایی که در روش های سنتی صورت می پذیرد اغلب دقیق نبوده که منجر به افزایش هزینه های ساخت و ساز، طولانی تر شدن زمان اجرای پروژه و اثرات نامطلوب زیست محیطی می شود [۲]. در روش های سنتی، جانمایی مصالح معمولاً به صورت دستی و بر اساس تجربه برنامه ریزی می شود که می تواند به عدم بهینه سازی فضا و افزایش زمان و هزینه منجر شود [۳]. برای رفع این چالش ها، یک چارچوب مفهومی جامع نیاز است که ابزارها و اصول ناب را در فرآیند برنامه ریزی سایت ادغام کند و بهینه سازی فضا و استفاده بهتر از منابع را امکان پذیر کند.

از طرفی، مدیریت خوب مصالح در پروژه های ساختمانی بزرگ برای به حداکثر رساندن بهره وری و عملکرد پروژه حیاتی است. هنگامی که مواد کلیدی به طور موقت گم می شوند، ممکن است تمام نیروی کار بیکار بماند و پروژه به تأخیر بیفتد [۴].

فقدان یک روش سیستماتیک برای بهینه سازی فضاهای کارگاهی، یک مشکل اساسی است. تصمیمات مهم در رابطه با مصالح، اغلب توسط برنامه ریزان و مدیران با تجربه گرفته می شود. در نتیجه، جانمایی مصالح در سایت های ساخت و ساز همچنان به شدت بر اساس تجربه و شهود مدیران سایت یا برنامه ریزان است. که این منجر می شود تا جانمایی اغلب به صورت ۱۰۰٪ بهینه صورت نپذیرد [۵]. ایده اولیه در تدوین این چهارچوب، مدلسازی عددی مصالح در فضای BIM و بهینه کردن جانمایی آنها با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی فراابتکاری همانند الگوریتم ژنتیک (GA) می باشد.

با توجه به مشکلات مطرح شده در مدیریت جانمایی مصالح در کارگاه های عمرانی، این پژوهش به دنبال پاسخ به سوالات زیر است:

۱. چگونه می توان با استفاده از تکنیک 5S و هوش مصنوعی، جانمایی مصالح در کارگاه های ساختمانی را بهینه سازی کرد؟
۲. کدام یک از الگوریتم های بهینه سازی فراابتکاری (مانند الگوریتم ژنتیک) مناسب ترین روش برای بهینه سازی جانمایی مصالح هستند؟
۳. چگونه می توان از مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و شبیه سازی های کامپیوتری برای بهینه سازی جانمایی مصالح استفاده کرد؟

## ۱-۲- هدف و ضرورت

هدف اصلی این پروژه ایجاد یک برنامه کاربردی ساده و شهودی است که امکان مقایسه انواع مختلف سناریوهای برنامه ریزی سایت را فراهم می کند. شاخصی که برای سنجش پاسخ ها مورد استفاده می گیرد؛ 5S می باشد که از رویکر ساخت و ساز ناب می آید. این شاخص، بهینه بودن فضا را با پنج تکنیک ساماندهی<sup>۱</sup> نظم دهی<sup>۲</sup> پاکیزگی<sup>۳</sup> اساتندار سازی<sup>۴</sup> حفظ و نگهداری<sup>۵</sup> کنترل می کند. یکی دیگر از اهداف این پروژه، تعریف یک سیستم نمره دهی به خصوص برای شاخص مذکور و کمی کردن آن برای استفاده در بهینه سازی های عددی است. به همین منظور، از این پنج تکنیک، برخی از آنهايي که قابلیت نمره دهی دارند انتخاب می گردند. هدف بعدی نمایش پاسخ بدست آمده از الگوریتم با شبیه سازی آن در فضای واقعیت مجازی است تا پاسخ بهینه به صورت ملموسی درک شود.

اهمیت و ضرورت اجرای این طرح به برطرف کردن چندین مشکلی می باشد که طرح پیشنهادی توان رفع آنها را دارد که در ادامه به این چالش ها پرداخته خواهد شد.

### • کاهش هزینه

یکی از مسائل مهم در پروژه های عمرانی، مدیریت هزینه ها است. با توجه به محدودیت های فضا و افزایش پیچیدگی های پروژه های ساختمانی، مدیریت بهینه فضا و جانمایی مناسب مصالح از اهمیت بالایی برخوردار است. در پروژه های عمرانی بزرگ، استفاده نادرست از فضا می تواند منجر به هدررفت منابع، افزایش هزینه های انبارداری و حمل و نقل مصالح، و کاهش بهره وری نیروی کار شود [۶]. در نتیجه، افزایش بهره وری و کاهش هزینه های پروژه از طریق بهینه سازی فضا و جانمایی مصالح به یک ضرورت تبدیل شده است.

علاوه بر آن، استفاده از فناوری های نوین مانند هوش مصنوعی و تکنیک های بهینه سازی می تواند به کاهش هزینه های عملیاتی و مدیریتی در پروژه های ساخت و ساز کمک کند. به عنوان مثال، مطالعات نشان داده اند که استفاده از هوش مصنوعی برای مدیریت هزینه ها و بودجه بندی پروژه ها، توانایی کاهش هزینه ها تا ۲۳ درصد را دارد [۷]. به کارگیری هوش مصنوعی برای

<sup>1</sup> Sort

<sup>2</sup> Set in Order

<sup>3</sup> Shine

<sup>4</sup> Standardize

<sup>5</sup> Sustain

مدیریت هزینه و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، منجر به کاهش هزینه‌های اضافی و خطاهای انسانی نیز می‌شود [۸]. در مطالعه دیگری نشان داده شد که الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک به طور خاص در کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت پروژه‌های عمرانی مؤثر بوده‌اند. با استفاده از این الگوریتم‌ها، هزینه‌های جابجایی و نصب مصالح و تجهیزات به طور قابل توجهی کاهش یافته و این امر به تسریع زمان اجرای پروژه کمک می‌کند [۹].

#### • بهبود فرآیند برنامه‌ریزی

بهینه‌سازی جانمایی مصالح در پروژه‌های ساختمانی نه تنها به کاهش زمان جابجایی مصالح و تجهیزات کمک می‌کند، بلکه تأثیر مستقیمی بر بهبود فرآیند برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه دارد. این فرآیند به ویژه با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی پیشرفته مانند الگوریتم ژنتیک، به بهبود کارایی و کاهش زمان‌های مرده کمک می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه مانند NSGA-II برای جانمایی مصالح در سایت‌های ساختمانی می‌تواند به بهبود زمان‌بندی و کاهش تأخیرات کمک کند. به عنوان مثال، در یک مطالعه انجام‌شده، الگوریتم بهینه‌سازی چندجمعیتی با موفقیت به بهبود زمان محاسبه و کاهش زمان جابجایی مصالح تا ۷۵٪ در سایت‌های ساختمانی منجر شده [۱۰]. همچنین استفاده از روش‌های ترکیبی مانند روش بهینه‌سازی ترکیبی زنبور عسل و مورچگان (DHACA) نشان داده که بهبود جانمایی مصالح در سایت‌های ساختمانی باعث بهبود کارایی عملیات و کاهش زمان‌های جابجایی شده است [۱۱].

#### • بهبود لجستیک و کارایی سایت

بهینه‌سازی جانمایی مصالح به طور مستقیم بر بهبود لجستیک و کارایی سایت‌های ساختمانی تأثیر دارد. این فرآیند با کاهش تداخل‌ها و زمان‌های هدر رفته در حمل و نقل مصالح، به بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌های لجستیکی منجر می‌شود. بهینه‌سازی لجستیک در سایت‌های ساختمانی شامل هماهنگی دقیق بین حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی و استفاده بهینه از منابع موجود است که به کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی منجر می‌شود [۱۲]. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی لجستیک و سیستم‌های مدیریت متمرکز، می‌توان جریان‌های مصالح را کنترل کرده و فرآیندهای حمل‌ونقل را بهینه کرد. برای مثال، استفاده از مراکزهای تجمع مصالح (CCC) به جای مدیریت جریان‌های جداگانه، زمان جابجایی و هزینه‌های حمل‌ونقل را به طور قابل توجهی کاهش داده و به بهبود بهره‌وری کلی سایت کمک می‌کند [۱۲].

یکی دیگر از راهکارهای بهینه‌سازی لجستیک، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند Mixed Integer Programming (MIP) برای بهبود فرآیندهای زمان‌بندی و مدیریت لجستیک در سایت‌های ساختمانی است. این روش‌ها به ویژه در پروژه‌هایی که نیاز به هماهنگی‌های پیچیده بین مراحل مختلف ساخت و حمل‌ونقل مصالح دارند، بسیار مؤثر بوده‌اند [۱۳]. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که بر روی سایت‌های ساختمانی شهر وین انجام شد، استفاده از این روش‌ها منجر به کاهش زمان‌های مرده و بهبود کارایی حمل‌ونقل مصالح شد [۱۳].

#### • کاهش خطرات ایمنی

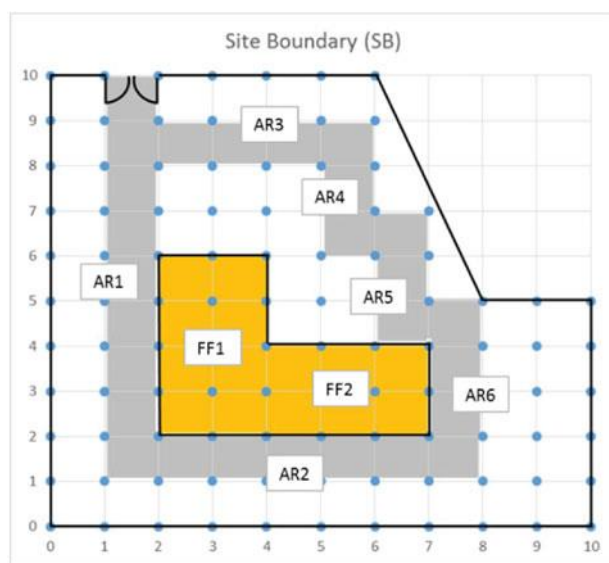
بهینه‌سازی جانمایی مصالح در سایت‌های ساختمانی تأثیر مستقیمی بر کاهش خطرات ایمنی دارد. تنظیم دقیق محل قرارگیری مصالح و تجهیزات، تداخلات غیرضروری بین کارکنان و تجهیزات را کاهش داده و بهبود ایمنی کارگاه را تضمین می‌کند. علاوه بر این، با بهینه‌سازی جریان حمل‌ونقل و دسترسی به تجهیزات، خطرات مرتبط با تصادفات و حوادث در محل کار نیز کاهش می‌یابد [۱۴]. از طرفی استفاده از 5S می‌تواند به بهبود شرایط ایمنی و کاهش خطرات حوادث ناشی از تجهیزات سنگین کمک کند. برای مثال، یک تحقیق که در کارگاه‌های ساختمانی انجام شد، نشان داد که پیاده‌سازی 5S باعث کاهش شاخص‌های حوادث و بهبود شرایط کاری شد [۱۵]. این مطالعه همچنین نشان داد که استفاده از اصول 5S باعث افزایش دقت در استفاده از تجهیزات سنگین و بهبود نظم در کارگاه‌ها شد، که این امر به کاهش خطرات ایمنی و افزایش بهره‌وری منجر گردید.

## ۲- مرور ادبیات

### ۲-۱- جانمایی مصالح کارگاه

بهینه‌سازی جانمایی مصالح در سایت‌های ساختمانی یکی از موضوعات کلیدی مدیریت پروژه‌های ساختمانی است که به منظور کاهش هزینه‌ها، بهبود بهره‌وری و افزایش ایمنی صورت می‌گیرد. تحقیقات متعددی به کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی جانمایی مصالح پرداخته‌اند. برای مثال، استفاده از برنامه‌ریزی مختلط صحیح برای بهینه‌سازی جانمایی تاور کرین‌ها و توزیع مصالح در سایت‌های ساختمانی مرتفع، می‌تواند بهره‌وری را تا ۷ درصد افزایش دهد و هزینه‌های حمل‌ونقل را به شدت کاهش دهد [۱۶].

در مطالعه دیگری، یک مدل جدید برای حل مسئله جانمایی سایت ساختمانی (CSLP) ارائه شده است که از شبکه‌های مبتنی بر گرید و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای بهینه‌سازی استفاده می‌کند. در این مدل، فاصله مسیر واقعی کارگران بین تسهیلات مختلف محاسبه می‌شود تا بتوان جانمایی بهینه را به دست آورد. شکل ۱، نمایی از جانمایی سایت ساختمانی را نشان می‌دهد که در آن تسهیلات مختلف بر اساس شبکه‌بندی گرید قرار گرفته‌اند. این شکل نشان می‌دهد که چگونه جهت‌های مختلف تسهیلات (۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه) در یک شبکه دوبعدی تنظیم شده‌اند تا بهترین محل برای تسهیلات انتخاب شود. این جانمایی به‌طور خاص تأثیر قابل توجهی بر کاهش فاصله جابجایی و بهبود کارایی کلی سایت داشته است.



شکل ۱: مدل شبکه‌ای سایت و تأسیسات [۱۶]

در همین راستا، Kalmár و همکاران (۲۰۱۴) از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی توزیع مصالح مانند آجرها در سایت‌های ساختمانی استفاده کردند که نتایج نشان‌دهنده کاهش چشمگیر هزینه‌های حمل‌ونقل و بهبود کارایی بود. این مطالعه نشان داد که GA قادر است با ایجاد ساختارهای بهینه، موقعیت‌های کارگاهی را بهینه کند و از تداخل‌های زمانی و مکانی جلوگیری کند [۱۷].

در مطالعه دیگری، چارچوبی ارائه شده است که الگوریتم ژنتیک (GA) را با شبیه‌سازی ترکیب کرده تا متغیرهای جانمایی سایت (مانند اندازه، مکان و جهت تسهیلات موقتی) با متغیرهای برنامه‌ریزی ساخت‌وساز (مانند منابع و برنامه‌ریزی تحویل مصالح) به صورت همزمان بهینه‌سازی شوند. این چارچوب با توجه به متغیرهای متقابل جانمایی سایت و عملیات ساختمانی، یک مدل شبیه‌سازی جامع ایجاد می‌کند که به بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌های پروژه کمک می‌کند [۱۸].

## ۲-۲- مدیریت ناب و تکنیک 5S

مدیریت ناب (Lean Management) و اصول آن از دهه ۱۹۹۰ میلادی به طور گسترده در صنایع مختلف از جمله صنعت ساخت و ساز استفاده شده است. ایده اصلی مدیریت ناب از تولید ناب (Lean Production) که توسط شرکت تویوتا در دهه ۱۹۵۰ معرفی شد، سرچشمه گرفته است. تولید ناب به منظور حذف هدررفت‌ها و بهبود بهره‌وری، از طریق بهبود فرآیندهای تولیدی ایجاد شد [۱۹]. مدیریت ناب در صنعت ساخت و ساز به معنای طراحی سیستم‌های تولید به گونه‌ای است که اتلاف زمان، منابع و مواد به حداقل رسیده و حداکثر ارزش برای مشتریان ایجاد شود [۲۰]. اصول اصلی مدیریت ناب شامل مشخص کردن ارزش برای مشتری، ایجاد جریان کاری بدون اتلاف، حرکت بر اساس تقاضا (Pull)، و بهبود مستمر است [۱۹]. یکی از ابزارهای اصلی مدیریت ناب که به طور گسترده‌ای در ساخت و ساز استفاده می‌شود، تکنیک 5S است. این تکنیک پس از جنگ جهانی دوم در ژاپن مطرح گردید و شامل پنج اصل اساسی برای بهبود بهره‌وری و کاهش هدررفت‌ها است: ساماندهی<sup>۶</sup>، نظم‌دهی<sup>۷</sup>، پاکیزه‌سازی<sup>۸</sup>، استانداردسازی<sup>۹</sup> و حفظ و نگهداری<sup>۱۰</sup> [۲۱]. در جدول ۱، هدف مربوط به هر کدام از این اصول آورده شده است.

جدول ۱: اصول 5S [۲۱]، [۲۲]

| ردیف | عنوان                       | هدف                                                                                                                                             |
|------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | ساماندهی (Sort)             | تمامی مصالح و ابزار به صورت مرتب انبار شده‌اند و فقط در صورت استفاده در آینده نگهداری می‌شوند. به عبارتی ابزار و مصالح اضافه دور ریخته می‌شوند. |
| ۲    | نظم‌دهی (Set in Order)      | نظم به معنای نگهداری ابزار و مصالح به گونه‌ای که بیشترین بهره‌وری را داشته باشد و هر کسی بتواند به راحتی آنها را بیابد و استفاده کند.           |
| ۳    | پاکیزه‌سازی (Shine)         | به معنای جاروب زدن و پاکیزگی به طوری که یک فعالیت روزانه باشد نه وقتی که به آن نیاز باشد.                                                       |
| ۴    | استانداردسازی (Standardize) | تمام مراحل که در سه اصل اول طی شده است، باید به طور مداوم کنترل و بازبینی شود. این اصل متوجه سرپرستان، مدیران و مسئولان پروژه است.              |
| ۵    | حفظ و نگهداری (Sustain)     | آموزش صحیح رفتار درست و انجام درست وظایف مربوط به این اصل است. هدف اصلی و غایت این اصل، رفتار درست و اصولی اعضا در قبال وظایف محوله به آنهاست.  |

تحقیقاتی که در صنعت ساخت و ساز کانادا انجام شده نشان داده‌اند که با پیاده‌سازی اصول مدیریت ناب، بهره‌وری در عملیات‌های فاضلاب و نصب سازه‌ها به ترتیب ۴ تا ۳۵ درصد بهبود یافته است [۲۳]. در تحقیق دیگری که در ایالات متحده انجام شد، نشان داده شد که استفاده از سیستم 5S در پروژه‌های ساختمانی نه تنها بهره‌وری را بهبود داده، بلکه رضایت کارکنان و پیمانکاران را نیز افزایش داده است [۲۴].

## ۲-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) به عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند در بهینه‌سازی مسائل پیچیده شناخته می‌شود و در پروژه‌های عمرانی به ویژه در جانمایی مصالح کارگاه‌های ساختمانی کاربرد فراوانی دارد. این الگوریتم بر اساس اصول تکامل طبیعی و انتخاب ژنتیکی عمل می‌کند که این فرآیند شامل تکرار چند مرحله شامل ایجاد جمعیت، انتخاب، تولید مثل و جهش است [۲۵].

<sup>6</sup> Sort (Seiri)

<sup>7</sup> Set in order (Seiton)

<sup>8</sup> Shine (Seiso)

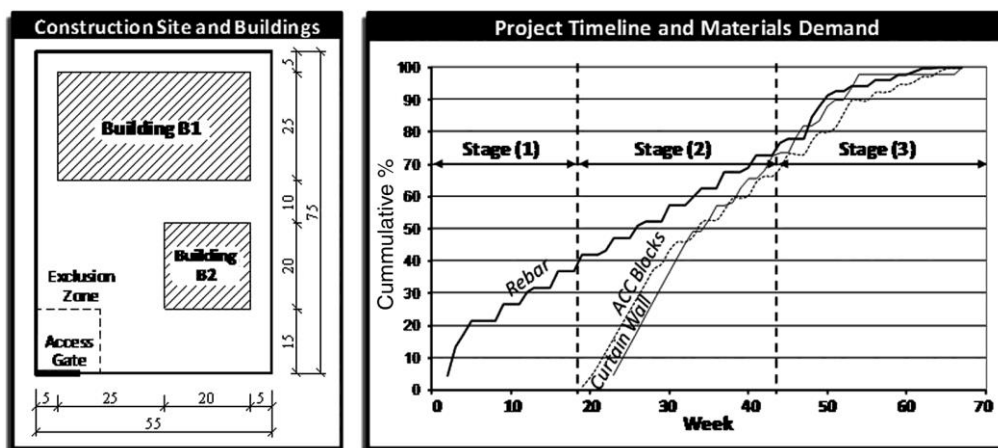
<sup>9</sup> Standardize (Seiketsu)

<sup>10</sup> Sustain (shitsuke)

استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی جانمایی مصالح در کارگاه‌ها، به دلیل توانایی در جستجوی فضای بزرگ و پیچیده‌ی تصمیم‌گیری و یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه، در سال‌های اخیر محبوبیت زیادی پیدا کرده است [۲۶]. مطالعات نشان داده‌اند که الگوریتم ژنتیک می‌تواند بهبود قابل توجهی در کارایی و زمان‌بندی پروژه‌ها ایجاد کند. به عنوان مثال، الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن محدودیت‌های فضایی سایت و بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل، می‌تواند هزینه‌های جابجایی مصالح را به حداقل برساند [۲۷].

یکی دیگر از مزایای الگوریتم ژنتیک در پروژه‌های عمرانی، انعطاف‌پذیری آن در تطبیق با شرایط مختلف سایت‌های ساختمانی است. در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شده است که الگوریتم ژنتیک می‌تواند با ترکیب با الگوریتم‌های دیگر مانند الگوریتم‌های فراابتکاری، به نتایج بهتری در بهینه‌سازی جانمایی تجهیزات، مصالح و زمان‌بندی پروژه‌ها دست یابد [۹، ۲۸]. به عنوان مثال، در یک مطالعه با استفاده از متغیرهای تصمیمی همچون زمان‌بندی سفارشات مصالح و جانمایی فضاهای ذخیره‌سازی، هزینه‌های لجستیک مربوط به کارگاه کاهش یافته است. تابع هدفی که برای الگوریتم ژنتیک در این پژوهش در نظر گرفته شده است از چهار بخش هزینه‌های سفارش، هزینه‌های مالی ناشی از گردش سرمایه، هزینه جانمایی و هزینه کمبود مصالح تشکیل شده است [۲۸].

برای بررسی کاربرد این الگوریتم، در یک مطالعه موردی که مربوط به یک سایت عمرانی برای ساخت دو ساختمان اداری می‌باشد، استفاده شده است. در شکل ۲، مصالح مورد نظر این پروژه، مراحل اجرای پروژه و جانمایی هندسی این ساختمان‌ها آورده شده است.

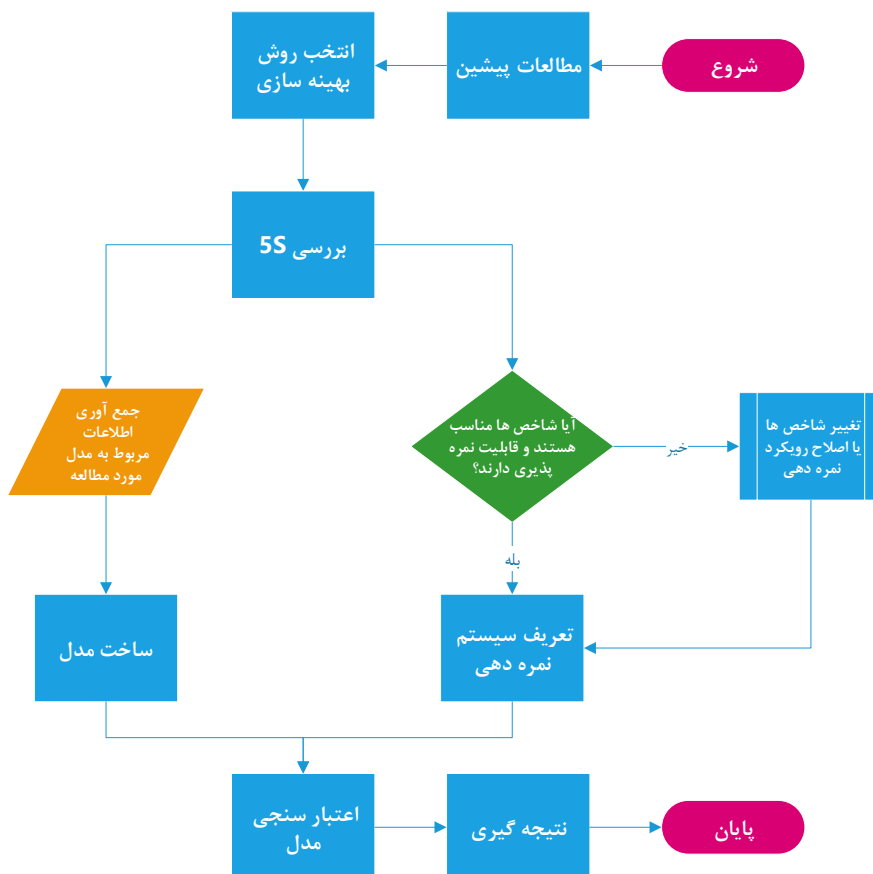


شکل ۲: هندسه سایت و مصالح نمونه مورد نیاز در طول پروژه [۲۸]

پس از به کار بردن مدل بهینه‌سازی، زمان‌بندی بهینه برای سفارش مصالح طوری برنامه‌ریزی شده است که تأخیرات به حداقل برسد و همچنین جانمایی مصالح در سایت به نحوی تنظیم شود که فضاهای بیشتری برای ذخیره‌سازی ایجاد شده و بهره‌وری بهبود یابد. نتایج مربوط به تأمین مصالح در جدولی شامل تاریخ سفارش، محل ذخیره‌سازی و هزینه‌های هر آیتم آورده شده است. همچنین شماتیک جانمایی مصالح و تجهیزات توسط الگوریتم رسم می‌شود [۲۸].

### ۳- روش تحقیق

چارچوبی که برای روش تحقیق در نظر گرفته شده است شامل ۵ بخش اصلی می‌باشد که در روندنمای زیر (شکل ۳) قرار دارند که در ادامه به شرح هر یک از این قسمت‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۳: روندنمای روش تحقیق

#### ۳-۱- مطالعات پیشین

در این بخش به بررسی ساختار یافته منابع موجود، از بنیادی ترین آن‌ها تا به روز ترینشان پرداخته شده است. سلسله مراتبی که برای این قسمت در نظر گرفته شده است به صورت موضوعی می‌باشد؛ بدین معنی که با توجه به حیطه موضوع مورد مطالعه، به جستجوی ادبیات پرداخته شده است. این موضوعات همانطور که در بخش مرور ادبیات نیز آورده شده است شامل بخش‌های بهینه سازی جانمایی مصالح در کارگاه، مدیریت ناب و الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

مطالعات پیشین چند هدف اصلی را دنبال می‌کنند. نخست، آن‌ها به ایجاد بستر علمی کمک می‌کنند، بدین صورت که نشان می‌دهند پژوهش جاری بر پایه نتایج و روش‌های قبلی بنا شده و از یافته‌های به‌روز بهره می‌برد. دومین هدف، شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی است که با مرور تحقیقات قبلی می‌توان کمبودهای موجود در دانش را شناسایی کرد و نیاز به پژوهش‌های بیشتر را برجسته نمود. همچنین، استفاده از مدل‌ها و روش‌های معتبر که در پژوهش‌های پیشین موفق بوده‌اند، امکان بهره‌گیری مجدد یا بهبود آن‌ها را در تحقیق جدید فراهم می‌سازد. در نهایت، مقایسه پژوهش جاری با مطالعات پیشین به تعیین تفاوت‌ها و نوآوری‌های این تحقیق نسبت به تحقیقات قبلی کمک می‌کند.

## ۲-۳- انتخاب روش بهینه‌سازی

در مطالعات صورت گرفته در حوزه جانمایی مصالح سایت، بیشتر از الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات<sup>۱۱</sup> و کلونی زنبور عسل<sup>۱۲</sup> استفاده شده است. هر یک از این الگوریتم‌ها در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی در پروژه‌های ساختمانی نقش مهمی داشته‌اند. با این حال، مطالعات نشان داده‌اند که الگوریتم ژنتیک به دلیل توانایی بالای آن در جستجوی فضای بزرگ‌تری از راه‌حل‌ها و جلوگیری از گیر افتادن در بهینه‌های محلی، نسبت به دیگر الگوریتم‌ها مانند الگوریتم ازدحام ذرات و کلونی زنبور عسل عملکرد بهتری دارد. الگوریتم ژنتیک با استفاده از مکانیسم‌های تکاملی خود، از جمله تقاطع و جهش، تنوع بیشتری در راه‌حل‌های به‌دست‌آمده ایجاد کرده و بهبود کارایی و دقت را در بهینه‌سازی جانمایی مصالح سایت تضمین می‌کند [۲۹].

یکی دیگر از دلایل انتخاب الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی جانمایی مصالح سایت، قابلیت بالای این الگوریتم در حل مسائل چندهدفه با قیود پیچیده است. این ویژگی باعث می‌شود که این الگوریتم در شرایطی که پروژه‌های ساختمانی با محدودیت‌های فضایی، زمانی و مالی روبه‌رو هستند، بتواند بهترین راه‌حل‌ها را ارائه دهد. برخلاف الگوریتم ازدحام ذرات که در برخی از مطالعات مشخص شده است که در بهینه‌های محلی گیر می‌افتد، الگوریتم ژنتیک به دلیل ساختار تصادفی و انعطاف‌پذیر خود، به بهینه‌سازی جامع‌تری دست پیدا می‌کند [۲۹]. این توانایی باعث شده است که الگوریتم ژنتیک در پروژه‌های پیچیده ساختمانی که نیاز به تصمیم‌گیری‌های چندگانه و بهینه‌سازی همزمان دارند، به عنوان یک روش مؤثر و کارآمد شناخته شود.

## ۳-۳- بررسی 5S

در این بخش، شاخص‌های مختلف تکنیک 5S بررسی و برخی از آن‌ها برای استفاده در مدل نهایی انتخاب می‌شوند. به عنوان مثال، ساماندهی (Sort) و نظم و ترتیب (Set in Order) به منظور کاهش تداخلات و بهبود دسترسی به مصالح مورد توجه قرار می‌گیرند، در حالی که شاخص پاکیزه‌سازی برای بهبود ایمنی سایت و جلوگیری از حوادث به کار می‌رود. این بخش باید توضیح دهد که چگونه هر یک از این شاخص‌ها در تصمیمات مربوط به جانمایی مصالح نقش ایفا می‌کنند و چگونه می‌توان از آن‌ها برای بهبود بهره‌وری سایت استفاده کرد. به‌ویژه، تاثیر تکنیک‌های ساماندهی و نظم و ترتیب در کاهش هزینه‌های جابجایی مصالح و بهبود زمان‌بندی پروژه‌ها در این قسمت بررسی می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که پیاده‌سازی موفق این شاخص‌ها در سایت‌های ساختمانی به کاهش تداخلات، بهبود بهره‌وری و افزایش ایمنی کمک می‌کند [۱۵].

دلایل حذف سایر شاخص‌ها به نیاز تحقیق برای تمرکز بر جنبه‌های عملی‌تر و قابل‌سنجش‌تر جانمایی مصالح مرتبط است. شاخص پاکیزه‌سازی بیشتر بر حفظ پاکیزگی محیط کار تمرکز دارد که در این تحقیق از اولویت کمتری برخوردار است، زیرا هدف اصلی بهینه‌سازی جانمایی و حمل‌ونقل مصالح است. شاخص‌های استانداردسازی حفظ و نگهداری نیز به ترتیب بر ایجاد استانداردهای ثابت و حفظ این استانداردها در طولانی‌مدت تأکید دارند. در حالی که این شاخص‌ها برای بهبود مدیریت کلی سایت اهمیت دارند، اما در این پژوهش به دلیل تمرکز بر چالش‌های فوری مرتبط با جانمایی و کاهش هزینه‌ها، این شاخص‌ها حذف شده‌اند تا بهینه‌سازی دقیق‌تری در ابعاد زمان‌بندی و مکان‌یابی مصالح به‌دست آید.

## ۱-۳-۳- ساماندهی (Sort)

ساماندهی اولین اصل از تکنیک 5S است و به معنای مرتب‌سازی یا تفکیک می‌باشد. این اصل بر حذف موارد غیرضروری و مرتب‌سازی ابزارها و مواد تمرکز دارد تا فقط اقلامی که به‌طور منظم استفاده می‌شوند در دسترس باشند. هدف Seiri کاهش بی‌نظمی و جلوگیری از استفاده از فضای اضافی در سایت‌های ساختمانی است. با اجرای این اصل، موارد غیرضروری از سایت

<sup>11</sup> PSO

<sup>12</sup> Bee colony

حذف شده و تنها مواد و تجهیزات ضروری در موقعیت‌های استراتژیک نگهداری می‌شوند. این اقدام باعث کاهش زمان جستجوی مصالح و ابزارها و در نتیجه افزایش بهره‌وری می‌گردد. همچنین، اجرای Seiri به بهبود ایمنی کارگاه کمک می‌کند، زیرا از تجمع اضافی مصالح و ابزارها که ممکن است باعث ایجاد موانع و خطرات شود، جلوگیری می‌کند [۲۲].

مدیریت طبقه‌بندی<sup>۱۳</sup> یکی از بهترین تکنیک‌ها برای ساماندهی است که به معنای دسته‌بندی و طبقه‌بندی مصالح و ابزارها بر اساس نیازهای مختلف پروژه است. این روش به مرتب‌سازی بهتر مواد و ابزار کمک می‌کند و باعث می‌شود که بتوانیم به‌طور موثری تصمیم بگیریم که کدام مواد باید نزدیک به محل کار ذخیره شوند و کدام موارد می‌توانند در مکان‌های دورتر قرار بگیرند. به‌عنوان مثال، مصالحی که بیشتر استفاده می‌شوند باید در مکان‌های نزدیک‌تر به محل کار قرار گیرند تا از اتلاف وقت و منابع جلوگیری شود [۳۰].

تکنیک "One-is-Best" نیز در بهینه‌سازی جانمایی مصالح کمک می‌کند. این اصل تأکید دارد که هر ماده یا تجهیز باید فقط در یک مکان مشخص قرار گیرد و نباید در چندین محل ذخیره شود. این اقدام باعث کاهش سردرگمی و افزایش سرعت دسترسی به مواد می‌شود. در پروژه‌های ساختمانی، اجرای این اصل به‌ویژه در زمانی که حجم زیادی از مواد و تجهیزات وجود دارد، می‌تواند کمک کند تا از تداخل و اشتباهات جلوگیری شده و کارایی بهبود یابد [۲۲، ۳۰].

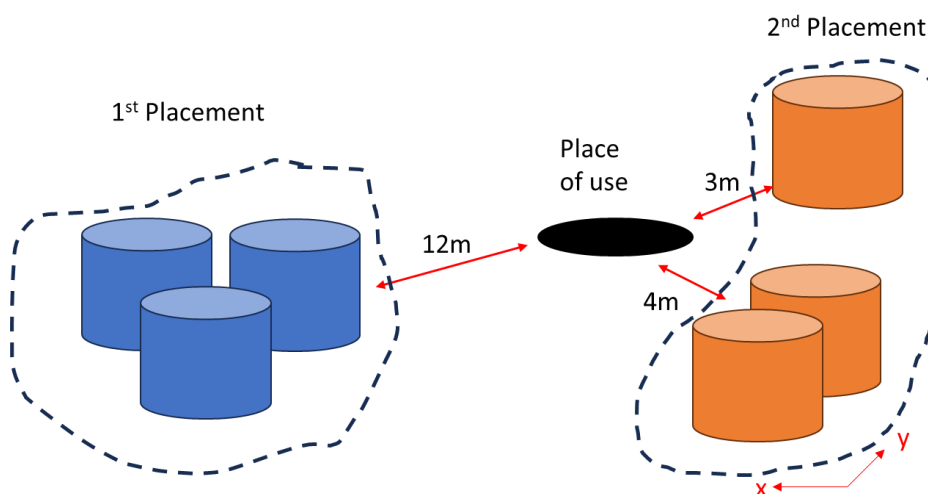
با توجه به تکنیک‌های بالا، رابطه‌ای که برای نمره‌دهی ساماندهی پیشنهاد می‌شود به صورت زیر می‌باشد.

$$S_1 = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} \quad (1)$$

که در آن  $n$  شماره محل نگهداری می‌باشد و  $d_i$  فاصله محل نگهداری نام تا محل استفاده که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$d_i = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (2)$$

که در آن  $\Delta x$  فاصله در راستای محور  $x$  محل نگه داری تا محل استفاده و  $\Delta y$  فاصله در راستای محور  $y$  محل نگه داری تا محل استفاده می‌باشد. مطابق این روابط، اگر محل دومی برای ذخیره‌سازی مصالح در نظر گرفته شود، امتیاز آن نصف می‌شود و همچنین هرچه فاصله محل ذخیره‌سازی مصالح تا محل استفاده افزایش پیدا کند، امتیاز آن جانمایی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال در شکل ۴، دو نوع جانمایی از یک مصالح نمایش داده شده است که جانمایی اول ۳ بلوک را در یک محل با فاصله بیشتر ذخیره کرده است و در جانمایی دوم ۳ بلوک در دو محل اما با فاصله نزدیک‌تر به محل مورد استفاده مصالح قرار گرفته‌اند. پس از محاسبه، امتیاز جانمایی اول و دوم به ترتیب برابر ۰.۰۸ و ۰.۲۹ بدست آمد و جانمایی دوم بهینه‌تر می‌باشد.



شکل ۴: نمونه دو نوع جانمایی برای محاسبه امتیاز

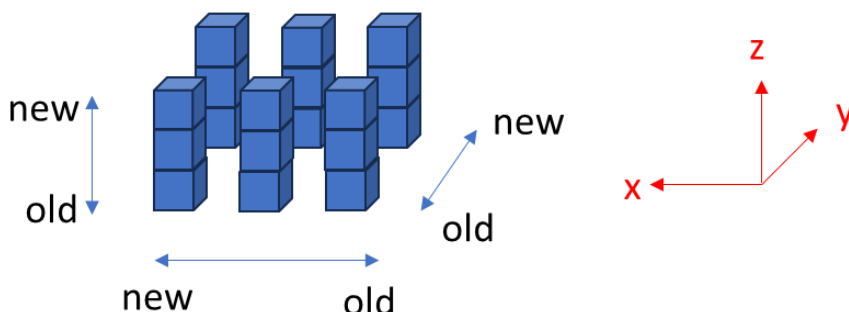
<sup>13</sup> Stratification Management

### ۲-۳-۳- نظم‌دهی (Set in Order)

در تکنیک 5S، اصل نظم‌دهی به معنای آرایش محیط کار به شکلی است که دسترسی سریع به وسایل و مواد امکان‌پذیر باشد و در عین حال چگونه ابزار یا مصالح اضافی به جای خود برگردند [۳۱]. این اصل، تأکید دارد که هر وسیله یا مصالح باید در مکانی مشخص، به‌طور مرتب و قابل دسترسی قرار داده شود. هدف از شاخص نظم و ترتیب این است که کارگران و مدیران سایت بتوانند بدون نیاز به جستجوی زیاد، مواد مورد نیاز را پیدا کرده و استفاده کنند [۲۲].

یکی از روش‌های کلیدی که تحت این شاخص به کار گرفته می‌شود، استفاده از اصل FIFO<sup>۱۴</sup> (اولین ورودی، اولین خروجی) است. FIFO در پروژه‌های ساختمانی به معنای این است که مصالحی که ابتدا وارد سایت شده‌اند، باید قبل از سایر مصالح استفاده شوند. این روش کمک می‌کند تا از نگهداری طولانی مدت مصالح و کاهش کیفیت آن‌ها جلوگیری شود. همچنین، با استفاده از FIFO، می‌توان از تداخل‌های زمانی جلوگیری کرد و فرآیند جابه‌جایی و استفاده از مصالح را بهینه کرد، که در نهایت باعث بهبود بهره‌وری و کاهش ضایعات می‌شود. به عنوان مثال، در پروژه‌هایی که مصالح مانند سیمان یا میلگرد به مدت طولانی نگهداری می‌شوند، استفاده از FIFO می‌تواند از فساد یا کاهش کیفیت مصالح جلوگیری کرده و هزینه‌های دوباره‌کاری را کاهش دهد [۲۲].

برای اعمال این تکنیک، مطابق شکل ۴، فرض می‌گردد که مصالح در مبدأ مختصات دکارتی انبار می‌گردند و سپس مصالح جدید در راستای محور x چیده شده تا به انتها برسند و سپس در محور z دومین ردیف از مصالح قرار می‌گیرند تا به ارتفاع مجاز برسند و پس از آن، دومین چیدمان در راستای محور y صورت می‌گیرد. بدین ترتیب مصالحی که مختصات آن‌ها در دستگاه دکارتی کوچکتر باشند، قدیمی‌ترند و در هر راستا با افزایش مقدار مختصات، مصالح جدیدتری انبار شده‌اند. این مطلب در پیکان‌های جهت‌دار شکل ۴ با کلمات old و new نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴: فرموله کردن اصل FIFO

بدین ترتیب سیستم نمره‌دهی که باید تعریف شود باید طوری باشد که به مصالح قدیمی‌تر امتیاز بیشتری بدهد تا در مدل ساخته شده، آن بلوکی انتخاب گردد که قدیمی‌تر است. رابطه‌ای که برای امتیازدهی پیشنهاد می‌شود به صورت زیر می‌باشد.

$$S_2 = \frac{1}{ax+by+cz} \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $S_2$  امتیاز دریافتی اصل نظم و ترتیب و  $x$  و  $y$  و  $z$  مختصات مرکز بلوک‌ها در دستگاه دکارتی می‌باشند و  $a$ ،  $b$  و  $c$  ضرایب اهمیت هر محور متناظر می‌باشد بدین معنی که هر محوری که زودتر چیده شود، ضریب ۳، محور بعد ضریب ۲ و محور آخر ضریب ۱ را می‌گیرد. به عنوان مثال اگر مطابق فرض بالا مصالح چیده شوند، محور x ضریب ۳، محور z ضریب ۲ و در نهایت محور y ضریب ۱ را می‌گیرند. لازم به ذکر است که در مدل ارائه شده، این ضرایب توسط کاربر تعیین می‌گردد.

<sup>14</sup> First In, First Out

#### ۴-۳- ساخت و اعتبارسنجی مدل

مطالعه در حال حاضر در فاز طراحی الگوریتم قرار دارد و هنوز به مرحله پیاده‌سازی عملی نرسیده است. با این حال، هدف نهایی از این تحقیق، پیاده‌سازی مدل بهینه‌سازی جانمایی مصالح بر اساس الگوریتم ژنتیک (GA) در یک سایت عمرانی در شهر تهران است. در این مرحله از تحقیق، مدل پیشنهادی تنها برای چند نوع مصالح خاص از جمله بلوک‌های ساختمانی، کیسه‌های گچ و میلگردها آزمایش خواهد شد. این مصالح به دلیل نیاز مکرر و تأثیر مستقیم بر زمان‌بندی و هزینه پروژه‌های ساختمانی انتخاب شده‌اند.

در فرآیند پیاده‌سازی، مدل به‌گونه‌ای طراحی شده که جانمایی بهینه مصالح را با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دهد و سپس تأثیرات این جانمایی به‌طور دقیق در سایت بررسی شود. برای ساخت مدل از نرم‌افزار MATLAB استفاده می‌شود که یک نرم‌افزار شاخص برای بکارگیری مدل‌های بهینه‌سازی می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد مدل، معیارهایی مانند کاهش زمان جابجایی مصالح، بهبود بهره‌وری نیروی کار و کاهش هزینه‌های انبارش مصالح در سایت مورد سنجش قرار می‌گیرد. این ارزیابی‌ها به مدیران پروژه کمک خواهد کرد تا تأثیرات عملی استفاده از مدل بهینه‌سازی را در عملیات‌های روزانه سایت مشاهده کنند و در تصمیم‌گیری‌های آینده از آن بهره ببرند.

علاوه بر پیاده‌سازی عملی مدل در سایت، برای اعتبارسنجی نهایی از تکنولوژی واقعیت مجازی (VR) استفاده خواهد شد. در این فرآیند، متخصصان ساخت‌وساز قادر خواهند بود تغییرات پیشنهادی الگوریتم را در محیط مجازی مشاهده کرده و با تغییرات ایجادشده در جانمایی مصالح آشنا شوند. استفاده از VR به متخصصان این امکان را می‌دهد که نتایج مدل را به‌صورت بصری و در زمان واقعی تجربه کنند و بر اساس تجربه عملی و مشاهده تأثیرات، بازخوردهای خود را ارائه دهند. این اعتبارسنجی بصری با استفاده از VR به ارزیابی دقیق‌تر و جامع‌تر مدل کمک می‌کند و نظرات کارشناسان را در بهبود مدل نهایی وارد می‌کند. با ترکیب نظرات متخصصان در دنیای مجازی و نتایج پیاده‌سازی در سایت واقعی، مدل نهایی به‌صورت کاملاً عملیاتی و کاربردی توسعه خواهد یافت و می‌توان از آن در سایر پروژه‌های عمرانی نیز استفاده کرد.

#### ۷- نتایج منتظره

این پژوهش به بررسی و ارائه یک مدل بهینه‌سازی برای جانمایی مصالح ساختمانی در سایت‌های عمرانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) و تکنیک‌های مدیریت ناب (5S) پرداخته است. هدف اصلی این تحقیق، بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها، و تسریع زمان‌بندی پروژه‌های ساختمانی از طریق بهینه‌سازی محل ذخیره‌سازی و جابجایی مصالح بود. در این راستا، مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌طور خاص برای مصالحی مانند بلوک‌ها، کیسه‌های گچ و میلگردها طراحی و توسعه یافته است. این مصالح به دلیل نیاز مکرر و اثرات مستقیم بر هزینه و زمان پروژه، انتخاب شدند. در این پژوهش، تأثیر به‌کارگیری اصول 5S در جانمایی مصالح، به ویژه شاخص‌های ساماندهی و نظم‌دهی و ترکیب این اصول با روش‌های بهینه‌سازی بررسی شد. نتایج مورد انتظار از پیاده‌سازی این مدل در سایت‌های عمرانی، کاهش چشمگیر زمان‌های غیرضروری جابجایی مصالح و بهبود بهره‌وری نیروی کار است. همچنین، این مدل به کاهش هزینه‌های نگهداری و انبارش مصالح در سایت کمک خواهد کرد. انتظار می‌رود که استفاده از این مدل منجر به بهبود مدیریت مواد و تجهیزات شود و فرآیندهای اجرایی در سایت به شکلی بهینه‌تر و سازمان‌دهی‌شده‌تر انجام شوند. در نهایت، این بهبودها تأثیر مستقیمی بر کاهش هزینه‌ها و تسریع در اجرای پروژه خواهد داشت، که از مهم‌ترین اهداف مدیریت ساخت محسوب می‌شود.

علاوه بر این، یکی از نوآوری‌های اصلی این پژوهش، استفاده از تکنولوژی واقعیت مجازی (VR) برای اعتبارسنجی مدل است. متخصصان و مدیران پروژه‌ها قادر خواهند بود تغییرات حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی را در محیط مجازی تجربه کنند و بر اساس مشاهده‌های بصری خود، نظرات و بازخوردهای لازم را ارائه دهند. استفاده از VR به بهبود کیفیت و دقت مدل نهایی کمک می‌کند و این امکان را فراهم می‌سازد که تغییرات اعمال‌شده به‌صورت بصری و قابل‌درک مشاهده شوند. این رویکرد نوآورانه به

ادغام تجربه عملی و شبیه‌سازی تکنولوژیکی کمک می‌کند و از این طریق، بهینه‌سازی و مدیریت سایت‌های عمرانی را به سطح جدیدی از کارایی و دقت می‌رساند.

#### ۷-۱- پیشنهادات برای مطالعات آتی

این تحقیق زمینه‌های بسیاری را برای توسعه و بهبود در آینده باز می‌گذارد. نخستین مورد، امکان تمرکز بر دیگر اصول تکنیک 5S است. در این پژوهش، اصول ساماندهی و نظم‌دهی به طور مفصل بررسی و پیاده‌سازی شدند، اما می‌توان در تحقیقات آینده به شاخص‌های دیگر مانند پاکیزگی، استانداردسازی و پایداری پرداخت. این اصول می‌توانند به بهبود ایمنی، استانداردسازی فرآیندها و تضمین پایداری و استمرار در عملیات کمک کنند و استفاده جامع‌تری از تکنیک 5S در مدیریت سایت‌های عمرانی فراهم کنند.

همچنین، می‌توان در تحقیقات آینده مدل پیشنهادی را برای مصالح بیشتر و متنوع‌تری به کار برد. در این پژوهش، مدل فقط برای بلوک‌ها، کیسه‌های گچ و میلگردها آزمایش شد، اما مصالح دیگری نظیر سیمان، آجر، شن و ماسه نیز می‌توانند در برنامه‌های آینده مورد بررسی قرار گیرند. علاوه بر این، امکان جانمایی و بهینه‌سازی تجهیزات سیار در سایت نیز باید مورد توجه قرار گیرد. تجهیزات سیاری همچون جرثقیل‌ها و ماشین‌آلات سنگین به دلیل نیاز مکرر به جابجایی و هماهنگی با سایر عملیات‌های سایت، به بهینه‌سازی نیاز دارند. بهینه‌سازی جانمایی این تجهیزات با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تکنیک‌های مدیریت ناب می‌تواند تأثیر مثبتی بر کارایی کلی سایت داشته باشد.

از دیگر پیشنهادات برای تحقیقات آتی، پیاده‌سازی مدل در سایت‌های غیرساختمانی مانند فرودگاه‌ها، معادن و کارخانه‌ها است. سایت‌هایی با ماهیت و نیازهای لجستیکی متفاوت می‌توانند از این مدل بهینه‌سازی برای کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری استفاده کنند. هرچند مدل پیشنهادی برای پروژه‌های عمرانی طراحی شده است، اما اصول و ساختار آن قابلیت تطبیق با شرایط مختلف را دارد و می‌تواند در صنایع دیگر نیز به کار گرفته شود.

در نهایت، یکی دیگر از مسیرهای پیشنهادی برای تحقیقات آینده، توسعه یک نرم‌افزار پیشرفته برای مدیریت سایت‌های ساختمانی است. این نرم‌افزار می‌تواند به مدیران پروژه‌ها کمک کند تا با توجه به شرایط خاص هر پروژه، از الگوریتم بهینه‌سازی استفاده کنند و بهترین تصمیمات را برای جانمایی و مدیریت مصالح بگیرند. این نرم‌افزار می‌تواند شامل ابزارهای شبیه‌سازی، محاسبات خودکار، و تجزیه و تحلیل داده‌ها باشد که به مدیران اجازه می‌دهد بدون نیاز به محاسبات دستی، از مدل بهینه‌سازی در پروژه‌های خود بهره ببرند. چنین نرم‌افزاری می‌تواند به عنوان یک ابزار کاربردی و قدرتمند در صنعت ساخت‌وساز به بازار ارائه شود و مدیریت مصالح را به شکلی بهینه و نوآورانه بهبود بخشد.

## مراجع

- [1] R. D. Chavada, M. Kassem, N. N. Dawood, and K. K. Naji, "A framework for construction workspace management: a serious game engine approach," in *Computing in Civil Engineering (2012)*, 2012, pp. 57-64.
- [2] K.-Y. He and I.-C. Wu, "Dynamic simulation and visualization for site layout planning," in *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2012, vol. 29: IAARC Publications, p. 1.
- [3] A. M. A. a. G. thair Youssef, "Integration of virtual prototyping and building information modeling to optimize the construction site planning and management," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 12, p. 19, 2019.
- [4] H. Nasir, C. T. Haas, D. A. Young, S. N. Razavi, C. Caldas, and P. Goodrum, "An implementation model for automated construction materials tracking and locating," *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 37, no. 4, pp. 588-599, 2010.
- [5] L. Mahdjoubi and J. Yang, "An intelligent materials routing system on complex construction sites," *Logistics Information Management*, vol. 14, no. 5/6, pp. 337-344, 2001.
- [6] D. M. Spatz, "Team-building in construction," *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, vol. 5, no. 3, pp. 93-105, 2000.
- [7] K. Vedat, "FlexDelivery–Integrated Logistics in the Offshore Sector," in *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*, 2023: SPE, p. D031S101R002.
- [8] M. S. Pejić, M. Terzić, D. Stanojević, I. Peško, and V. Mučenski, "Improving construction projects and reducing risk by using artificial intelligence," *Social informatics journal*, vol. 2, no. 1, pp. 33-40, 2023.
- [9] L. Shen and G. Zhang, "Optimization design of civil engineering construction schedule based on genetic algorithm," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1852, no. 3: IOP Publishing, p. 032055.
- [10] G. Yao, R. Li, and Y. Yang, "An improved multi-objective optimization and decision-making method on construction sites layout of prefabricated buildings," *Sustainability*, vol. 15, no. 7, p. 6279, 2023.
- [11] P. V. H. Son, "Optimization of construction site layout using dynamic hybrid bacterial and ant colony algorithm," *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE)-HUCE*, vol. 15, no. 3, pp. 44-54, 2021.
- [12] O. Maatar, R. Trost, I. De Bruyne, H. Van Dromme, and F. Berroir, "Smart logistics for urban construction sites (CCC)," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1078, no. 1: IOP Publishing, p. 012046.
- [13] P. C. Nolz, "Optimizing construction schedules and material deliveries in city logistics: A case study from the building industry," *Flexible Services and Manufacturing Journal*, vol. 33, no. 3, pp. 846-878, 2021.
- [14] K. Jaafar, R. Elbarkouky, and J. Kennedy, "Construction site layout optimization model considering cost and safety in a dynamic environment," *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 297-312, 2021.
- [15] C. Ruiz, T. Castillo, and M. Paredes, "Effects of implementation of 5S in heavy equipment maintenance workshops," in *IGLC 28-28th Annu. Conf. Int. Gr. Lean Constr*, 2020, pp. 577-588.
- [16] C. Huang, C. K. Wong, and C. M. Tam, "Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming," *Automation in Construction*, vol. 20, no. 5, pp. 571-580, 2011.
- [17] B. Kalmár, A. Kalmár, K. Balázs, and L. T. Kóczy, "Construction site layout and building material distribution planning using hybrid algorithms," *Issues and Challenges of Intelligent Systems and Computational Intelligence*, pp. 75-88, 2014.
- [18] S. RazaviAlavi and S. AbouRizk, "Site layout and construction plan optimization using an integrated genetic algorithm simulation framework," *Journal of computing in civil engineering*, vol. 31, no. 4, p. 04017011, 2017.
- [19] G. A. Howell, "What is lean construction-1999," in *Proceedings IGLC*, 1999, vol. 7: Citeseer, p. 1.
- [20] L. Koskela, *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford university Stanford, 1992.
- [21] O. Salem, J. Solomon, A. Genaidy, and I. Minkarah, "Lean construction: From theory to implementation," *Journal of management in engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 168-175, 2006.
- [22] L. S. Pheng and C. Y. Pong, "Integrating ISO 9001 and OHSAS 18001 for construction," *Journal of construction engineering and management*, vol. 129, no. 3, pp. 338-347, 2003.
- [23] A. Agbulos, Y. Mohamed, M. Al-Hussein, S. AbouRizk, and J. Roesch, "Application of lean concepts and simulation analysis to improve efficiency of drainage operations maintenance crews," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 132, no. 3, pp. 291-299, 2006.
- [24] I. Nahmens and M. A. Mullens, "Lean homebuilding: Lessons learned from a precast concrete panelizer," *Journal of Architectural Engineering*, vol. 17, no. 4, pp. 155-161, 2011.
- [25] J. H. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. MIT press, 1992.
- [26] D. E. Goldberg, "Cenetic algorithms in search," *Optimization, Machine Learning*, 1989.

- [27] P. M. Farmakis, "Genetic algorithm optimization for dynamic construction site layout planning," *Organization, technology & management in construction: an international journal*, vol. 10, no. 1, pp. 1655-1664, 2018.
- [28] H. Said and K. El-Rayes, "Optimizing material procurement and storage on construction sites," *Journal of construction engineering and management*, vol. 137, no. 6, pp. 421-431, 2011.
- [29] M. Xu, Z. Mei, S. Luo, and Y. Tan, "Optimization algorithms for construction site layout planning: a systematic literature review," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 8, pp. 1913-1938, 2020.
- [30] B. Marnova and T. M. Tung, "Analysis of the layout of the Dangerous and Toxic Goods (B3) warehouse using the 5S method (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, and Shitsuke) on PT Mitra Agung Sejati," *Sinergi International Journal of Logistics*, vol. 1, no. 1, pp. 42-62, 2023.
- [31] S. K. Ho, "TQM: integrated approach: implementing total quality through Japanese 5-S and ISO 9000," (No Title), 1995.