

توسعه مدل بهینه‌سازی چیدمان مصالح کارگاهی پروژه‌های عمرانی با ادغام روش مدیریت ساخت ناب و هوش مصنوعی

سپهر حسنی درخشنده^۱، سید وحید فقیهی^۲

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

۲- استادیار، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

s.derakhshandeh@ut.ac.ir

چکیده

در پروژه‌های عمرانی، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها مدیریت بهینه فضای کارگاه و جانمایی مصالح است. اهمیت این مسأله، با توجه به تغییرات پویا در محیط‌های کارگاهی و محدودیت‌های منابع، مانند فضا و مصالح، بیشتر نمایان می‌شود. در روش‌های سنتی، این فرآیند به صورت دستی و تجربی انجام می‌شود که می‌تواند به کاهش کارایی، افزایش هزینه‌ها و طولانی‌تر شدن زمان پروژه منجر شود. با توجه به این مسائل، این مقاله به بررسی ادغام اصول مدیریت ساخت ناب - روش 5S^۱ - با تکنیک‌های هوش مصنوعی، به ویژه الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، برای بهینه‌سازی جانمایی مصالح در کارگاه‌های ساختمانی می‌پردازد. در این تحقیق، ابتدا مدل‌سازی فضای کارگاهی با استفاده از فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM^۲) انجام شده و سپس با به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی، موقعیت بهینه برای چیدمان مصالح به دست می‌آید. هدف این تحقیق، افزایش کارایی پروژه‌ها از طریق کاهش هزینه‌های انبارداری مصالح، بهبود زمان‌بندی پروژه و کاهش مخاطرات و تداخلات غیرضروری در فضای کارگاه است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این رویکرد می‌تواند تأثیر چشمگیری در بهبود مدیریت فضای کارگاهی داشته باشد و به کاهش زمان اجرا و هزینه‌های مرتبط با مصالح کمک می‌کند. این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که ادغام روش‌های ناب با هوش مصنوعی به افزایش بهره‌وری نیروی کار و کاهش حوادث ناشی از چیدمان نادرست مصالح کمک می‌کند.

کلمات کلیدی: ساخت ناب، هوش مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی فضای کارگاه، 5S

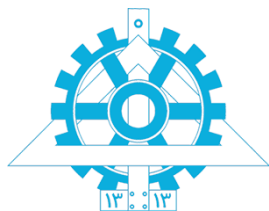
۱. مقدمه

در پروژه‌های عمرانی، جانمایی مصالح در کارگاه‌های ساختمانی یکی از چالش‌های اصلی مدیریت پروژه‌ها به شمار می‌رود. کارگاه‌های عمرانی اغلب با محدودیت فضا مواجه هستند و نیاز به استفاده بهینه از این فضا برای ذخیره‌سازی مصالح، حمل‌ونقل و انجام فعالیت‌های ساخت و ساز وجود دارد. از طرفی، مدیریت خوب مصالح در پروژه‌های ساختمانی بزرگ برای به حداکثر رساندن بهره‌وری و عملکرد پروژه حیاتی است. هنگامی که مواد کلیدی به طور موقت گم می‌شوند ممکن است تمام نیروی کار بیکار بمانند و پروژه به تأخیر بیفتد [۱].

هدف اصلی این پروژه ایجاد یک برنامه کاربردی ساده و شهودی است که امکان مقایسه انواع مختلف سناریوهای برنامه ریزی سایت را فراهم می‌کند. شاخصی که برای سنجش پاسخ‌ها مورد استفاده می‌گیرد؛ 5S می‌باشد که از رویکرد ساخت و ساز ناب می‌آید. این شاخص، بهینه بودن فضا را با پنج تکنیک ساماندهی (Sort)، نظم‌دهی (Set in Order)، پاکیزگی (Shine)، استانداردسازی (Standardize) و حفظ و نگهداری (Sustain) کنترل می‌کند. یکی دیگر از اهداف این پروژه، تعریف یک سیستم نمره دهی به خصوص برای شاخص مذکور و کمی کردن آن برای استفاده در بهینه‌سازی‌های عددی است. به همین منظور، از این پنج تکنیک، برخی از

^۱ یکی از تکنیک‌های مدیریت ساخت ناب با هدف منضبط‌تر کردن محیط کارگاه

^۲ Building Information Modeling

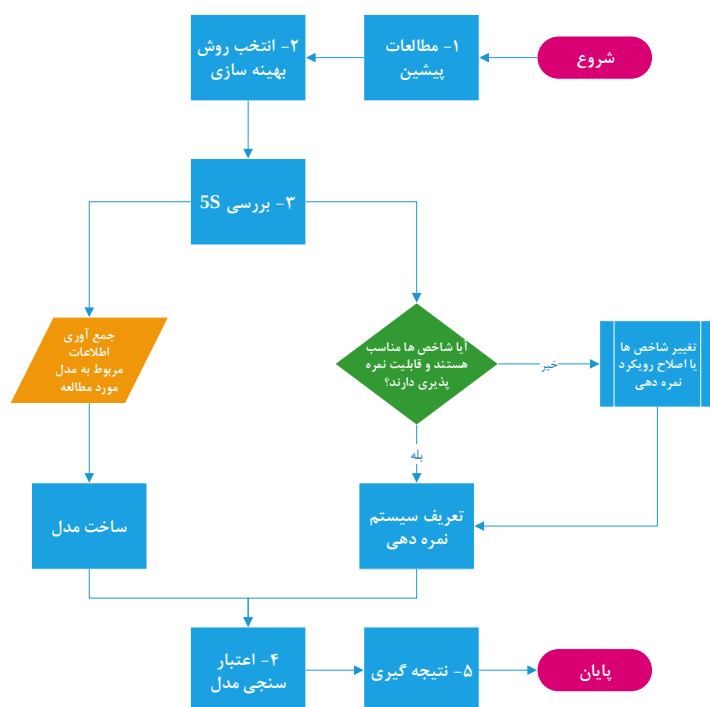


آنهایی که قابلیت نمره‌دهی دارند انتخاب می‌گردند. هدف بعدی نمایش پاسخ بدست آمده از الگوریتم با شبیه سازی آن در فضای واقعیت مجازی است تا پاسخ بهینه به صورت ملموسی درک شود.

۲. روش تحقیق

چارچوبی که برای روش تحقیق در نظر گرفته شده است شامل ۵ بخش اصلی می‌باشد که در روندنمای زیر قرار دارند که در بخش بحث و نتایج به شرح هر یک از این قسمت‌ها پرداخته می‌شود.

شکل ۱- روندنمای روش تحقیق



۳. بحث و نتایج

۱.۳. مطالعات پیشین

در این بخش، به بررسی ساختار یافته منابع موجود، از بنیادی‌ترین آن‌ها تا به‌روزترینشان 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.

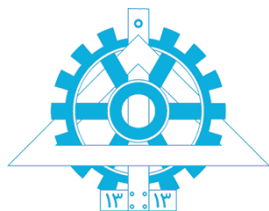
۲.۳. انتخاب روش بهینه‌سازی

یکی 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.

۳.۳. بررسی 5S

در این بخش، شاخص‌های مختلف تکنیک 5S بررسی و برخی از آن‌ها برای استفاده در مدل نهایی انتخاب می‌شوند. شاخص‌هایی که برگزیده شده‌اند شامل سامان‌دهی (Sort) و نظم و ترتیب (Set in Order) می‌باشند زیرا مطالعات نشان داده‌اند که پیاده‌سازی موفق این شاخص‌ها در سایت‌های ساختمانی به کاهش تداخلات، بهبود بهره‌وری و افزایش ایمنی کمک می‌کند [۲].

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. مدیریت طبقه‌بندی 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. 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 [۳،۴]. 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 i ام تا محل استفاده که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

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

که در آن Δx فاصله در راستای محور x محل نگه داری تا محل استفاده و Δy 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.

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 [۵]. 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 [۳]. یکی از روش‌های کلیدی که تحت این شاخص به کار گرفته می‌شود، استفاده از اصل FIFO (اولین ورودی، اولین خروجی - First In, First Out) است. FIFO در پروژه‌های ساختمانی به معنای این است که مصالحی که ابتدا وارد سایت شده‌اند، باید قبل از سایر مصالح استفاده شوند [۳]. بدین ترتیب سیستم نمره‌دهی که باید تعریف شود باید طوری باشد که به مصالح قدیمی‌تر امتیاز بیشتری بدهد تا در مدل ساخته شده، آن بلوک انتخاب گردد که قدیمی‌تر است. رابطه‌ای که برای امتیازدهی پیشنهاد می‌شود به صورت زیر می‌باشد.

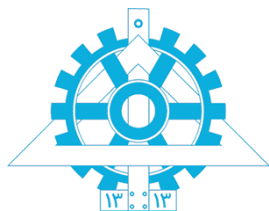
$$S_2 = \frac{I}{ax+by+cz} \quad (3)$$

در رابطه ۳، S_2 امتیاز دریافتی اصل نظم و ترتیب و x ، 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.

۴.۳. ساخت و اعتبارسنجی مدل

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 الگوریتم، 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.

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.



۳. کاربرد در صنعت

می‌توان گفت که مهمترین مزیتی که این پژوهش برای صنعت به ارمغان می‌آورد، پاسخ به این نیاز و چالش که "چگونه با کمترین هزینه، بهینه‌ترین جانمایی و انبارداری مصالح را در محوطه کارگاهی پیدا کرد؟" می‌باشد که برای اغلب پروژه‌های عمرانی، علی‌الخصوص آنهایی که کارگاه فشرده و پیچیده‌ای دارند؛ معضلی بزرگ است. در نتیجه این تحقیق با پیاده‌سازی مدل بهینه‌سازی جانمایی مصالح در پروژه‌های عمرانی، که می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و تسریع زمان‌بندی پروژه‌های ساختمانی داشته باشد، این نیاز صنعت را پاسخ می‌دهد. در فرآیند پیاده‌سازی، امکان ارزیابی دقیق تأثیرات این مدل بر عملیات روزانه سایت‌ها فراهم می‌شود. همچنین این فرآیند نه تنها به بهبود کارایی نیروهای کار و کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به بهبود مدیریت منابع و تجهیزات نیز منجر شود.

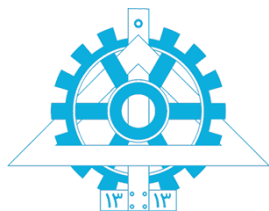
۴. نتیجه‌گیری

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. 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.

۵. مراجع

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] S. K. Ho, "TQM: integrated approach: implementing total quality through Japanese 5-S and ISO 9000," (*No Title*), 1995.



فرم تأیید چکیده مبسوط توسط استاد راهنما

دومین همایش صنعت و مهندسی عمران دانشگاه تهران

بدین وسیله اعلام می‌دارد چکیده مبسوط با عنوان:

توسعه مدل بهینه سازی چیدمان مصالح کارگاهی پروژه های عمرانی با ادغام روش مدیریت ساخت ناب و
هوش مصنوعی

بر اساس دستاورد پژوهشی آقای **سپهر حسنی درخشنده** تحت راهنمایی استاد راهنما **دکتر سید وحید فقیهی** جهت
ارائه در همایش مورد تأیید است.

این پژوهش

☐ در جلسه دفاع کارشناسی ارشد/ دکتری ارائه شده است. (تاریخ دفاع: / /)

☒ در آینده در جلسه دفاع کارشناسی ارشد ارائه خواهد شد. (تاریخ تقریبی دفاع: ۱۴۰۴ / ۰۶ / ۳۱)

با احترام،

سپهر حسنی درخشنده، سید وحید فقیهی

۱۴۰۳ / ۱۱ / ۰۷