ارائه یک مدل ریاضی عدد صحیح خطی برای مکان یابی بهینه بالابر در پروژه های ساختمانی بلند مرتبه

محدثه جواهری، مجتبی مغربی، رضا قنبری، مهدی احمدنیا

محدثه جواهری، دانشگاه فردوسی مشهد؛ mohadesejavaheri۶@gmail.com
مجتبی مغربی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ mojtabamaghrebi@um.ac.ir
رضا قنبری، دانشگاه فردوسی مشهد؛ rghanbari@um.ac.ir
مهدی احمدنیا، دانشگاه فردوسی مشهد؛ ahmadnia.mahdi۷۴@gmail.com
* نویسنده مسئول: محدثه جواهری

چکیده

با افزایش تعداد پروژه‌های ساختمانی مرتفع در دهه‌های گذشته استفاده از بالابرها برای تحویل به موقع مصالح و نیروی انسانی اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است. بالابرها مصالح و نیروی انسانی مورد نیاز را به صورت عمودی بین طبقات مختلف یک ساختمان جابجا می‌کنند. تحویل به موقع مصالح و نیروی انسانی توسط بالابرها در مدتزمان ساخت و ساز تاثیرگذار است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه کاهش زمان صعود و نزول بار، طراحی بهینه سیستم‌های بالابری، بهینه‌سازی مسیر حرکت بالابر، و بهینه‌سازی موقعیت و تعداد آسانسورها در پروژه‌های مسکونی انجام شده است. اما در پژوهش‌های قبلی به بهینه‌سازی محل نصب بالابرها کمتر توجه شده است. این درحالی است که مکان نصب بالابر می‌تواند در مدت‌زمان حمل مصالح، ظرفیت بالابر و همچنین هزینه‌های مرتبط با نصب بالابر تاثیرگذار باشد. از این رو این مقاله یک مدل خطی عدد صحیح برای تعیین بهینه محل نصب بالابر پیشنهاد می‌کند. مدل پیشنهادی تلاش می‌کند هزینه‌های عملیات بالابر و همچنین هزینه نصب بالابر را از طریق انتخاب بهینه مکان نصب بالابر کاهش دهد. مدل توسعه داده شده در یک پروژه مسکونی اقامتی ۱۵ طبقه مورد استفاده قرار گرفته و نتایج نشان‌دهنده کاهش خطاهای انسانی در روند تصمیم‌گیری و هم‌چنین کاهش هزینه‌های نصب و نگهداری بالابر در مقایسه با روش‌های مرسوم در تصمیم‌گیری است.

کلمات کلیدی: بالابر ساختمانی، ساخت و ساز بلندمرتبه، بهینه سازی، برنامه ریزی خطی عددصحیح، مکانیابی.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های صورت گرفته در فناوری مواد و مهندسی سازه و نیاز به بهره‌گیری بهینه از فضا به دلایلی همچون افزایش قیمت زمین و مشکلات بیشتر شهرنشینی، سبب افزایش بلندمرتبه‌سازی شده‌است [۱]. با افزایش ارتفاع ساختمان ها نیاز به تجهیزاتی از قبیل بالابر و جرثقیل بیش از پیش احساس می شود. از این تجهیزات برای انتقال مصالح ساختمانی و نیروی انسانی بین طبقات مختلف یک ساختمان در حال‌ساخت استفاده می‌شود. تاخیر در تحویل مصالح توسط بالابرها می‌تواند منجر به افزایش مدت‌زمان ساخت و ساز و همچنین هزینه‌های عملیاتی شود، از این رو تصمیم‌گیری در مورد نحوه استفاده بهینه از بالابرها اهمیت زیادی دارد.

برنامه‌ریزی مناسب برای بالابرهای موقت یکی از عوامل کلیدی در تکمیل موفقیت‌آمیز پروژه‌ها است. برنامه‌ریزی نامناسب برای بالابرها در مراحل ابتدایی پروژه می‌تواند مشکلاتی مانند ناتوانی در جابجایی منابع مورداستفاده یا بیکار ماندن بالابر را به‌وجود آورد. برنامه‌ریزی مناسب محل نصب بالابرها اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا در میزان جابجایی افقی مصالح در طبقات، هزینه‌های نصب و تعمیر و نگهداری آن تاثیرگذار است.

این مقاله با توسعه یک مدل ریاضی خطی عددصحیح تلاش می‌کند مکان یک بالابر ساختمانی را به صورت بهینه تعیین کند. مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی عددصحیح و در دست‌داشتن اطلاعات مربوط به ظرفیت و ویژگی‌های فنی بالابر موجود، مقدار نیازمندی طبقات به مصالح و نیروی انسانی و مکان‌های کاندید جهت نصب بالابر، مکان بهینه برای نصب آن را پیشنهاد نماید.

در ادامه به بررسی پژوهش‌های انجام شده در حوزه مدیریت و بهینه‌سازی بالابرهای ساختمانی پرداخته می‌شود. این پژوهش ها عموما در حوزه‌های زیر هستند:

۱. شبیه‌سازی فرایندهای بالابری
۲. زمان‌بندی فعالیت‌های بالابر و کاهش زمان سفر آن
۳. زون‌بندی طبقات مورد سرویس بالابر

۴. کنترل گروهی آسانسورها

در ذیل بطور خلاصه به بررسی پژوهش های مذکور پرداخته می‌شود:

شبیه‌سازی فرایندهای بالابری

چو[۱] و همکاران [۲] در پژوهش خود به ارائه یک سیستم ترکیبی برنامه‌ریزی و مدیریت بالابر می‌پردازد تا با ترکیب تجربه مهندسین و روش‌های شبیه‌سازی کامپیوتری، انجام برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه بالابری با دقت و سهولت بیشتری انجام‌گردد. در این تحقیق روشی برای محاسبه زمان سفر بالابر بر اساس ارتفاع ساختمان و میزان بار بالابر پیشنهاد شده و با روش‌های مرسوم در محاسبه زمان چرخه بالابری مقایسه شده است. روش مورداستفاده در این پژوهش تمامی این عناصر دخیل را در نظرگرفته و با بررسی سناریوهای مختلف، بهترین حالت را برای محاسبه دقیق زمان چرخه بالابری انتخاب می‌کند. آن ها همچنین یک روش شبیه‌سازی برای ارائه اطلاعات دقیق به مهندسین و تسهیل فرایند تصمیم‌گیری ایجاد کردند.

با توجه به افزایش تعداد ساختمان‌های بلندمرتبه در کشور کره و افزایش محدودیت‌های تعداد طبقات مورد سرویس بالابرهای ساختمانی، عوامل موثر بر مدیریت ساخت‌وسازهای بزرگ پیچیده‌تر شده است. از این رو جونگ‌وان شین[۲] و همکاران [۳] در پژوهش خود اطلاعات تاریخچه عملیاتی را از طریق حسگر متصل به آسانسور و با وسیله‌ای به نام سیستم اطلاعات آسانسور جاسازی شده ELIS[۳] ذخیره می‌کنند تا الگوی عملیاتی بالابر بدست آید. لذا برنامه کاری بالابر برای روز بعد بر اساس الگوهای عملیاتی آن در چهار روز اخیر و استفاده از تکنیک تدبیر ۴ بدست می‌آید و زون‌بندی عمودی بهینه بالابر ۵ بوسیله شبیه‌ساز مشخص می‌شود. نتایج نشان می‌دهد استفاده از این روش باعث کاهش چشم‌گیر زمان عملیاتی بالابر می‌شود. در نهایت این مطالعه به عنوان نقطه شروعی برای تصمیم‌گیری مبتنی بر یک مدل ریاضی عمل کرده است. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که سیستم عملیاتی پیشنهادی به عنوان بخشی از یک سیستم مبتنی بر آسانسورهای هوشمند بدون سرنشین از طریق تأیید عملکرد در کل دوره پروژه تحقیقاتی مورد استفاده قرارگیرد.

میزان بهره‌وری بالابرهای مورداستفاده در ساختمان‌های بلند بدلیل ترافیک کاری بالای آنها بسیار متغیر است. لذا برای مدیریت این پارامتر نحوه تعیین محدوده طبقات موردسرویس بالابرها اهمیت زیادی دارد. برای این کار روش‌های مختلف تحلیلی و شبیه‌سازی وجود دارد. مین‌هیوک جونگ[۶] و همکاران[۴] در پژوهش خود برای پرداختن به این مسئله به توسعه یک سیستم شبیه‌سازی مبتنی بر عامل[۷] اعم از عوامل داخلی و خارجی موثر بر عملکرد سیستم را مورد بررسی قرار دادند. آن ها سپس با مدل‌سازی قوانین رفتاری اجزای سیستم (مانند بالابرها و کارگران) از روش شبیه‌سازی مبتنی بر عامل استفاده کردند. نتایج پژوهش، رابطه پیچیده میان پیکربندی طبقات سرویس بالابر و عملکرد سیستم را نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که چگونه تکنیک‌های مدل‌سازی مبتنی بر عامل می‌تواند به تجزیه و تحلیل سیستم‌های سطح عملیاتی با فرآیندهای جهانی متنوع کمک‌کند.

زمان‌بندی فعالیت‌های بالابر و کاهش زمان سفر

علیرضا جلالی‌یزدی و همکاران [۵] روشی برای بهینه‌سازی عملکرد آسانسورهای ساختمانی در پروژه‌های ساختمانی چندطبقه ارائه‌کردند. این روش با تاکید بر زمان اوج صبحگاهی، سیستم آسانسور را برای برآوردن همزمان و موثر نیازهای همزمان کارگران در طبقات مختلف تنظیم می‌کند. هدف این مدل به حداقل رساندن زمان کل جابجایی عمودی تا طبقات سرویس با شناسایی دینامیکی نحوه تخصیص بار بهینه به کابین آسانسور و تهیه بهترین برنامه بازدید از طبقات می‌باشد.

علیرضا جلالی‌یزدی و همکاران [۶] در پژوهش دیگری مدلی ریاضی برای برنامه‌ریزی سفر یک سیستم بالابر تکی ارائه می‌دهند که هدف آن به حداقل رساندن کل زمان سفر کابین آسانسور است. این موضوع باعث بهره‌وری بیشتر کارگران و پیشرفت بهتر ساخت‌وساز می‌شود. در واقع کیفیت مدل بهینه‌سازی به جامعیت داده‌های ورودی مدل بستگی دارد. این مدل می‌تواند یک جواب با شکاف بهینه ٪۰ را در حدود ۱ ساعت پیدا کند. از آن‌جایی که این فرآیند برای یافتن جواب بهینه بر اساس یک روش ریاضی است، نتیجه نهایی جواب بهینه سراسری می‌باشد.

---

۱ - Cho
۲ - Joonghwan Shin
۳ - Embedded Lift Information System
۴ - Tact technique
۵ - Optimal vertical operation zones.
۶ - Minhyuk Jung
۷ - Agent-based model

کاهش زمان انتظار مسافران در یک سیستم با چند آسانسور فعال یک مسئله مهم در صنعت بالابری است. الگوریتم‌های ژنتیک در مسأله نحوه و ترتیب ارسال در جابجایی عمودی کاربردهای فراوانی داشته‌اند. ام بیمورگیا۸ و همکاران [۷] در پژوهش خود یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک با چندین اصلاحات را برای ارتباط بیشتر این نوع الگوریتم با مسئله موردبحث ارائه‌کرده‌اند. الگوریتم‌ها، تماس‌های کنونی سیستم را برای تنظیم برنامه ارسال خدمت به‌کار می‌برند، با فرض این‌که هر تماس تنها توسط یک مسافر انجام شده است (بدون پیش‌بینی مسافر). این الگوریتم‌ها با استفاده از نرم‌افزار ELEVATE برای دو تنظیمات ساختمانی مختلف، در اصطلاحات ورودی، خروجی و بین طبقاتی پیاده‌سازی و ارزیابی شدند. برای مقایسه نتایج، آزمون تحلیل واریانس یک عامل برای زمان انتظار مسافران اعمال شد. عملکرد الگوریتم ژنتیک مورداستفاده پس از بکارگیری این اصلاحات به میزان قابل‌توجهی بهبود پیدا کرد.

زون‌بندی طبقات

مونسو پارک۹ و همکاران [۸] در پژوهش خود به توسعه یک مدل ریاضی برای ارائه زون‌بندی بهینه بالابر پرداخته‌اند. زون‌بندی، تقاضای بالابر را به چند دسته عمودی طبقات تقسیم می‌کند و برای هر دسته از طبقات، بالابری را اختصاص می‌دهد. مونسو پارک و همکاران مفهوم زون‌بندی دینامیک را معرفی می‌کنند که می‌تواند استفاده از تجهیزات حمل‌ونقل عمودی را بهینه کند و با در نظرگرفتن تقاضای متغیر بالابر در طول پیشرفت پروژه، زمان حمل‌ونقل کارگران را به حداقل برساند. در این پژوهش یک مدل شبیه‌سازی توسعه داده شده و بر روی یک پروژه مسکونی بلندمرتبه به منظور تعیین میزان اثربخشی آن آزمایش شده است. نتایج حاصل تأییدکرد که زون‌بندی مبتنی بر تقاضای جابجایی عمودی می‌تواند زمان کل جابجایی را تقریباً ۴۰ درصد کاهش دهد.

میرکو روکوکوسکی۱۰ و همکاران [۹] در پژوهش خود یک برنامه برنامه‌نویسی پویا برای یافتن راه‌حل بهینه مسئله استاتیک زون‌بندی معرفی می‌کنند. این برنامه شرایط ترافیک آپ‌پیک را در نظر می‌گیرد. این روش یک توسعه برای کار پاول است که تقریبا ۵۰ سال پیش انجام شده است. راه‌حل مسئله بهینه‌سازی، طبقات بالای ساختمان را به مناطق جداگانه و ثابت تقسیم می‌کند و برای هر منطقه، تعداد آسانسورها و همچنین اندازه و سرعت نامی آن‌ها را مشخص می‌کند.. نتایج تعیین می‌کند که چند منطقه و چند آسانسور در هر منطقه لازم است.

کنترل گروهی آسانسورها

جیانژه تای۱۱ و همکاران [۱۰] در این مطالعه با هدف حل مشکل عدم قطعیت در جمع‌آوری اطلاعات سامانه کنترل گروهی آسانسورهای سنتی، یک روش بهینه‌سازی ارسال خدمت برای نوع جدیدی از سامانه کنترل گروهی آسانسورها با راهنمایی طبقه مقصد، ارائه می‌دهدبرای پیش‌بینی دقیق پارامترهای ورودی، تمام تماس‌های ثبت‌شده در سالن به چهار گروه تقسیم می‌شوند و بر این اساس الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای پیش‌بینی پارامترهای ورودی تعریف می‌شوند. پارامترهای ورودی شامل میانگین زمان انتظار مسافران۱۲، میانگین زمان سفر مسافران۱۳، نرخ انتظار طولانی‌مدت مسافران۱۴و مصرف انرژی سواری۱۵هستند. الگوریتم شبکه عصبی فازی۱۶برای دستیابی برنامه بهینه ارسال خدمت چندهدفه استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که الگوریتم مورداستفاده سبب ۱۰٪ بهبود در ارزیابی پارامترها نسبت به الگوریتم‌های سنتی گردیده و باعث افزایش قابلیت اطمینان سامانه کنترل گروهی آسانسور شده است.

بامونوراچچی۱۷ و همکاران [۱۱] در پژوهش خود به حل مسئله برنامه‌ریزی گروهی آسانسور با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی متاهیوریستیک پرداختند. در این پژوهش یک تکنیک مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی سفر و الگوریتم شاخه و حد به صورت مستقل برای بررسی قابلیت تولید نتایج رقابتی استفاده شده است. سپس، معیار بهینه‌سازی جدیدی با درنظر گرفتن میزان مصرف انرژی آسانسورها تعریف شده است. نتایج نشان می‌دهند تکنیک پیشنهادی می‌تواند اندازه‌گیری مصرف انرژی بهتری را با عملکرد زمان خدمت بهتر یا تقریباً برابر داشته باشد. کاهش کل مصرف انرژی در سناریوی کلی ۲۰٪ و مزیت زمان خدمت ۱۳٪ است.

---

۸ - M. Beamurgia.
۹ - Moonseo Park.
۱۰ - Mirko Ruokokoski.
۱۱ - Jianzhe Tai.
۱۲ - average waiting time.
۱۳ - average riding time.
۱۴ - rate of waiting long time of passengers.
۱۵ - riding power consumption.
۱۶ - Fuzzy Neural Network.
۱۷ - D. T. Bamunuarachchi.

پاول ای[18] و همکاران [۱۲] در پژوهشی یک برنامه کامپیوتری برای تصمیم‌گیری لحظه‌ای زمان و مکان ارسال هر آسانسور تهیه می‌کنند و با بهینه‌سازی برنامه اعزام آسانسورها باعث کاهش تعداد آسانسورها و یا کاهش ابعاد کابین آنها می‌شود. در این روش آسانسورها به گونه‌ای اعزام می‌شوند که کارآیی برای تمام کاربران آن حداکثر شود. برای درک بهتر عملکرد سیستم، بررسی‌هایی درباره ماهیت توابع هدف مختلف و تأثیر آنها بر عملکرد سیستم ارائه شده است. زمان سرویس الگوریتم ۱۰MV در مقایسه با روش‌های شناخته‌شده در این زمینه مثبت است و نتایج آماری نیز تاییدکننده آن است.

های‌یان تانگ[19] و همکاران [۱۳] در پژوهش خود به منظور بهینه‌سازی عملکرد سیستم کنترل گروهی آسانسورها[20] و ارائه خدمات عالی به مسافران، روشی برای برنامه‌ریزی کنترل گروهی آسانسورها بر اساس مسافران منتظر شناخته‌شده و سوئیچ چند استراتژی پیشنهاد دادند. تعداد مسافرانی که در انتظار آسانسور هستند، با استفاده از دستگاه تشخیصی قابل توجهی به نام سنسور فروسرخ پیروالکتریک بدنی، قابل دریافت است. دو الگوریتم برنامه‌ریزی کنترلی بر اساس نظریه کنترل فازی در این مقاله توسعه داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که شاخص‌های عملکرد سیستم کنترل گروهی آسانسورها بهینه‌سازی شده و کارایی آن افزایش می‌یابد.

چانگ‌بوم کیم[21] و همکاران [۱۴] در این مقاله یک روش تولید استراتژی کنترلی بر اساس نظریه فازی و به دنبال آن سیستم کنترل گروهی آسانسور فازی را پیشنهاد می‌دهد. استراتژی کنترل با استفاده از طبقه‌بندی ترافیک مسافران و نیازهای مدیران سیستم ساخته می شود و تماس‌های دروازه با استفاده از استراتژی کنترل عمومی به آسانسورهای مناسب تخصیص داده می‌شوند. سیستم با استفاده از استراتژی کنترلی تعریف شده توسط مدیر سیستم عمل می‌کند. سیستم پیشنهاد شده در شبیه‌سازی‌ها نتایج بهتری نسبت به روش‌های سنتی نشان می‌دهد.

۲- متن

در این بخش یک مدل عدد صحیح خطی برای تعیین مکان و تعداد بهینه بالابر در محیط ساخت و ساز ارائه می شود. ویژگی های مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

۱) در ساختمان موردنظر ۱ مدل بالابر برای جابجایی عمودی مصالح و نیروی کار در نظر گرفته شده است.
۲) مکان‌های کاندید جهت نصب بالابر با توجه به شرایط محیط ساخت و ساز از پیش تعیین شده است.
۳) طبقه دارای تراز ارتفاعی ۰ در ساختمان به عنوان مکان عرضه مصالح درنظر گرفته شده است.
۴) بالابر در هر سفر یک نوع از مصالح را از نقطه عرضه به نقطه تقاضا منتقل می‌کند و سپس به نقطه عرضه بازمی‌گردد.
۵) ظرفیت حمل بالابر توسط شرکت سازنده آن مشخص شده و در هر سفر این ظرفیت وزنی باید رعایت شود.
۶) زمان جایجایی بین طبقات با توجه به سرعت ثابت حرکت بالابر و ارتفاع طبقات محاسبه شده است.
۷) نیازمندی طبقات به مصالح و نیروی انسانی پیش از اجرای پروژه مشخص شده و تمامی این نیازمندی‌ها باید رفع شود.
۸) هزینه های مربوط به نصب بالابر و هزینه جابجایی مصالح توسط بالابر از پیش تعیین شده است.
۹) در این مرحله از فرایند ساخت‌وساز بدلیل تکراری بودن فعالیت‌های اجرایی در روزهای کاری مختلف، انتخاب مکان برای نصب بر اساس نیازمندی های ۱ روز پروژه تعیین شده و فرض می‌گردد روزهای دیگر نیز برنامه کاری مشابهی دارند. در نتیجه هزینه نصب بالابر برای ۱ روز کاری بهینه می‌گردد. پروژه در ۶۰ روز کاری انجام خواهد شد.

۲-۱- روابط

تابع هدف مدل پیشنهادی و همچنین محدودیت های آن در زیر ارائه شده است:

$$z = \min \sum_{l \in L} C_l^i \times y_l + C_l^w \times T_{j,l}^t \quad (۱)$$

$$\text{s.t} \quad \sum_{l \in L} x_{jml} \geq d_{jm} \qquad \forall j.m \quad (۲)$$

$$x_{jml} \leq cap_l \times N_{jml} \qquad \forall j.m.l \quad (۳)$$

$$T_l^t = ۲ \times \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} N_{jml} \times t_{jl} \qquad \forall l \quad (۴)$$

$$y_l \times 0 \geq x_{jml} \qquad \forall j.m.l \quad (۵)$$

[18] - Paul E.
[19] - HAI-YAN TANG.
[20] - elevator group control system.
[21] - ChangBum Kim.

$$\sum_{l\in L} y_l = ۱ \qquad (۶)$$

رابطه (۱) تابع هدف مدل پیشنهادی را مشخص می کند. عبارت اول تابع هدف هزینه مربوط به نصب بالابر و عبارت دوم تابع هدف، هزینه ناشی از جابجایی مصالح را درنظر می گیرد. در رابطه (۱) پارامتر C_l^i بیانگر هزینه نصب بالابر است که درصورت نصب بالابر در مکان کاندید y_l در مقدار تابع هدف لحاظ می‌گردد. عبارت دوم تابع هدف، هزینه سفر بالابر در طی هر شیفت کاری را از طریق پارامتر C_l^w در نظر می‌گیرد. رابطه (۲) رفع کامل نیاز به مصالح تمام نقاط تقاضا را تضمین می‌کند. در این رابطه x_{jml} بیانگر مقدار مصالحی است که بالابر قرار داده شده در مکان l از مصالح نوع m به نقطه تقاضا j تحویل می‌دهد. هر یک از بالابرها بسته به ویژگی‌های مکان‌های کاندید نصب (از قبیل ابعاد محل بازشو، ترجیحات کارفرما، مسائل ایمنی) ظرفیت مشخص cap_l برای جابجایی مصالح دارند. از این رو بالابرها برای رفع کامل درخواست مصالح هر یک از نقاط تقاضا باید چندین بار بین نقاط عرضه و نقاط جابجا شوند. محدودیت (۳) با توجه به ظرفیت بالابر، تعداد دفعاتی که لازم است بالابر به نقطه عرضه سفر کند N_{jml} را مشخص می‌کند. رابطه (۴) مدت زمان فعالیت بالابر را محاسبه می‌کند. در این رابطه T_l^t مدت زمان فعالیت بالابر قرار گرفته شده در مکان l است. از آنجایی که بالابر در هر سفر خود پس از تحویل مصالح به نقطه تقاضا به نقطه عرضه باز می گردد، مدت زمان جابجایی در عدد ۲ ضرب می شود . برای محاسبه زمان سفر بالابر بین طبقات از رابطه (۷) استفاده می‌شود:

$$t_{jl} = \frac{H_j - H_l}{V} \qquad (۷)$$

که در آن H_j بیانگر ارتفاع نقطه تقاضا، H_l بیانگر ارتفاع نقطه عرضه و V سرعت ثابت حرکت بالابر است. مکان نصب بالابر توسط رابطه (۵) مشخص می‌شود. در این رابطه پارامتر O یک عدد به اندازه کافی بزرگ است. رابطه (۶) تضمین می‌کند که فقط یکی از مکان های کاندید برای نصب بالابر انتخاب شود.

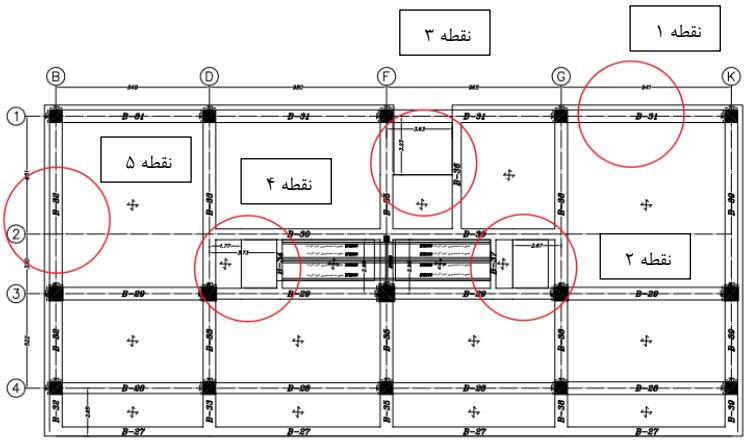
نتایج عددی نتایج عددی

در این بخش مدل خطی عددصحیح ارائه شده در بخش قبلی با استفاده از یک نمونه مطالعاتی مورد آزمایش قرار می‌گیرد. مدل پیشنهادی در نرم‌افزار IBM CPLEX ۱۲،۱۰ پیاده‌سازی و با استفاده از حل‌کننده CPLEX در سیستمی با ویندوز ۱۰، رم ۴GB و سی پیو Core i۳ حل شده است.

۲-۲- نمونه مطالعاتی

اطلاعات جهت بررسی مدل پیشنهادی از پروژه ساختمانی ۱۵ طبقه واقع در مرکز شهر با کاربری میکونی-اقامتی مشهد تهیه شده است.

در شکل (۱) مکان های کاندید برای قرارگیری بالابر نمایش داده شده است. در این پروژه ۵ مکان به عنوان نقطه کاندید برای نصب بالابر درنظر گرفته می شود. نقاط ۱، ۳ و ۵ در نمای بیرونی پروژه و نقاط ۲ و ۴ در چاله آسانسور قرار دارند.



شکل ۱- پلان جانمایی مکان‌های کاندید نصب بالابر

در طی این مرحله از پیشرفت پروژه، ۳ نوع محصول نیاز به جابجایی توسط بالابر دارند. تراز ارتفاعی طبقات مختلف (بر حسب متر)،

زمان جابجایی بالابر از نقطه عرضه (طبقه همکف) به نقاط تقاضا (بر حسب ثانیه) و مقدار نیاز طبقات مختلف به هر کدام از انواع مصالح ۱ تا ۳ به صورت وزنی (بر حسب کیلوگرم)، در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱- مشخصات ارتفاع و مقدار نیازمندی طبقات

تراز	طبقه	ارتفاع	زمان رسیدن از طبقه همکف	مقدار نیاز به محصول ۱	مقدار نیاز به محصول ۲	مقدار نیاز به محصول ۳
۱	-۳	-۱۲	۳۶	۴۰۰۰	۵۰۰۰	۳۵۰۰
۲	-۲	-۸	۲۴	۶۰۰۰	۵۵۰۰	۲۰۰۰
۳	-۱	-۴	۱۲	۴۸۰۰	۵۳۰۰	۵۶۰۰
۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۱	۴	۱۲	۸۰۰۰	۷۲۰۰	۶۴۰۰
۶	۲	۸	۲۴	۹۵۰۰	۵۰۰۰	۴۰۰۰
۷	۳	۱۲	۳۶	۶۲۰۰	۵۰۰۰	۷۰۰۰
۸	۴	۱۶	۴۸	۸۰۰۰	۹۵۰۰	۱۰۰۰
۹	۵	۲۰	۶۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰	۹۰۰۰
۱۰	۶	۲۴	۷۲	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰
۱۱	۷	۲۸	۸۴	۶۰۰۰	۸۰۰۰	۶۵۰۰
۱۲	۸	۳۲	۹۶	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰	۴۵۰۰
۱۳	۹	۳۶	۱۰۸	۴۸۰۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰
۱۴	۱۰	۴۰	۱۲۰	۳۰۰۰	۶۷۰۰	۷۲۰۰
۱۵	۱۱	۴۴	۱۳۲	۰	۱۵۰۰۰	۹۰۰۰

مکان‌های کاندید ۲ و ۴ در چاله آسانسور قرار دارند و بدلیل محصور بودن فضای آن و سهولت نصب، ترجیح کارفرمای پروژه نیز نصب بالابر در این مکان‌ها می‌باشد. از طرفی بدلیل کوچکتر بودن فضای چاله آسانسور از ابعاد کابین بالابر موجود، نیاز به تغییر ابعاد می‌باشد که در نتیجه آن ظرفیت وزنی بالابر نیز کاسته شده است. نقاط کاندید ۱، ۳ و ۵ در نمای بیرونی پروژه قراردارند که از لحاظ ابعادی محدودیتی نداشته ولی بدلیل نیاز به رعایت مباحث ایمنی بیشتر و اخذ مجوزهای مربوطه از شهرداری دارای هزینه نصب بیشتر و در مقابل ظرفیت وزنی بالاتری هستند. اطلاعات مربوط ظرفیت وزنی بالابر (بر حسب کیلوگرم) در مکان‌های کاندید ۱ تا ۵، سرعت حرکت بالابر (بر حسب متر بر دقیقه)، ابعاد کابین (بر حسب متر)، هزینه نصب روزانه (با فرض ۶۰ روز کاری) و هزینه کاری به ازای هر ثانیه کاری بالابر (بر حسب تومان) در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲- مشخصات فنی بالابر

محل نصب	ظرفیت وزنی	سرعت حرکت	ابعاد کابین	هزینه نصب	هزینه کاری
۱	۱۵۰۰	۲۰	۱,۳*۲,۷*۲,۴	۵۰۰,۰۰۰	۵۰
۲	۱۰۰۰	۲۰	۱,۳*۲,۷*۲	۴۱۷,۰۰۰	۵۰
۳	۱۵۰۰	۲۰	۱,۳*۲,۷*۲,۴	۵۸۰,۰۰۰	۵۰
۴	۱۲۰۰	۲۰	۱,۳*۲,۷*۲,۱	۴۵۰,۰۰۰	۵۰
۵	۱۵۰۰	۲۰	۱,۳*۲,۷*۲,۴	۷۰۰,۰۰۰	۵۰

۲-۳- بررسی و آزمایش

در ادامه مدل پیشنهادی با استفاده از نمونه مطالعاتی مورد بررسی و آزمایش قرار می‌گیرد. جواب بدست‌آمده از مدل پیشنهادی برای نمونه مطالعاتی در جدول ۳ آورده شده‌است. مدل پیشنهادی نقطه کاندید ۱ را برای نصب بالابر در محیط ساخت‌وساز انتخاب می کند.

جدول ۳- مشخصات نقطه بهینه نصب بالابر

محل نصب منتخب	زمان سفر بالابر	هزینه نصب بالابر	هزینه سفر بالابر	مجموع هزینه‌ها
۱	۲۴۶۰۰ ثانیه	۵۰۰,۰۰۰	۱,۲۳۰,۰۰۰	۱,۷۳۰,۰۰۰
مجموع هزینه ۶۰ روزکاری				۱۰۳,۸۰۰,۰۰۰

مقادیر xjml و Njml برای نقطه بهینه ۱ حاصل از محاسبات مدل در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- مقادیر حاصل از مدل

مقدار مصالح جابجاشده	تعداد جابجایی	مکان کاندید	محصول	تراز	مقدار مصالح جابجاشده	تعداد جابجایی	مکان کاندید	محصول	تراز	مقدار مصالح جابجاشده	تعداد جابجایی	مکان کاندید	محصول	تراز
۸۰۰۰	۶	۱	۲	۱۱	۴۰۰۰	۳	۱	۳	۶	۴۰۰۰	۳	۱	۱	۱
۶۵۰۰	۵	۱	۳	۱۱	۶۲۰۰	۵	۱	۱	۷	۵۰۰۰	۴	۱	۲	۱
۱۰۰۰۰	۷	۱	۱	۱۲	۵۰۰۰	۴	۱	۲	۷	۳۵۰۰	۳	۱	۳	۱
۱۲۰۰۰	۸	۱	۲	۱۲	۷۰۰۰	۵	۱	۳	۷	۶۰۰۰	۴	۱	۱	۲
۴۵۰۰	۳	۱	۳	۱۲	۸۰۰۰	۶	۱	۱	۸	۵۵۰۰	۴	۱	۲	۲
۴۸۰۰	۴	۱	۱	۱۳	۹۵۰۰	۷	۱	۲	۸	۲۰۰۰	۲	۱	۳	۲
۶۰۰۰	۴	۱	۲	۱۳	۱۰۰۰۰	۷	۱	۳	۸	۴۸۰۰	۴	۱	۱	۳
۷۰۰۰	۵	۱	۳	۱۳	۶۰۰۰	۴	۱	۱	۹	۵۳۰۰	۴	۱	۲	۳
۳۰۰۰	۲	۱	۱	۱۴	۷۰۰۰	۵	۱	۲	۹	۵۶۰۰	۴	۱	۳	۳
۶۷۰۰	۵	۱	۲	۱۴	۹۰۰۰	۶	۱	۳	۹	۸۰۰۰	۶	۱	۱	۵
۷۲۰۰	۵	۱	۳	۱۴	۳۵۰۰	۳	۱	۱	۱۰	۷۲۰۰	۵	۱	۲	۵
۰	۰	۱	۱	۱۵	۴۰۰۰	۳	۱	۲	۱۰	۶۴۰۰	۵	۱	۳	۵
۱۵۰۰۰	۱۰	۱	۲	۱۵	۵۰۰۰	۴	۱	۳	۱۰	۹۵۰۰	۷	۱	۱	۶
۹۰۰۰	۶	۱	۳	۱۵	۶۰۰۰	۴	۱	۱	۱۱	۵۰۰۰	۴	۱	۲	۶

۳- نتیجه

در این مقاله یک مدل عدد صحیح خطی برای مسئله مکان‌یابی بالابر در محیط ساخت و ساز ارائه شده است. مدل پیشنهادی مکان بهینه بالابر ساختمانی را از بین تعدادی نقاط کاندید مشخص می‌کند. در چیدمان بهینه به هزینه نصب، هزینه جابجایی، سهولت نصب و تعمیر و نگهداری و مباحث ایمنی توجه شده است. نتایج نشان می‌دهد عدم در نظر گرفتن موارد فوق سبب استهلاک بیشتر بالابر، هزینه نصب و نگهداری بالاتر، کاهش ایمنی و افزایش احتمال بروز حوادث کارگاهی می‌شود.

مراجع

[۱] Shin, Yoonseok, Hunhee Cho, and Kyung-In Kang. "Simulation model incorporating genetic algorithms for optimal temporary hoist planning in high-rise building construction." Automation in construction ۲۰,۵ (۲۰۱۱): ۵۵۰-۵۵۸.

[۲] Cho, Chang-Yeon, et al. "Simulation method of construction hoist operating plan for high rise buildings considering lifting heights and loads." ۲۷th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ۲۰۱۰.

[۳] Shin, Joonghwan, et al. "A Study on Method of Vertical Zoning of Construction Lift for High-rise Building based on Lift Planning & Operation History Database." KSCE Journal of Civil Engineering ۲۲ (۲۰۱۸): ۲۶۶۴-۲۶۷۷.

[۴] Jung, Minhyuk, et al. "Agent-based lift system simulation model for high-rise building construction projects." Journal of Computing in Civil Engineering ۳۱,۶ (۲۰۱۷): ۰۴۰۱۷۰۶۴.

[۵] Yazdi, Alireza Jalali, Mojtaba Maghrebi, and Jafar Bolouri Bazaz. "Mathematical model to optimally solve the lift planning problem in high-rise construction projects." Automation in Construction ۹۲ (۲۰۱۸): ۱۲۰-۱۳۲.

[۶] Yazdi, Alireza Jalali, et al. "Optimization of flexible lift processes on high-rise building construction sites." Automation in Construction ۱۰۷ (۲۰۱۹): ۱۰۲۹۳۹.

[۷] Beamurgia, Maite, et al. "A modified genetic algorithm applied to the elevator dispatching problem." Soft Computing ۲۰ (۲۰۱۶): ۳۵۹۵-۳۶۰۹.

[۸] Park, Moonseo, et al. "Lifting demand-based zoning for minimizing worker vertical transportation time in high-rise building construction." Automation in Construction ۳۲ (۲۰۱۳): ۸۸-۹۵.

[۹] Ruokokoski, Mirko, Janne Sorsa, and Marja-Liisa Siikonen. "A Systematic Methodology for Analysing Zoning Options for a Building Using Dynamic Programming." ۹th Symposium on Lift and Escalator Technologies. Vol. ۹. No. ۱. ۲۰۱۸.

[۱۰] Tai, Jianzhe, Suying Yang, and Hong Tan. "Dispatching approach optimization of elevator group control system with destination floor guidance using Fuzzy Neural Network." ۲۰۰۸ ۷th World Congress on Intelligent Control and Automation. IEEE, ۲۰۰۸.

[۱۱] Bamunuarachchi, D. T., and D. N. Ranasinghe. "Elevator group optimization in a smart building." ۲۰۱۵ IEEE ۱۰th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS). IEEE, ۲۰۱۵.

[۱۲] Utgoff, Paul E., and Margaret E. Connell. "Real-time combinatorial optimization for elevator group dispatching." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans ۴۲,۱ (۲۰۱۱): ۱۳۰-۱۴۶.Wu, Ling-Yun, Xiang-Sun Zhang, and Ju-Liang Zhang. "Capacitated facility location problem with general setup cost." Computers & Operations Research ۳۳,۵ (۲۰۰۶): ۱۲۲۶-۱۲۴۱.

[۱۳] Tang, Hai-Yan, et al. "Optimization of elevator group control scheduling with multi-strategy switch." ۲۰۰۸ International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Vol. ۴. IEEE, ۲۰۰۸.

[۱۴] Kim, Chang Bum, et al. "Design and implementation of FEGCS: fuzzy elevator group control system." Proceedings of North American Fuzzy Information Processing. IEEE, ۱۹۹۶.