

## تخصیص فضای انبارش کانتینرها در یک پایانه کانتینری تحت شرایط عدم قطعیت

حبیب‌اله جوانمرد\*، حدیث دریگوند\*\*

### چکیده

امروزه، با جهانی شدن تجارت و گسترش ارتباطات، پایانه‌های گمرکی نقش مهمی در اقتصاد کشورها ایفا می‌کنند. بسیاری از کشورهای بزرگ و صنعتی رشد و شکوفایی خود را مدیون صنعت ترانزیت هستند. از آنجا که معیار جهانی ارزیابی کارایی پایانه‌ها زمان ترخیص کالاها در این پایانه‌ها است و به این زمان در سنجش عملکرد ساختار سازمانی و مدیریتی آن‌ها توجه می‌شود، مدیران همواره به دنبال راه‌هایی برای کاهش زمان ترخیص هستند. بر این اساس، در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی فازی و چندهدفه، تحت عدم قطعیت پارامترهای ورودی ارائه شده است که سعی دارد زمان ترخیص را از طریق تخصیص مناسب فضا به کانتینرها کاهش دهد. پس از حل مدل براساس رویکرد سه مرحله‌ای پیشنهادی، مثال عددی با استفاده از روش‌های دقیق و آزادسازی لاگرانژ بررسی شد. نتایج نشان می‌دهند که اگر تصمیم‌گیرنده بخواهد با ریسک کمتری با عدم قطعیت روبه‌رو شود، با وجود بدتر شدن تابع هدف، باید مینیمم درجه پذیرش بالایی را انتخاب کند.

**کلیدواژه‌ها:** مسئله تخصیص فضای انبارش؛ عدم قطعیت؛ روش آزادسازی لاگرانژ؛ تحلیل حساسیت.

---

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۸/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱/۲۴.  
\* دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک (نویسنده مسئول).

E-mail: h-javanmard@iau-arak.ac.ir

\*\* دانشجوی کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک.

### ۱. مقدمه

زمان ترخیص کانتینر و کالا طبق تعریف برابر است با مدت زمانی که طول می‌کشد صاحبان کالاها مدارک مورد نیاز برای ترخیص کالای خود را تهیه و مراحل ترخیص را انجام دهند [۲]. میزان ورود و خروج کالا در پایانه‌ها همیشه در توازن قرار نمی‌گیرد و مشکلاتی در پایانه‌ها به وجود می‌آید که باعث از بین رفتن این توازن می‌شود و انبار شدن حجم عظیمی از کالاها در پایانه‌ها را به دنبال دارد که در اصطلاح به آن رسوب می‌گویند [۲]. بالا بودن زمان ترخیص کالا به رسوب کالاها در پایانه‌ها و مشکلات ناشی از آن منجر می‌شود.

در حال حاضر، زمان ترخیص کالا در پایانه‌های کشورهای در حال توسعه زیاد است و کشور ایران از این موضوع مستثنی نیست. از طرف دیگر، کالاها به صورت تصادفی و معمولاً به ترتیب ورود آن‌ها و بدون رعایت الگویی مناسب ذخیره می‌شوند که موجب دشواری‌هایی در فرآیند بازیابی آن‌ها شده است. در حالی که با افزایش تجارت جهانی، چگونگی بهبود عملکرد پایانه‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو است [۲۶]. کم بودن زمان ترخیص کالا و یا هرگونه کاهش در این زمان به معنی افزایش در کارایی پایانه‌ها و توان خروجی آن است [۳]. استفاده مؤثر و بهینه از ظرفیت‌ها و استعدادهای پایانه‌ها پلی به سوی پیشرفت‌های اقتصادی و توسعه یافتگی است [۴].

انتظار می‌رود که این پژوهش با پیشنهاد تخصیص مکان‌ها به کانتینرهای با رویکرد زمان، بستری را فراهم کند که به کاهش زمان مورد نیاز برای ترخیص کانتینرها در پایانه‌ها منجر شود و از این طریق، بهبود عملکرد پایانه‌ها، کاهش هزینه‌های اجرایی و عملیاتی و رضایتمشتریانرا فراهم آورد.

### ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ها در پژوهشی [۹]، کیفیت خدمات در پانزده بندر کانتینری جهان، از جمله کره، نیویورک، هنگ‌کنگ، رتردام و هامبورگ را مقایسه کرده و از طریق مطالعه پژوهش‌های پیشین، مصاحبه و پرسش‌نامه، هفت عامل کیفیت خدمات، شامل وجود اطلاعات در مورد فعالیت‌های بنادر، مکان بنادر، زمان گردش کار، تسهیلات موجود، مدیریت بنادر، هزینه‌های بنادر و دسترسی مشتریان را تعیین نمود.

کنت [۱۳] در تحقیق خود، هزینه‌ها و عملکرد پایانه‌های کارآمد و ناکارآمد را که دارای حوزه و مقیاس مشابه بودند، در کشورهای مختلف قاره آمریکا مقایسه کرد. وی از دیدگاه رویه اجرایی به ارزیابی و توضیح زمان بالای توقف محموله‌ها در پایانه‌های ناکارآمد پرداخت، با محاسبه تفاوت هزینه این پایانه‌ها، هزینه ناکارآمدی را مشخص کرد و نتیجه گرفت که اگر هزینه‌های

ناکارآمدی‌ها غیرقابل قبول باشند، کشتی‌ها بندر دیگری را برای دریافت خدمت انتخاب می‌کنند. لی و ایدا [۱۷] ترافیک کانتینرهای بنادر در سه کشور ژاپن، چین و کره را بررسی کردند و اظهار داشتند که تکامل روند کانتینرازسیون در کشورهای مختلف از یک الگوی مشابه پیروی نمی‌کند؛ بلکه کشورها با توجه به شرایط مختلف علمی و فرهنگی و اقتصادی خود، سیاست‌های مختلفی را برای توسعه بنادر خود انتخاب می‌کنند.

پژوهش‌های مختلف رویکردهای گوناگونی برای افزایش کارایی پایانه‌ها و کاهش زمان ترخیص داشته‌اند. واسا و همکاران [۲۳] ابتدا با ارائه یک شمای کلی از مسائل تصمیم‌گیری در مدیریت پایانه‌های کانتینری، شامل تخصیص اسکله، زمانبندی جرثقیل‌ها، استراتژی و سیاست‌های ذخیره‌سازی و عملیات انتقال و برنامه‌ریزی بارگیری کشتی‌ها و سپس از طریق دو مطالعه موردی در شلوغ‌ترین پایانه‌های اروپا<sup>۱</sup> و تمرکز بر اثراتی که عملیات ورود و عملیات بارگیری کشتی‌ها بر محوطه دارند، یک روش جدید برای مدیریت محوطه ارائه کردند.

هیروشیما [۱۰] تحقیقی در مورد برای زمانبندی کانتینرها براساس سفارشات کشتی در پایانه‌های کانتینری انجام داده و در آن، مشکلات حمل و نقل و جابه‌جایی کانتینرها در محوطه ذخیره‌سازی کانتینرها در بنادر را در جهت کاهش زمان توقف کشتی‌ها بررسی کرده است. بزازی و همکاران [۵] یک مسئله تخصیص فضای انبارش را پیشنهاد کردند که هدفش متعادل ساختن حجم کار در بلوک‌ها به منظور کمینه‌سازی زمان ذخیره‌سازی یا بازیابی کانتینرها بود. در تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها، نوع کانتینرها، اعم از معمولی، خالی و فریزری، مؤثر بود. آن‌ها یک الگوریتم ژنتیک کارا را در حل یک مثال با اندازه واقعی برای مدل پیشنهادی به‌کار بردند. توانایی این الگوریتم ژنتیک در تولید سریع و آسان جواب‌های شدنی یکی از مزیت‌های پژوهش آنان بود.

لی و لی [۱۸] رویکرد سه‌مرحله‌ای ابتکاری را برای بهینه‌سازی برنامه کاری یک جرثقیل در بازیابی کانتینرها براساس توالی معین آن‌ها از محوطه ارائه کردند. اهداف مدل پیشنهادی آن‌ها کمینه‌سازی مجموع وزنی تعداد جابه‌جایی کانتینرها و زمان کاری جرثقیل بود. از آنجا که نتایج عددی مدل پیشنهادی آن‌ها نشان می‌داد که روش ابتکاری قادر به حل مثال‌های با بیش از ۷۰۰ کانتینر است و این عدد به دنیای واقعی نزدیک بود، قابلیت کاربرد در صنایع را داشت.

رودریگز مولین و همکاران [۲۱] یک برنامه‌ریزی ابتکاری وابسته به دامنه ارائه کردند که برنامه جابه‌جایی کانتینرها، موقعیت بارانداز و تقاضای کانتینرها را بهینه می‌نمود و در تخصیص بهینه کانتینرها در محوطه به‌گونه‌ای که تعداد جابه‌جایی را کمینه کند و شبیه‌سازی وظایف و تعیین ساختار مناسب محوطه بسیار کارا بود.

1. Antwerp (blegian), Tuaro (Italy)

چن و لو [۶] مدل پیشنهادی خود را به صورت مسئله‌ای دومرحله‌ای ارائه کردند که در مرحله اول تعداد مکان‌های هر محوطه که باید به کانتینرها اختصاص یابند و در مرحله دوم مکان دقیق اختصاص داده شده به هر کانتینر تعیین می‌شود. سپس برای حل مرحله اول برنامه عدد صحیح مختلط و برای حل مرحله دومیک الگوریتم برنامه‌ریزی ترکیبی را به کار بردند.

لی و همکاران [۱۶] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح را برای مسئله تخصیص فضا در یک مرکز بزرگ عملیات انتقال به کشتی<sup>۱</sup> با چندین پایانه در نظر گرفتند که تابع هدف قصد داشت هزینه کل حمل و نقل در داخل پایانه‌ها و بین پایانه‌ها را حداقل کند. آن‌ها برای حل مدل پیشنهادی خود یک الگوریتم دوسطحی ابتکاری را پیشنهاد کردند که نتایج عددی نشان از کارایی این الگوریتم داشت.

یو و کیوی [۲۴] به منظور بهبود کارایی عملیات بازیابی کانتینرها در پایانه کانتینری از طریق تخصیص بهینه فضا به کانتینرها، زمان بازیابی کانتینرها را کمینه‌سازی کردند و از طریق انجام یک شبه عملیات RE-MARSHALING به چینه‌سازی کانتینرها بعد از اینکه تعدادی از کانتینرها طی روز بازیابی شدند بهبود بخشیدند. آن‌ها برای این کار سه مدل بهینه‌سازی تحت استراتژی‌های مختلف ذخیره‌سازی را ارائه کردند و برای حل مدل‌های پیشنهادی خود، روش حل بهینه را به کار بردند. همچنین، عنوان کردند که عملیات RE-MARSHALING با محدودیت زمانی مشخص NP-HARD است؛ در نتیجه یک الگوریتم ابتکاری را برای حل مدل‌های پیشنهادی گسترش دادند و سپس برای اعتباربخشی به مدل‌ها و روش حل، از شبیه‌سازی استفاده نمودند.

شریف و هیونای [۲۲] پایانه کانتینری را به عنوان شبکه‌ای از درب‌های ورودی، بلوک‌های محوطه و اسکله‌ها در نظر گرفتند. مدل پیشنهادی آن‌ها دو هدف عمده «تبادل حجم کار بین بلوک‌های محوطه» و «به حداقل رساندن فاصله پیموده شده توسط کامیون‌ها از بلوک‌های محوطه تا اسکله» را داشت. آن‌ها برای حل مدل پیشنهادی خود از روشی مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان بهره بردند. نتایج عددی نشان داد که این روش در جهت برآوردن اهداف مدل پیشنهادی آن‌ها مؤثر بوده است.

لالا رویز و همکاران [۱۵] مسئله تخصیص اسکله‌های تاکتیکی<sup>۲</sup> را در نظر گرفتند که کشتی‌ها را به اسکله‌ها و جرثقیل‌ها را به کشتی‌ها اختصاص می‌دهد. هدف آن‌ها کمینه‌سازی هزینه‌های جریان انتقال کانتینرها به کشتی‌ها و بیشینه‌سازی ارزش کل جرثقیل‌های اختصاص داده شده به کشتی‌ها بود. آن‌ها یک الگوریتم ژنتیک تصادفی را برای حل مدل ارائه کردند که الگوریتمی کارا برای حل مسئله مشکل و اساسی پایانه‌های کانتینری بود.

1. Transshipment  
2. TBAP

ژانگ و همکاران [۲۷] مدل‌های پیشنهادی خود را به‌عنوان بهبود مدل‌های پیشنهادی کیم و همکاران [۱۴] و ژانگ و همکاران [۲۶] ارائه کردند. توجه آن‌ها این بود که مدل اصلی خوش‌بینانه است و ارتفاع بارانداز، مقادیر درحال تغییر و بسیاری از اطلاعات درمورد وضعیت یک بارانداز مفروض را در نظر نگرفته است؛ بنابراین، دو مدل محافظه‌کارانه را با لحاظ کردن پارامتر جریمه و در نظر گرفتن وضعیت بارانداز ارائه کردند. آن‌ها سپس جواب‌های مدل خوش‌بینانه و دو مدل محافظه‌کارانه را با هم مقایسه کردند. مثال‌های عددی نشان دادند که دو مدل محافظه‌کارانه از لحاظ شاخص عملکرد بهتر هستند. آن‌ها همچنین برای حل مشکل محاسبات برنامه پویا با مقیاس بزرگ، یک الگوریتم برنامه‌ریزی پویای تقریبی را ارائه کردند.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

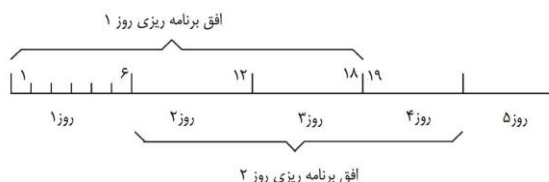
این پژوهش یک مدل ریاضی چندهدفه را توسعه می‌دهد که تلاش می‌کند اختصاص فضای به کالاهای گمرکی را بهینه کند؛ به اینصورت که تابع هدف اولیه حجم کار در بلوک‌های ذخیره‌سازی را متعادل می‌کند، تابع هدف دوم با هزینه‌های زمانی تأخیراتباط دارد و تابع هدف سوم فاصله پیموده‌شده توسط کامیون‌ها برای بازیابی یا بارگیری کانتینرها را کمینه می‌کند. به دلیل غیرخطی بودن مدل پیشنهادی، ابتدا تابع هدف ۱ خطی‌سازی شده و پس از قطعی‌سازی با روش خیمنز، برای حل چندهدفه مدل از روش ال پی متریک استفاده شده است. سپس برای نمایش کارایی مدل، یک مثال عددی با استفاده از روش‌های دقیق و آزادسازی لاگرانژ حل شد و نتایج مقایسه شدند. همه محاسبات با استفاده از نرم‌افزار 24.1.3GAMS انجام شدند.

**تعریف مسئله.** در حال حاضر، سیستم ذخیره‌سازی در پایانه‌ها مبتنی بر ساختار last in-first out است که کالاها به ترتیب ورود ذخیره‌سازی می‌شوند؛ اما خروج و ترخیص آن‌ها از این قاعده پیروی نمی‌کند. آنچه در پایانه‌های گمرکی مهم است، اطمینان از در دسترس بودن کالاها در موعد تحویل آن‌ها است. به این منظور، اختصاص مکان‌ها به کالاها باید سازماندهی شود.

ژانگ و همکاران [۲۵] با اظهار اینکه یک پایانه کانتینری ساعات مشخصی را در روز کار طی می‌کند، یک افق برنامه‌ریزی ثابت را در نظر گرفتند. در ابتدای هر بخش از افق برنامه‌ریزی، برنامه‌ریزی برای آینده نزدیک انجام شد و در ابتدای هر روز، با توجه به آخرین اطلاعات برنامه‌ریزی به‌روزرسانی می‌شد.

با توجه به آمارهای اعلام‌شده، متوسط ترخیص کالا در پایانه شهید رجایی، به‌عنوان اصلی‌ترین پایانه کانتینری کشور ایران، در سال ۱۳۸۵ برابر با ۲۵ روز بوده است که این عدد در

سال ۱۳۸۸ به ۳۱ روز رسید [۱]. درمقابل، این عدد در بنادر لس‌آنجلس، رتردام، هنگ‌کنگ و سنگاپور، به‌عنوان برخی از بنادر مهم جهان، به‌ترتیب ۳، ۴ و ۲ روز است [۱۱].  
به این ترتیب، افق برنامه‌ریزی در این پژوهش شامل ۳ روز است و هر روز شامل ۶ ساعت کاری است:



شکل ۱. افق برنامه‌ریزی برای انجام عملیات ترخیص در پایانه

### مفروضات

۱. پایانه مورد نظر شامل تعدادی اسکله است که همه کانتینرها از طریق آن‌ها به کشتی‌ها بارگیری و یا از آن‌ها تخلیه می‌شوند؛
۲. تسهیلات کافی (جرثقیل، کامیون و ...) برای حمل و جابه‌جایی کالاها در پایانه مورد نظر موجود است؛
۳. برای نزدیک شدن مدل به دنیای واقعی، عدم قطعیت در مدل به‌صورت فازی در نظر گرفته شده است.

**مدل ریاضی.** در این بخش، مدل ریاضی مسئله ارائه شده است. پارامترها و متغیرهای تصمیم به‌صورت زیر بیان می‌شوند:

### پارامترها

$B$ : تعداد کل بلوک‌ها در محوطه

$T$ : تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی در یک افق برنامه‌ریزی  $T=18$

$\tilde{C}_t$ : هزینه نگهداری کالا در دوره  $t_1 \leq t \leq T$

$\tilde{C}ap_i$ : ظرفیت ذخیره‌سازی بلوک  $i_1 \leq i \leq B$

$V_i^0$ : موجودی اولیه بلوک  $i_1 \leq i \leq B$

$Tr_{it}^0$ : تعداد اولیه کانتینرهای ترانزیتی انبارشده در بلوک  $i$  در دوره  $t$

$E_{it}^0$ : تعداد اولیه کانتینرهای صادراتی انبارشده در بلوک  $i$  در دوره  $t$

$I_{it}^0$ : تعداد اولیه کانتینرهای وارداتی انبارشده در بلوک  $i$  در دوره  $t$

$\overline{Tr}_{tk}$ : تعداد کانتینرهای ترانزیتی که در دوره  $t$ ، به پایانه رسیده‌اند، از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و باید در دوره  $t + k$  به کشتی‌های دیگر بارگیری شوند.

$\tilde{E}_{tk}$ : تعداد کانتینرهای صادراتی که در دوره  $t$ ، مشتریان به پایانه آورده‌اند و باید در دوره  $t + k$  به کشتی‌ها بارگیری شوند.

$\tilde{I}_{tk}$ : تعداد کانتینرهای وارداتی که در دوره  $t$ ، به پایانه آورده شده‌اند، از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و باید در دوره  $t + k$  توسط مشتریان ترخیص شوند.

$$0 \leq K \leq T-t \text{ و } 1 \leq t \leq T$$

$Tr_{it}^B$ : تعداد کانتینرهای ترانزیتی که در دوره  $t$ ، به پایانه رسیده‌اند، از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و باید در زمان نامشخص یا بعد از افق برنامه‌ریزی، به کشتی‌های دیگر حمل شوند.

$E_{it}^B$ : تعداد کانتینرهای صادراتی که در دوره  $t$ ، مشتریان به پایانه آورده‌اند و باید در زمان نامشخص یا بعد از افق برنامه‌ریزی، به کشتی‌ها حمل شوند.

$I_{it}^B$ : تعداد کانتینرهای وارداتی که در دوره  $t$ ، به پایانه رسیده‌اند، از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و باید در زمان نامشخص یا بعد از افق برنامه‌ریزی، توسط مشتریان ترخیص شوند.

$$1 \leq i \leq B \text{ و } 1 \leq t \leq T$$

$T_i^{Tr 0}$ : زمانی که کانتینرهای ترانزیتی به پایانه می‌رسند و از کشتی‌ها تخلیه می‌شوند.

$T_i^E 0$ : زمانی که کانتینرهای صادراتی توسط مشتریان به پایانه آورده می‌شود.

$T_i^I 0$ : زمانی که کانتینرهای وارداتی به پایانه می‌رسند و از کشتی‌ها تخلیه می‌شوند.

$$1 \leq i \leq B$$

$T_{it}^{Tr}$ : مدت‌زمان بارگیری کانتینرهای ترانزیتی که در دوره  $t$  به پایانه حمل شده و در بلوک  $i$  انبار شده‌اند.

$T_{it}^E$ : مدت‌زمان بارگیری کانتینرهای صادراتی که در دوره  $t$  به پایانه حمل شده و در بلوک  $i$  انبار شده‌اند.

$T_{it}^I$ : مدت‌زمان ترخیص کانتینرهای وارداتی که در دوره  $t$  به پایانه آمده و در بلوک  $i$  انبار شده‌اند.

$$1 \leq i \leq B \text{ و } 1 \leq t \leq T$$

$\tilde{d}_{ij}$ : مسافت بلوک  $i$  تا اسکله  $j$  و  $1 \leq j \leq J$  و  $1 \leq i \leq B$

### متغیرها

$Tr_{tk}$ : تعداد کانتینرهای ترانزیتی انبارشده در بلوک  $i$  با اطلاعات کامل، شامل اینکه در دوره  $t$  به پایانه رسیده و از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و در دوره  $t + k$  به کشتی‌های دیگر بارگیری می‌شوند.

$$0 \leq k \leq T-t, 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq B$$

$Tr_{it}^P$ : تعداد کانتینرهای ترانزیتی ذخیره‌شده در بلوک  $i$  با اطلاعات نسبی، شامل اینکه در دوره  $t$  به پایانه رسیده و از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند.

$$1 \leq i \leq B \text{ و } 1 \leq t \leq T$$

$E_{itk}$ : تعداد کانتینرهای صادراتی ذخیره‌شده در بلوک  $i$  با اطلاعات کامل، شامل اینکه در دوره  $t$  به پایانه رسیده و باید در دوره  $t+k$  به کشتی‌ها بارگیری شوند.

$$1 \leq i \leq B, 1 \leq t \leq T \text{ و } 0 \leq k \leq T-t$$

$E_{it}^P$ : تعداد کانتینرهای صادراتی ذخیره‌شده در بلوک  $i$  با اطلاعات نسبی شامل اینکه در دوره  $t$  به پایانه آورده شده‌اند.  $1 \leq i \leq B$  و  $1 \leq t \leq T$ .

$$1 \leq i \leq B \text{ و } 1 \leq t \leq T$$

$I_{itk}$ : تعداد کانتینرهای وارداتی ذخیره‌شده در بلوک  $i$  با اطلاعات کامل، شامل اینکه در دوره  $t$  به پایانه رسیده و از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و باید در دوره  $t+k$  توسط مشتریان ترخیص شوند.

$$1 \leq i \leq B, 1 \leq t \leq T \text{ و } 0 \leq k \leq T-t$$

$I_{it}^P$ : تعداد کانتینرهای وارداتی ذخیره‌شده در بلوک  $i$  با اطلاعات نسبی، شامل اینکه در دوره  $t$  به پایانه رسیده و از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند.

$Tr_{it}$ : تعداد کانتینرهای ترانزیتی که در دوره  $t$  به کشتی‌ها بارگیری می‌شوند.

$E_{it}$ : تعداد کانتینرهای صادراتی که در دوره  $t$  به کشتی‌ها بارگیری می‌شوند.

$I_{it}$ : تعداد کانتینرهای وارداتی که در دوره  $t$  توسط مشتریان ترخیص می‌شوند.

$V_{it}$ : موجودی بلوک  $i$  در پایان دوره

$W_{it}$ : حجم کاری بلوک  $i$  در دوره

$$1 \leq i \leq B \text{ و } 1 \leq t \leq T$$

$$U_{it}^{Tr} = \begin{cases} 1 & \text{If } T_{it}^{Tr} + T_{it}^{Tr0} \geq 18 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

نشان‌دهنده تأخیر در حمل و بارگیری کانتینرهای ترانزیتی است؛ به این صورت که اگر زمان آن بیش از افق برنامه‌ریزی  $T=18$  طول بکشد، دارای تأخیر است.

$$1 \leq i \leq B \text{ و } 1 \leq t \leq T$$

$$U_{it}^E = \begin{cases} 1 & \text{If } T_{it}^E + T_{it}^{E0} \geq 18 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

نشان‌دهنده تأخیر در حمل و بارگیری کانتینرهای صادراتی است؛ به این صورت که اگر زمان



آن بیش از افق برنامه‌ریزی  $T=18$  طول بکشد، دارای تأخیر است.  
 $1 \leq i \leq B$  و  $1 \leq t \leq T$

$$U_{it}^I = \begin{cases} 1 & \text{If } T_{it}^I + T_{it}^{I0} \geq 18 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

نشان‌دهنده تأخیر در ترخیص کانتینرهای وارداتی است؛ به این صورت که اگر زمان آن بیش از افق برنامه‌ریزی  $T=18$  طول بکشد، دارای تأخیر است.  
 $1 \leq i \leq B$  و  $1 \leq t \leq T$

**توابع هدف و محدودیت‌ها**

$$MINZ_1 = \sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T [\max W_{it} - \min W_{it}] \tag{۱}$$

$$MINZ_2 = \sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T \tilde{C}_t [U_{it}^I \tilde{T}_{it}^I + U_{it}^E \tilde{T}_{it}^E + U_{it}^{Tr} \tilde{T}_{it}^{Tr}] \tag{۲}$$

$$MINZ_4 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T W_{it} \tilde{d}_{ij} \tag{۳}$$

$$W_{it} = \sum_{i=1}^B Tr_{it}^P + E_{it}^P + I_{it}^P \quad t = 1, 2, \dots, T \tag{۴}$$

$$\tilde{I}_{tk} = \sum_{i=1}^B I_{itk} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad K = 0, 1, \dots, T - t \tag{۵}$$

$$\tilde{E}_{tk} = \sum_{i=1}^B E_{itk} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad K = 0, 1, \dots, T - t \tag{۶}$$

$$\tilde{Tr}_{tk} = \sum_{i=1}^B Tr_{itk} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad K = 0, 1, \dots, T - t \tag{۷}$$

$$I_{it}^P = I_{it}^B + \sum_{k=0}^{T-t} I_{itk} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad i = 1, 2, \dots, B \quad (۸)$$

$$E_{it}^P = E_{it}^B + \sum_{k=0}^{T-t} E_{itk} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad i = 1, 2, \dots, B \quad (۹)$$

$$Tr_{it}^P = Tr_{it}^B + \sum_{k=0}^{T-t} Tr_{itk} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad i = 1, 2, \dots, B \quad (۱۰)$$

$$Tr_{it} + E_{it} = Tr_{it}^0 + E_{it}^0 + \sum_{k=0}^{T-t} (Tr_{i(t-k)k} + E_{i(t-k)k}) \quad (۱۱)$$

$$t = 1, 2, \dots, T \quad i = 1, 2, \dots, B$$

$$I_{it} = I_{it}^0 + \sum_{k=0}^{T-t} I_{i(t-k)k} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad i = 1, 2, \dots, B \quad (۱۲)$$

$$V_{it} = V_{i(t-1)} + (Tr_{it}^P + E_{it}^P + I_{it}^P) - (Tr_{it} + E_{it} + I_{it}) \quad (۱۳)$$

$$V_{it} \leq \beta \widetilde{Cap}_i \quad (۱۴)$$

کلیه متغیرها به‌جز  $U_i^{Tr}, U_i^E, U_i^I$  اعداد صحیح غیر منفی هستند

$$U_i^{Tr}, U_i^E, U_i^I \in 0, 1 \quad (۱۵)$$

تابع هدف رابطه ۱ تلاش می‌کند با متعادل‌سازی حجم کاری در بلوک‌های ذخیره‌سازی، زمان بازیابی کانتینرها را کاهش دهد. تابع هدف رابطه ۲ به کمینه‌سازی هزینه تأخیرها برای مدیریت کانتینرها (بارگیری در کشتی‌ها یا ترخیص توسط مشتریان) می‌پردازد. تابع هدف رابطه ۳ با حداقل‌سازی مسافت طی‌شده کانتینرها تا اسکله‌ها زمان مورد نیاز برای ذخیره‌سازی یا بازیابی کانتینرها را کمینه می‌کند. محدودیت رابطه ۴ نشان‌دهنده حجم کاری در بلوک‌های ذخیره‌سازی است که شامل کانتینرهای ترانزیتی، صادراتی و وارداتی اختصاص یافته به این بلوک‌ها است که باید مدیریت (ترخیص یا بارگیری) شوند. محدودیت رابطه ۵ بیانگر این مطلب است که تعداد مورد انتظار کانتینرهای وارداتی با اطلاعات کامل،  $\bar{I}_{tk}$ ، برابر جمع این نوع کانتینرهای تخصیص داده‌شده به بلوک‌ها است. محدودیت‌های روابط ۶ و ۷ همین معنا را در مورد

کانتینرهای صادراتی و ترانزیتی دارند. محدودیت رابطه ۸ نشان دهنده کل تعداد کانتینرهای وارداتی تخصیص داده شده به بلوک ۱ در دوره  $t$  است. محدودیت‌های روابط ۹ و ۱۰ معنای مشابهی در مورد کانتینرهای صادراتی و ترانزیتی دارند. محدودیت رابطه ۱۱ نشان دهنده کانتینرهایی است که در دوره  $t$  باید به کشتی‌ها حمل شوند. محدودیت رابطه ۱۲ نشان دهنده کلیه کانتینرهایی است که در دوره  $t$  باید توسط مشتریان ترخیص شوند. محدودیت رابطه ۱۳ نشان دهنده موجودی هر بلوک در پایان دوره است. محدودیت رابطه ۱۴ نشان می‌دهد که موجودی هر بلوک در هر افق برنامه‌ریزی نباید بیشتر از تراکم ظرفیت بلوک باشد. محدودیت رابطه ۱۵ پارامترهای مثبت عدد صحیح و باینری مدل را نمایش می‌دهد.

**روش حل.** در این قسمت، ابتدا تابع هدف رابطه ۱ خطی شده و روش خیمز برای قطعی‌سازی و روش ال پی متریک برای حل مدل چندهدفه استفاده شده‌اند. سپس یک مثال عددی با استفاده از روش‌های آزادسازی لاگرانژ و دقیق حل شده است. در ادامه، مراحل ذکر شده به تفصیل بیان شده‌اند.

**خطی‌سازی.** تابع هدف ۱ به وضوح غیرخطی است و به صورت زیر خطی‌سازی می‌شود:

$$R = \max W_{it} \quad Q = \min W_{it} \quad (16)$$

$$\text{MIN} Z_1 = [R - Q] \quad (17)$$

$$\max W_{it} \leq R \quad (18)$$

$$\min W_{it} \geq Q \quad (19)$$

**روش خیمز برای تبدیل مدل غیرقطعی به مدل قطعی.** برای حل مدل چندهدفه فازی پیشنهادی، از روش خیمز برای تبدیل مدل غیرقطعی به مدل قطعی استفاده شده است [۱۲]. اگر فرض شود که  $\tilde{h}$  یک عدد فازی مثلثی است که  $h^u$ ،  $h^m$  و  $h^o$  سه نقطه به ترتیب محتمل، بدبینانه و خوشبینانه هستند، دو رابطه زیر فاصله مورد انتظار و امید ریاضی عدد مثلثی  $\tilde{h}$  به شمار می‌روند.

$$EI(\tilde{h}) = [E_1^h, E_2^h] = \left[ \frac{1}{2}(h^u + h^m), \frac{1}{2}(h^m + h^o) \right] \quad (20)$$

$$EV(\tilde{h}) = \frac{E_1^h + E_2^h}{2} = \frac{h^u + 2h^m + h^o}{4} \quad (21)$$

اگر مدل برنامه‌ریزی فازی با پارامترهای فازی مثلثی به صورت زیر نمایش داده شود:

$$\text{Min } \tilde{h}X \quad (22)$$

$$\text{St: } \tilde{a}_i X \geq \tilde{b}_i, \forall i \quad (23)$$

$$\tilde{a}_i X = \tilde{b}_i, \forall i \quad (24)$$

طبق روش خیمنز و مطالعه پیشوایی و ترابی، مدل بالا را می‌توان به صورت مدل پایین نوشت [۱۹].  $\alpha$  مینیمم درجه قابل قبول پذیرش است که توسط فرد تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود؛ در نتیجه به کمک تعاریف، فاصله مورد نیاز و امید ریاضی اعداد فازی مثلثی، مدل قطعی با پارامتر  $\alpha$  به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\text{Min } EV(\tilde{h})X \quad (25)$$

$$\text{st: } [(1 - \alpha)E_2^{a_1} + \alpha E_1^{a_1}]X \geq \alpha E_2^{b_1} + (1 - \alpha)E_1^{b_1} \quad (26)$$

$$\left[ \left( \frac{\alpha}{2} \right) E_2^{a_1} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) E_1^{a_1} \right] X \leq \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) E_2^{b_1} + \left( \frac{\alpha}{2} \right) E_1^{b_1} \quad (27)$$

$$\left[ \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) E_2^{a_1} + \left( \frac{\alpha}{2} \right) E_1^{a_1} \right] X \geq \left( \frac{\alpha}{2} \right) E_2^{b_1} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) E_1^{b_1} \quad (28)$$

قسمت‌های غیرقطعی تابع هدف روابط ۲ و ۳ و محدودیت‌های روابط ۵، ۶، ۷ و ۱۴ را می‌توان به صورت زیر قطعی کرد. در اینجا، فقط تبدیل قسمت‌های غیرقطعی به قطعی آمده است.

$$\begin{aligned} & \text{MIN}Z_2 \\ & = \sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T \left( \frac{C_t^u + 2C_t^m + C_t^o}{4} \right) \left[ U_{it}^I \left( \frac{T_{it}^{Iu} + 2T_{it}^{Im} + T_{it}^{Io}}{4} \right) \right. \\ & \left. + U_{it}^E \left( \frac{T_{it}^{Eu} + 2T_{it}^{Em} + T_{it}^{Eo}}{4} \right) + U_{it}^{Tr} \left( \frac{T_{it}^{Tru} + 2T_{it}^{Trm} + T_{it}^{Tro}}{4} \right) \right] \end{aligned} \quad (29)$$

$$\text{MIN}Z_4 = \sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T W_{it} \left( \frac{d_i^u + 2d_i^m + d_i^o}{4} \right) \quad (30)$$

$$\left( \left( \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{I_{tk}^u + I_{tk}^m}{2} \right) + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{I_{tk}^m + I_{tk}^o}{2} \right) \right) \leq \sum_{i=1}^B I_{itk} \quad (31)$$

$$t = 1, 2, \dots, T \quad K = 0, 1, \dots, T - t$$

$$\left( \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{I_{tk}^u + I_{tk}^m}{2} \right) + \left( \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{I_{tk}^m + I_{tk}^o}{2} \right) \right) \geq \sum_{i=1}^B I_{itk} \quad (32)$$

$$t = 1, 2, \dots, T \quad K = 0, 1, \dots, T - t$$

$$\left( \left( \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{E_{tk}^u + E_{tk}^m}{2} \right) + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{E_{tk}^m + E_{tk}^o}{2} \right) \right) \leq \sum_{i=1}^B E_{itk} \quad (33)$$

$$t = 1, 2, \dots, T \quad K = 0, 1, \dots, T - t$$

$$\left( \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{E_{tk}^u + E_{tk}^m}{2} \right) + \left( \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{E_{tk}^m + E_{tk}^o}{2} \right) \right) \geq \sum_{i=1}^B E_{itk} \quad (34)$$

$$\left( \left( \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{Tr_{tk}^u + Tr_{tk}^m}{2} \right) + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{Tr_{tk}^m + Tr_{tk}^o}{2} \right) \right) \leq \sum_{i=1}^B Tr_{itk} \quad (35)$$

$$t = 1, 2, \dots, T \quad K = 0, 1, \dots, T - t$$

$$\left( \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{Tr_{tk}^u + Tr_{tk}^m}{2} \right) + \left( \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{Tr_{tk}^m + Tr_{tk}^o}{2} \right) \right) \geq \sum_{i=1}^B Tr_{itk} \quad (36)$$

$$t = 1, 2, \dots, T \quad K = 0, 1, \dots, T - t$$

$$V_{it} \leq \beta \left( \alpha \left( \frac{Cap_i^o + Cap_i^m}{2} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{Cap_i^m + Cap_i^u}{2} \right) \right) \quad (37)$$

**روش بهینه‌سازی چندهدفی.** درمیان روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه، روش برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی کامپرامیس و روش رفرنس پوینت متداول‌تر هستند [۲۰]. در این مقاله، روش بهینه‌سازی چندهدفه با توجه به دو مورد زیر انتخاب شده است:

۱. نظرات کارشناسان و خبرگان موضوع به این صورت بود که توابع هدف به یک اندازه اهمیت دارند؛

۲. توابع هدف دارای اندازه‌های متفاوت هستند.

به این دلی که توابع هدف همجنس و هم‌اندازه نیستند، از روش ال پی متریک استفاده

می‌شود [۷]؛ لذا داریم:

با توجه به اینکه  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  مینم‌سازی است:

$$MIN Z_{total}^* = \lambda_1 Z_1^{norm} + \lambda_2 Z_2^{norm} + \lambda_3 Z_3^{norm} \quad (38)$$

در این روش، مقدار نرمال شده  $Z_1, Z_2, Z_3$  طبق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$Z_i^{norm} = \frac{Z_i - Z_i^{min}}{Z_i^{max} - Z_i^{min}} \quad (39)$$

**روش آزادسازی لاگرانژ.** یکی از ایده‌های مناسب محاسباتی در دهه ۱۹۷۰، مشاهده مسائل بسیار سختی است که می‌توان با مجموعه کوچکی از محدودیت‌های مرتبط آن‌ها را به صورت مسائل آسانی دید. تاریخچه روش لاگرانژ به سال ۱۹۷۰ برمی‌گردد که در آن سال، هلد و کارپ (۱۹۷۰ و ۱۹۷۱) از یک مسئله لاگرانژ برپایه مسئله حداقل درخت پوشا<sup>۱</sup> به منظور طراحی یک الگوریتم بسیار موفق برای مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده کردند. روش‌های لاگرانژ موفق هلد و کارپ باعث ایجاد انگیزه در میان محققان شد و فیشر در اوایل دهه ۱۹۷۰، آن‌ها را در مسائل زمان‌بندی و مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح عمومی به کار برد. روش لاگرانژ در آن سال‌ها ارزش قابل توجهی به دست آورده بود تا اینکه جفریون در سال ۱۹۷۴، نام مناسب رویکرد آزادسازی لاگرانژ را بر این روش نهاد. از آن به بعد، فهرست کاربردهای آزادسازی لاگرانژ باعث رشد بسیاری از مسائل بهینه‌سازی ترکیبی شد. برای بسیاری از این مسائل، آزادسازی لاگرانژ بهترین الگوریتم موجود برای حل است و می‌تواند این مسائل را در اندازه‌های واقعی حل کند [۸].

**حل مسئله به روش آزادسازی لاگرانژ.** برای به دست آوردن حد پایین، بهترین حالت این است که محدودیت ۱۱ با ضرایب لاگرانژ در داخل تابع هدف قرار گیرد و از داخل محدودیت‌های مسئله حذف شود. با توجه به اینکه تابع هدف کل به صورت بی‌واحد است، این محدودیت هم به صورت بی‌واحد در تابع هدف با ضریب  $\lambda_4^2$  در رابطه ۳۸ افزوده و تابع هدف کل به صورت رابطه ۴۰ نوشته می‌شود:

با توجه به اینکه  $Z_1, Z_2, Z_3$  مینم‌سازی است، داریم:

$$MINZ_{total}^* = \lambda_1 Z_1^{norm} + \lambda_2 Z_2^{norm} + \lambda_3 Z_3^{norm} + \lambda_4 (Constraint^{norm}) \quad (40)$$

سایر محدودیت‌ها به جز محدودیت ۱۱ که به تابع هدف اضافه شدند، مانند مدل قبل هستند. حال از حل این مدل متغیر تصمیم به دست می‌آید. برای به دست آوردن حد بالا، این متغیر را در محدودیت‌های مربوط جایگذاری کرده و مدل جدیدی با همان تابع هدف و محدودیت‌های قبلی و محدودیت‌های تغییر یافته حل می‌شود.

**مثال عددی.** در این بخش، مثال عددی متناسب با مدل پیشنهادی ارائه شده است تا درستی مدل بررسی شود. مثال عددی پیشنهاد شده شامل یک محوطه انبارش و سه اسکله است؛ اما تعداد دوره‌ها ( $t$ ) و تعداد بلوک‌های (B) ذخیره‌سازی تغییر می‌کند. ظرفیت ذخیره‌سازی بلوک  $i$ ،  $Cap_i$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۸۵۰ ۶۰۰] است. هزینه نگهداری در دوره  $t$ ،  $\bar{C}_t$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۹۲۰۰ ۷۸۰۰] است. موجودی اولیه بلوک  $i$ ،  $V_i^0$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۰ ۶۰] است. تعداد اولیه کانتینرهای ترانزیتی ذخیره شده در بلوک  $i$  در دوره  $t$ ،  $Tr_{it}^0$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۰ ۶۰] است. تعداد اولیه کانتینرهای صادراتی ذخیره شده در بلوک  $i$  در دوره  $t$ ،  $E_{it}^0$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۰ ۶۰] است. تعداد اولیه کانتینرهای صادراتی ذخیره شده در بلوک  $i$  در دوره  $t$ ،  $I_{it}^0$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۰ ۶۰] است. تعداد کانتینرهای ترانزیتی که در دوره  $t$  به پایانه رسیده‌اند و از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و باید در دوره  $t+k$  به کشتی‌های دیگر بارگیری شوند،  $\bar{Tr}_{tk}$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۳۰ ۹۰] است. تعداد کانتینرهای صادراتی که در دوره  $t$  توسط مشتریان به پایانه آورده شده و باید در دوره  $t+k$  به کشتی‌ها بارگیری شوند،  $\bar{E}_{tk}$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۳۰ ۹۰] است. تعداد کانتینرهای وارداتی که در دوره  $t$  به پایانه آورده شده و از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و باید در دوره  $t+k$  توسط مشتریان ترخیص شوند،  $\bar{I}_{tk}$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۳۰ ۹۰] است. تعداد کانتینرهای ترانزیتی که در دوره  $t$  به پایانه رسیده و از کشتی‌ها تخلیه شده و باید در زمان نامشخص یا بعد از افق برنامه‌ریزی به کشتی‌های دیگر حمل شوند،  $Tr_{it}^B$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۲۰ ۳۰] است. تعداد کانتینرهای صادراتی که در دوره  $t$  توسط مشتریان به پایانه آورده شده و باید در زمان نامشخص یا بعد از افق برنامه‌ریزی به کشتی‌ها حمل شوند،  $E_{it}^B$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۳۰ ۲۰] است. تعداد کانتینرهای وارداتی که در دوره  $t$  به پایانه رسیده و از کشتی‌ها تخلیه شده‌اند و باید در زمان نامشخص یا بعد از افق برنامه‌ریزی توسط مشتریان ترخیص شوند،  $I_{it}^B$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۲۰ ۳۰] است. زمانی که کانتینرهای ترانزیتی به پایانه می‌رسند و

از کشتی‌ها تخیله می‌شوند،  $T_i^{Tr 0}$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۱ ۱۷] است. زمانی که کانتینرهای صادراتی توسط مشتریان به پایانه آورده می‌شوند،  $T_i^E 0$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۱ ۱۷] است. زمانی که کانتینرهای وارداتی به پایانه می‌رسند و از کشتی‌ها تخیله می‌شوند،  $T_i^I 0$ ، توزیع یکنواخت گسسته بین [۱ ۱۷] است. مدت‌زمان طول کشیدن بارگیری کانتینرهای ترانزیتی که در دوره  $t$  به پایانه حمل و در بلوک  $i$  انبار شده‌اند به کشتی‌های دیگر،  $T_{it}^{Tr}$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۱ ۱۰] است. مدت‌زمان طول کشیدن بارگیری کانتینرهای صادراتی که در دوره  $t$  به پایانه حمل و در بلوک  $i$  انبار شده‌اند به کشتی‌ها،  $T_{it}^E$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۱ ۱۰] است. مدت‌زمان طول کشیدن ترخیص کانتینرهای وارداتی که در دوره  $t$  به پایانه آورده و در بلوک  $i$  انبار شده‌اند،  $T_{it}^I$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۱ ۱۰] است. مسافت بلوک  $i$  تا اسکله  $j$ ،  $\bar{d}_{ij}$ ، دارای توزیع یکنواخت گسسته بین [۱۰۰ ۲۵۰] است.

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

با توجه به اطلاعات بالا در سه دوره مختلف ۶، ۳ و ۹ روزه و تعداد کل بلوک‌ها در محوطه ۱۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ و به‌ازای مینیمم درجه پذیرش ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹، نتایج محاسباتی به‌صورت جدول‌های ۱، ۲ و ۳ است.

همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، افزایش تعداد دوره‌ها موجب افزایش مقدار تابع هدف کل می‌شود؛ زیرا هر قدر وسعت برنامه‌ریزی بیشتر شود، زمان و هزینه بیشتری صرف می‌شود. تأثیر افزایش دوره در هر یک از توابع هدف ۱، ۲ و ۳ را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد. با افزایش تعداد دوره، مجموع حجم کاری بیشتر خواهد شد؛ بنابراین، افزایش تابع هدف اول را در پی خواهد داشت. از طرفی، با افزایش تعداد دوره که موجب افزایش حجم کاری می‌شود، احتمال به‌وجود آمدن تأخیر نیز بیشتر می‌شود؛ بنابراین، تابع هدف دوم و همچنین تابع هدف سوم افزایش می‌یابد. به این ترتیب، طبیعی است که افزایش تعداد دوره موجب افزایش تابع هدف کل شود.



جدول ۱. جواب‌های به‌دست‌آمده در حالت مینیمم درجه پذیرش ۰/۵

زمان (دقیقه)	میزان انحراف مقدار تابع هدف بین روش		تابع هدف		فاصله با جواب بهینه (GAP)	تکرار	دوره
	CPLEX	لاگرانژ و CPLEX	لاگرانژ	CPLEX			
۸۱/۹۰	۱۸۶/۹۱	-۰/۸۸٪	-۰/۲۳۶۷	-۰/۲۳۴۶		۱۰۰	۵۰
۸۴/۰۳	۲۰۳/۶۴	-۰/٪۸۹	-۰/۲۲۲۵	-۰/۲۲۰۵		۱۵۰	۵۰
۹۱/۴۵	۲۴۱/۱۷	-۰/٪۹۲	-۰/۲۱۷۸	-۰/۲۱۵۸		۲۰۰	۵۰
۱۰۶/۳۳	۴۶۷/۳۲	۱/٪۸	-۰/۳۹۶۴	-۰/۳۸۹۲		۱۰۰	۷۵
۱۰۹/۳۱	۴۸۸/۱۱	۲/٪۱	-۰/۳۸۸۶	-۰/۳۸۰۳	-۰/٪۲	۱۵۰	۷۵
۱۱۱/۹۲	۵۱۳/۶۳	۲/٪۲	-۰/۳۸۵۱	-۰/۳۷۶۷		۲۰۰	۷۵
۱۳۵/۴۵	۵۶۷/۸۹	۳/٪۶	-۰/۶۱۳۲	-۰/۵۹۰۹		۱۰۰	۱۰۰
۱۳۷/۸۳	۵۸۸/۴۶	۳/٪۸	-۰/۶۰۷۵	-۰/۵۸۴۳		۱۵۰	۱۰۰
۱۴۰/۴۱	۶۱۷/۴۲	۳/٪۹	-۰/۶۰۴۹	-۰/۵۸۱۱		۲۰۰	۱۰۰

از طرفی، افزایش تعداد بلوک‌ها، همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، کاهش جزئی در تابع هدف کل را در پی خواهد داشت؛ اما تأثیر افزایش تعداد بلوک‌ها در هر یک از توابع هدف ۱، ۲ و ۳ را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد. با افزایش بلوک‌ها به‌دلیل افزایش فضای تابع هدف اول افزایش می‌یابد؛ اما تابع هدف دوم به‌دلیل کاهش تعداد تأخیرها و همچنین تابع هدف سوم کاهش می‌یابد. به این ترتیب، در مجموع تابع هدف کل کاهش می‌یابد.

جدول ۲. جواب‌های به‌دست‌آمده در حالت مینیمم درجه پذیرش ۰/۷

زمان (دقیقه)	میزان انحراف مقدار تابع هدف بین روش		تابع هدف		فاصله با جواب بهینه (GAP)	تکرار	دوره
	CPLEX	لاگرانژ و CPLEX	لاگرانژ	CPLEX			
۷۸/۹۷	۱۸۷/۰۳	-۰/٪۹	-۰/۲۹۹۲	-۰/۲۹۶۵		۱۰۰	۵۰
۸۲/۲۰	۲۰۴/۳۴	-۰/٪۹۱	-۰/۲۸۶۷	-۰/۲۸۴۱		۱۵۰	۵۰
۸۴/۱۳	۲۴۱/۸۷	-۰/٪۹۴	-۰/۲۷۷۹	-۰/۲۷۵۳		۲۰۰	۵۰
۱۰۶/۹۱	۴۶۷/۸۴	۱/٪۷	-۰/۴۵۹۴	-۰/۴۵۱۴		۱۰۰	۷۵
۱۰۹/۵۴	۴۸۸/۶۷	۱/٪۹	-۰/۴۵۰۸	-۰/۴۴۲۱	-۰/٪۲	۱۵۰	۷۵
۱۱۲/۱۷	۵۱۳/۷۱	۲/٪۳	-۰/۴۴۵۶	-۰/۴۳۵۴		۲۰۰	۷۵
۱۳۵/۸۶	۵۶۸/۲۴	۳/٪۱	-۰/۶۶۲۶	-۰/۶۴۲۳		۱۰۰	۱۰۰
۱۳۸/۲۱	۵۸۸/۸۸	۳/٪۳	-۰/۶۵۶۱	-۰/۶۳۴۷		۱۵۰	۱۰۰
۱۴۰/۷۴	۶۱۷/۹۶	۳/٪۵	-۰/۶۴۳۱	-۰/۶۲۰۴		۲۰۰	۱۰۰

با افزایش مقدار آلفا، مقدار تابع هدف کل افزایش می‌یابد؛ زیرا هر قدر برنامه‌ریزان بخواهند با درجه اطمینان بالاتری با عدم قطعیت روبه‌رو شوند، باید شرایط محیطی را که به صورت پارامترها وارد می‌شود، سختگیرانه‌تر در نظر بگیرند.

با توجه به جدول‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که روش دقیق جواب‌های بهتری در مقایسه با روش ابتکاری آزادسازی لاگرانژ تولید می‌کند؛ اما زمان حل نسبتاً بالاتری دارد. در نظر بگیرید که در پایانه‌های کشور که روزانه میلیون‌ها دلار کالا در آن‌ها مبادله می‌شود، زمان چقدر می‌تواند تأثیرگذار باشد. سرعت‌العمل می‌تواند گامی رو به جلو در جهت افزایش حجم مبادلات روزانه باشد و در نتیجه سود بسیار بیشتری را به همراه داشته باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل روش دقیق زیاد می‌شود و بهتر است از روش ابتکاری استفاده شود.

جدول ۳. جواب‌های به دست آمده در حالت مینیمم درجه پذیرش ۰/۹

زمان (دقیقه)	میزان انحراف مقدار تابع هدف بین روش لاگرانژ و CPLEX		تابع هدف		فاصله با جواب بهینه (GAP)	تعداد بار	تعداد بار
	CPLEX	لاگرانژ	CPLEX	لاگرانژ			
۷۹/۲۱	۱۸۸/۲۴	۰/۹۷٪	-/۳۳۹۰	-/۳۳۵۷	۱۰۰	۵۰	
۸۲/۹۴	۲۰۴/۹۴	۱/۱٪	-/۳۲۴۹	-/۳۲۱۲	۱۵۰	۵۰	
۸۴/۶۷	۲۴۲/۱۶	۱/۳٪	-/۳۰۴۲	-/۳۰۰۱	۲۰۰	۵۰	
۱۰۷/۲۴	۴۶۸/۲۴	۱/۹٪	-/۵۱۱۳	-/۵۰۱۴	۱۰۰	۷۵	
۱۱۱/۰۴	۴۸۸/۹۵	۲/۶٪	-/۴۹۶۱	-/۴۸۳۴	۰/۲٪	۱۵۰	۷۵
۱۱۲/۵۴	۵۱۴/۱۲	۲/۷٪	-/۴۸۱۹	-/۴۶۸۷	۲۰۰	۷۵	
۱۳۶/۲۳	۵۶۸/۸۷	۳/۴٪	-/۷۱۱۷	-/۶۸۷۴	۱۰۰	۱۰۰	
۱۳۸/۶۷	۵۸۹/۲۳	۳/۶٪	-/۶۷۹۳	-/۶۵۴۷	۱۵۰	۱۰۰	
۱۴۰/۹۱	۶۱۸/۴۱	۳/۸٪	-/۶۵۶۶	-/۶۳۱۴	۲۰۰	۱۰۰	

با توجه به جدول‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش ابعاد مسئله، میزان تفاوت بین جواب روش دقیق و روش ابتکاری به مرور زیاد می‌شود؛ زیرا فضای حل مسئله افزایش می‌یابد. میزان انحراف تابع هدف اصلی روش دقیق و روش آزادسازی لاگرانژ به شیوه زیر تعیین می‌شود:

$$(نتایج حاصل از روش دقیق - نتایج حاصل از آزادسازی روش لاگرانژ) \quad (۴۱)$$

نتایج حاصل از روش آزادسازی لاگرانژ

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی به منظور اختصاص فضای انبارش به کانتینرها توسعه داده شد و به منظور نزدیک شدن به دنیای واقعی، عدم قطعیت در مدل وارد شد.

مدل پیشنهادی از طریق متعادل‌سازی حجم کار، لحاظ کردن تأخیرها و هزینه‌های آن‌ها و کاهش مسافت طی شده، کاهش زمان بازیابی کانتینرها را در نظر گرفت. اهداف مدل پیشنهادی شامل اختصاص فضا به کانتینرها به منظور کاهش زمان بازیابی آن‌ها (به گونه‌ای که در موعد تحویل در دسترس باشند و احتمال جابه‌جایی کانتینرها هنگام بازیابی در حداقل باشد) است. روش‌های دقیق و ابتکاری آزادسازی لاگرانژ در حل مدل به کار رفت و با استفاده از تحلیل حساسیت، نتایج تحلیل شد.

گفتنی است که محدودیت ۱۱ که در روش لاگرانژ به عنوان ضریب جریمه به تابع هدف افزوده شد، با روش سعی و خطا انتخاب شده است؛ به این صورت که از بین محدودیت‌های مسئله، بهترین تأثیر را در بهبود تابع هدف داشته است.

اگرچه نمی‌توان ادعا کرد که روش‌های کاوشی توان یافتن بهینه مطلق را دارند و همگرایی آن‌ها در صورتی اثبات می‌شود که تعداد تکرارها به بی‌نهایت میل کند، در بسیاری از مسائل، یافتن بهینه مطلق مطمح نظر نیست؛ بلکه قصد اصلی یافتن پاسخی رضایت‌بخش با صرف هزینه و زمان معقول است. نتایج نشان داد که در مسائل با ابعاد کوچک، روش‌های دقیق بهتر عمل می‌کنند و با صرف زمان کمتر به جواب بهتری می‌رسند؛ اما به تدریج با بزرگ شدن ابعاد مسئله کارایی خود را از دست می‌دهند. برای حل مسائل با ابعاد بزرگ، روش ابتکاری از نظر تقابل زمان و کیفیت جواب، بهتر عمل کرده است.

با تحلیل نتایج مشخص شد که با افزایش مقدار  $\alpha$ ، مقدار تابع هدف کل افزایش می‌یابد؛ زیرا هر قدر برنامه‌ریزان بخواهند با درجه اطمینان بالاتری با عدم قطعیت روبه‌رو شوند، باید شرایط محیطی را که به صورت پارامترها وارد می‌شود، سختگیرانه‌تر در نظر بگیرند.

برای مطالعات آتی، مفاهیم پنجره زمانی در رابطه با مباحث زمانی در مدل پیشنهادی شود. همچنین، ترکیب روش‌های ابتکاری و فراابتکاری گامی نو در جهت بهبود زمان حل مسئله در ابعاد بزرگ به شمار می‌رود.

## منابع

۱. رسول سراپی، ا؛ و بهرامی‌نیا، غ (۱۳۸۸). بررسی علل رسوب کانتینر در اسکله شهید رجایی و ارائه راهکارها جهت حل مشکلات. *یازدهمین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش، ۵-۱*.
۲. کاظمی آسیاب، علیرضا؛ سعیدی، سید ناصر؛ و نورامین، امیر سعید (۱۳۹۰). بررسی آماری عوامل مؤثر بر ترخیص کانتینر در بنادر ایران. *نشریه علمی و پژوهشی اقیانوس‌شناسی، سال دوم، شماره ۸*.
۳. (۱۳۸۹). کتابچه هزینه‌های مترتب با کشتی‌ها و کالاها در بنادر جمهوری اسلامی ایران. اداره کل ترانزیت و تعرفه‌های بندری سازمان بنادر و دریانوردی ایران.
۴. کیانی مقدم، منصور؛ تهمک، حمیدرضا؛ مشایخی، افشین؛ و ایرانشاهی، سبحان (۱۳۹۱). مدل‌سازی عناصر اثرگذار بر زمان انتظار کشتی‌های تجاری با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری MADM و روش سلسه‌مراتبی AHP. *اولین همایش ملی توسعه مکران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی ایران*.
5. Bazzazi, M., Safaei, N., & Javadian, N. (2009). A genetic algorithm to solve the storage space allocation problem. *Computer & Industrial Engineering, 56*, 44-52.
6. Chen, L., & Lu, ZH. (2012). the storage location assignment problem for outbound containers in a marine terminals. *Int.J.Production Economics, 135*, 73-80.
7. Deb, K. (2001). *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*. United States, John Wiley & Sons.
8. Fisher, M. L. (2004). The lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. *Manage. Sci, 50*( 12), 1861-1871.
9. Ha, M.S. (2003). A comparison ports: Implications for Korean ports. *J.Transport.Georger, 11*(2), 131-137.
10. Hirashima, Y. (2008). A Q-Learning system for container transfer scheduling based on shipping order at container terminals. *International Journal of Innovative Computing, 14*.
11. Ing Hsu, C., Hung, H., & Wang, W. (2009). Applying RFID to reduce delay in import cargo customs clearance process. *Journal of Computer and Industrial Engineering, 57*, 506-519.
12. Jiménez, M., Arenas, M., & Bilbao, A. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. *European Journal of Operational Research, 177*(3), 1599-1609.
13. Kent, P.E. December (2003). *A Tale of two ports*.
14. Kim, K.H., Park, Y.M., & Ryu, K-R. (2000). Deriving decision rules to locate export containers in container yard. *European Journal of Operation Research, 124*(1), 89-101.
15. Llala-Ruiz, E., Gonzalez-velarde, J., & Milian-Batista, B. (2014). Biased random key genetic algorithm for the Tactical Berth Allocation Problem. *Applied soft computing, 22*, 60-76.
16. Lee, D-H., Jin, J., & Chen, J. (2012). Terminal and yard allocation problem for a container transshipment hub with multiple terminals. *Transportation Research, 48*, part E, 516-528.
17. Le, Y., & Ieda, H. (2010). Evaluation dynamics of container ports system with a geo-Economic concentration. *Asian Transport Studies, 11*.
18. Lee, Y., & Lee, Y-J. (2009). A heuristic for retrieving containers from a

yard. *Computer & Operation Research*, 37, 1139-1147.

19. Pishvae, M. S., & Torabi, S. A. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy sets and systems*, 161(20), 2668-2683.

20. Romero, C., Tamiz, M., & Jones, D. F. (1998). Goal programming, compromise programming and reference point method formulations: linkages and utility interpretations. *Journal of the Operational Research Society*, 986-991.

21. Rudriguez-Molins, M., Salido, M.A., & Barber, F. (2012). Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals. *Expert System with Applications*, 39, 978-989.

22. Sharif, O., & Huyne, N. (2013). Storage space allocation at marine container terminals using ant-based control. *Expert Systems with Applications*, 40, 2323-2330.

23. Vacca, I., Bierlaire, M., & salani, M. (2007). Optimization at container terminals: status, trends and perspectives, swiss. *Transport Research Conference*.

24. Yu, M., & Qi, X. (2013). Storage space allocation models for inbound containers in an automatic container terminals. *European Journal of Operation Research*, 226, 32-45.

25. Zhang, C., Liu, J., Wan, Y-W., G.Murty, k., & J.Linn, R. (2003). Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research*, 37, part B, 883-903.

26. Zhang, C., Chen, W., & Shi, I. (2010). A note on deriving decision rules to locate export containers on container yard. *European Journal of Operation Research*, 205(2), 483-485.

27. Zhang, C., Wu, T., Kim, K.H., & Miao, L. (2014). Conservative allocation models for outbound containers in container terminals. *European Journal of Operation Research*, 238, 155-165.