

زمان‌بندی در یک مرکز بارانداز براساس زمان ترک مشخص کامیون‌های خروجی

سید محمد تقی فاطمی قمی^{۱*}، سجاد رحمن‌زاده توت‌کله^۲، محسن شیخ سجادیه^۳

۱. استاد مهندسی صنایع دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳. استادیار مهندسی صنایع دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۲۶، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۵/۰۴/۲۷، تاریخ تصویب: ۹۵/۰۹/۰۷)

چکیده

با توجه به گسترش مفاهیم باراندازها به صورت تئوری و به تبع آن توسعه مراکز بارانداز در سراسر دنیا، بسیاری از شرکت‌ها به بهره‌گیری از این مراکز تمایل یافته‌اند. این مراکز با جمع‌سفرش‌ها و ارسال آن‌ها به صورت یک‌جا، توانسته‌اند هزینه‌های حمل‌ونقل را تا حد زیادی کاهش دهد. البته نحوه اداره و زمان‌بندی در این مراکز یکی از مشکلات عمده‌ای است که ممکن است اثرگذاری در این مراکز را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار دهد. در این تحقیق، مدلی با توجه به محدودیت‌های زمانی و ظرفیتی برای زمان‌بندی داخل یک بارانداز توسعه داده می‌شود. مدل با توجه به اهمیت و حجم کالاها و هزینه‌های موجود، عمل تخصیص به کامیون‌ها را انجام می‌دهد و کالاهایی که در یک دوره به کامیون خروجی تخصیص پیدا نکنند، برای تخصیص به دوره بعد در مرکز بارانداز ذخیره می‌شوند. همچنین، مسئله در قالب یک مسئله ریاضی مدل‌سازی می‌شود و با روش‌های ریاضی جواب دقیقی برای این مسئله به دست می‌آید. در صورتی که مسئله از حد مشخص بزرگ‌تر شود، روش ابتکاری برای رسیدن به جواب قابل قبول نیز ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ابتکاری، روش تجزیه بندرز، زمان‌بندی، شبکه بارانداز.

مقدمه

می‌شود. آن‌ها در پژوهش خود بیان می‌کنند که مدت زمان نگهداری محصولات در مراکز بارانداز کمتر از نگهداری محصولات در انبارهای سنتی است و تا کمتر از ۲۴ ساعت کاهش می‌یابد. آن‌ها در تحقیق خود می‌کوشند با ارائه چند روش فرا ابتکاری، مدت زمان عملیات صورت گرفته را به حداقل برسانند. همچنین، ارزیابی پارامترهای ورودی و مقایسه روش‌های فرا ابتکاری در این پژوهش انجام گرفته است [۴]، [۵]، [۶]. آلپن و همکاران [۷] در پژوهش خود بیان می‌کنند مرکز بارانداز تکنیکی شناخته می‌شود که هزینه‌های موجودی، تخلیه و بارگیری، حمل‌ونقل و زمان تحویل را به صورت چشمگیری کاهش می‌دهد. همچنین، آن‌ها فرض می‌کنند مرکز بارانداز از چندین در ورودی و خروجی تشکیل شده است و مدلی را ارائه می‌دهند که هزینه‌های عملیاتی را در یک مرکز بارانداز کمینه می‌کند [۷]. همچنین، فروهرفرد و زندیه [۸] زمان بارگیری و تخلیه را برای کاهش میزان موجودی در یک مرکز بارانداز

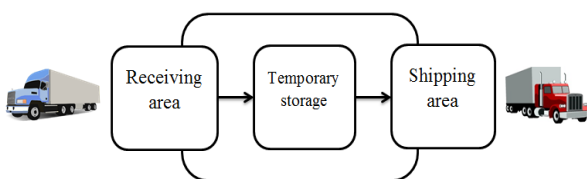
با توجه به اهمیت کاهش هزینه‌ها در مبادلات تجاری، امروزه مراکز بارانداز جایگاه ویژه‌ای در تصمیمات راهبردی شرکت‌ها دارند. از این رو، مراکز بارانداز به مراکزی گفته می‌شود که در آن محصولات تولیدکننده‌های مختلف با یکدیگر جمع و به سمت مشتری فرستاده می‌شود. به طور کلی مراکز بارانداز، هزینه‌های نگهداری و زمان حمل‌ونقل را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد. برای بیان اهمیت مراکز بارانداز در صنعت می‌توان به نمونه‌های موفق آن در شرکت‌های وال‌مارت^۱، توپوتا^۲ و استمن کوداک^۳ اشاره کرد. در مراکز بارانداز، کالاهای ورودی در محل‌های ذخیره موقت^۴ جمع می‌شوند و در زمان‌های مشخص به درهای خروجی انتقال می‌یابند. در همین راستا، بلوری عربانی و همکاران [۴] استفاده از بارانداز را روشی برای مدیریت موجودی تعریف می‌کنند که موجب کاهش میزان موجودی، زمان تحویل^۵ و زمان پاسخگویی به مشتری

بعد منتقل می‌شوند. آن‌ها در پژوهش خود مدلی را پیشنهاد می‌دهند که مجموع پالت‌هایی را که در محل ذخیره موقت قرار می‌گیرد کمینه می‌کند. مدل ارائه‌شده زمان بارگیری و زمان تخلیه و عملیات اجرایی داخل مرکز بارانداز را زمان‌بندی می‌کند [۱۲].

در این تحقیق، مدلی برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی براساس زمان خروج از پیش تعیین‌شده کامیون‌های خروجی ارائه می‌شود. بارهایی که نتوانند قبل از خروج کامیون‌ها بارگیری شوند، به محل ذخیره موقت انتقال داده می‌شوند تا با کامیون‌هایی که در مرحله بعد به سمت مقصد مورد نظر حرکت می‌کنند، انتقال داده شوند. در نتیجه، مدل ارائه‌شده زمان‌بندی کامیون‌های ورودی را برای چند دوره انجام می‌دهد. در این مدل سعی می‌شود بهترین زمان‌بندی مکان و زمان تخلیه بار کامیون‌های ورودی براساس کمینه کردن هزینه‌های نگهداری محصولات در انبارهای ذخیره موقت ارائه شود. همچنین، در این مدل فرض شده است کامیون‌های ورودی چندین نوع محصول مختلف را حمل می‌کنند؛ بنابراین، مدل ارائه‌شده یک مدل زمان‌بندی چنددوره‌ای و چندمحصولی است. مدل ریاضی مورد نظر یک مدل باینری ترکیبی خطی^۷ است که هزینه‌های نگهداری محصول را در افق برنامه‌ریزی کمینه می‌کند.

بیان مسئله

در مراکز بارانداز، کامیون‌های ورودی بارهای خود را در درهای ورودی تخلیه می‌کنند و سپس بارهای تخلیه‌شده به مکان‌های ذخیره موقت انتقال می‌یابند. قبل از بارگیری کامیون‌های خروجی، بارهای ذخیره‌شده در انبار موقت به درهای خروجی انتقال می‌یابند و آماده بارگیری می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده می‌شود، محصولات ورودی پس از تخلیه، برای انتقال به انبارهای ذخیره موقت یا بارگیری مستقیم آماده می‌شوند.



شکل ۱. مرکز توزیع بارانداز

زمان‌بندی می‌کنند. آن‌ها بارانداز را راهبرد جدیدی تعریف می‌کنند که زمان پاسخ به مشتری را کاهش می‌دهد. محصولات در یک مرکز ذخیره موقت نزدیک درهای خروجی جمع‌آوری می‌شوند و در زمان مشخص برای بارگیری آماده می‌شوند. آن‌ها در تحقیق خود می‌کوشند بهترین ترتیب بارگیری و تخلیه را با توجه به حداقل کردن میزان موجودی نگهداری‌شده تعیین کنند [۸].

بنابراین، پژوهش‌های ارائه‌شده نشان می‌دهد زمان‌بندی کامیون‌ها در یک مرکز بارانداز بر میزان هزینه‌های موجودی به‌طور چشمگیری تأثیر می‌گذارد. همچنین، در بسیاری از صنایع مانند صنعت پست و صنایع خرده‌فروشی، کامیون‌های خروجی مراکز بارانداز را در زمان‌های از پیش تعیین‌شده‌ای ترک می‌کنند. بویسن و فلیدتر [۹] در پژوهش خود بیان می‌کنند در شبکه‌های زنجیره تأمین که در آن چندین مرکز بارانداز وجود دارد، ایجاد جریان ثابت از کالا ضروری است. از نظر آن‌ها، در سرویس‌های پستی و سرویس‌هایی که در آن‌ها حمل‌ونقل با ظرفیت کامل کامیون‌ها انجام نمی‌گیرد، کامیون‌ها براساس زمان خروج مشخصی مراکز بارانداز را ترک می‌کنند [۹]. وان بله و همکاران [۱۰] نیز در پژوهش خود نشان می‌دهند در بسیاری از موارد، کامیون‌های خروجی در زمان‌های از پیش تعیین‌شده‌ای مراکز بارانداز را ترک می‌کنند. در نتیجه، بارهایی که نتوانند پیش از خروج کامیون‌ها از مرکز بارانداز بارگیری شوند، برای ارسال توسط کامیون‌های بعدی در محل ذخیره موقت نگه داشته می‌شوند [۱۰]. بویسن و همکاران به‌تازگی در تحقیق خود مدلی را توسعه داده‌اند که طبق آن، زمان‌بندی کامیون‌های ورودی در یک مرکز بارانداز براساس زمان خروج کامیون‌های خروجی تعیین می‌شود. آن‌ها فرض می‌کنند کامیون‌های خروجی در زمان‌های از پیش تعیین‌شده‌ای مرکز بارانداز را ترک می‌کنند. همچنین، از نظر آن‌ها بارهایی که پیش از خروج کامیون‌ها بارگیری نشوند، سود ازدست‌رفته در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، آن‌ها مدلی را برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی ارائه می‌کنند که براساس آن مجموع سود ازدست‌رفته حداقل می‌شود. همچنین، در این پژوهش محاسبات پیچیدگی و روشی ابتکاری برای حل مسئله ارائه می‌شود [۱۱]. درحالی‌که لدیر و آلپن [۱۲] بیان می‌کنند بارهایی که با تأخیر روبه‌رو می‌شوند برای ارسال به دوره

- ✓ هر کامیون ورودی، محصولاتی مختلف را با توجه به زمان‌بندی از پیش تعیین‌شده تخلیه می‌کند. در مراکز بارانداز، مکان‌هایی برای ذخیره موقت کالاها تعبیه شده است و محصولاتی که زمان بارگیری آن‌ها با زمان تخلیه تفاوت زیادی داشته باشد، برای ذخیره به این مکان‌ها انتقال می‌یابند. در مراکز بارانداز بسیاری از صنایع خرده‌فروشی و خدمات پستی، کامیون‌های خروجی در زمان‌های مشخص و از پیش تعیین‌شده‌ای مراکز بارانداز را ترک می‌کنند. براین اساس، محصولات در زمان‌های معینی به دست مشتریان می‌رسند و هزینه‌های ناشی از تأخیر به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد؛ بنابراین، یکی از مشکلات در این مراکز به مدیریت کالاهایی مربوط است که نتوانسته‌اند قبل از خروج کامیون‌های خروجی بارگیری شوند و باید تا زمان بارگیری کامیون بعدی در مکان‌های ذخیره موقت نگهداری شوند. در این تحقیق، مدلی برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی ارائه می‌شود که در آن تابع هدف، هزینه‌های ناشی از نگهداری موجودی را کمینه می‌کند. مدل ارائه‌شده یک مدل ریاضی است و به‌صورت مدل خطی باینری ترکیبی ارائه می‌شود. همچنین، در تحقیق فرض می‌شود محصولاتی که نتوانسته‌اند قبل از خروج کامیون‌ها از مرکز بارانداز بارگیری شوند، برای ارسال به دوره بعد زمان‌بندی انتقال می‌یابند تا با کامیون خروجی بعدی به مقصد تعیین‌شده فرستاده شوند؛ بنابراین، مدل ارائه‌شده یک مدل زمان‌بندی چنددوره‌ای و چندمحصولی است. در این مدل، مفاهیم و فرضیاتی در نظر گرفته شده است که در زیر ارائه می‌شود:
- ✓ مدل ارائه‌شده، زمان و مکان تخلیه بار کامیون‌های ورودی را برای T دوره تعیین می‌کند.
- ✓ فرض می‌شود کامیون‌های خروجی در زمان از پیش تعیین‌شده‌ای مراکز بارانداز را ترک می‌کنند.
- ✓ تمام کامیون‌های ورودی در لحظه اولیة زمان برنامه‌ریزی حضور دارند.
- ✓ در هر دوره تعداد کامیون‌های ورودی از تعداد درهای تخلیه بیشتر است.
- ✓ اطلاعات مربوط به تعداد و نوع و مقصد محصولات کامیون‌های ورودی پیش از دوره زمان‌بندی موجود است.
- ✓ برای ساده‌سازی مدل فرض می‌شود زمان تخلیه و حمل محصولات در مراکز بارانداز برای تمام محصولات یکسان است.
- ✓ در هنگام تخلیه بار، فرض می‌شود تمام محصولات تخلیه می‌شوند.
- ✓ هیچ‌گونه محدودیتی در فضای مکان ذخیره موقت و همچنین تجهیزات و نیروی انسانی وجود ندارد.
- ✓ فرض می‌شود کامیون‌های خروجی ظرفیت مشخصی دارند و محصولات اضافی به دوره بعد انتقال می‌یابند.
- ✓ در صورتی که محصولات به دوره بعد انتقال یابند، با توجه به نوع محصول به آن هزینه نگهداری تعلق می‌گیرد.
- ✓ فرض می‌شود K در ورودی برای تخلیه بار کامیون‌ها وجود دارد و کامیون‌ها با توجه به زمان‌بندی صورت گرفته برای تخلیه به این درها مراجعه می‌کنند. با توجه به محدودیت در تعداد درهای تخلیه ورودی، کامیون‌ها تا فرارسیدن زمان تخلیه در کنار در ورودی مشخص شده منتظر می‌مانند.
- ✓ درهای خروجی به مقاصد مشخصی اختصاص دارند.
- ✓ مدل ارائه‌شده در این تحقیق براساس توسعه مدل بویسن و همکارش [۱۱] در فضای چنددوره‌ای و چندمحصولی می‌باشد و در هر دوره محصولاتی که نتوانند قبل از خروج کامیون‌ها بارگیری شوند، برای ارسال به دوره بعد منتقل می‌شوند؛ بنابراین، در این تحقیق مدلی ارائه می‌شود که در آن زمان‌بندی کامیون‌های ورودی براساس هزینه نگهداری محصولات مختلف در دوره‌های مختلف صورت می‌پذیرد.
- ✓ در زیر پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در مدل شرح داده می‌شود.

شاخص‌ها

- I : مجموعه کامیون‌های ورودی $i=1, 2, \dots, l$
- O : مجموعه کامیون‌های خروجی
- K : مجموعه درهای ورودی
- N : مجموعه نوع محصولات
- T : مجموعه دوره‌های زمان‌بندی

$$I, j \in IU \setminus \{0\}, t \in T, o \in O \quad (۴)$$

$$y_{tio} \cdot M > C_{ti} - d_{to} + \sum_k t_{ko} \cdot \left(\sum_{\substack{j \in IU \setminus \{0\} \\ j \neq i}} x_{tji}^k \right) \quad \forall i \in I, o \in O, t \in T \quad (۵)$$

$$S_{ton} + Q_{ton} = S_{(t-1)on} + \sum_i L_{tion} \quad \forall t \in T, o \in O, n \in N \quad (۶)$$

$$Q_{ton} \leq S_{(t-1)on} + \sum_i (1 - y_{tio}) \cdot L_{tion} \quad \forall t \in T, o \in O, n \in N \quad (۷)$$

$$\sum_n Q_{ton} \leq Cap_{to} \quad \forall t \in T, o \in O \quad (۸)$$

$$\sum_o \sum_n S_{Ton} = 0 \quad (۹)$$

$$\sum_t C_{t0} = 0 \quad (۱۰)$$

$$x_{tij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i \in IU \setminus \{0\}, j \in IU \setminus \{0\}, t \in T, k \in K \quad (۱۱)$$

$$y_{tio} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, o \in O, t \in T \quad (۱۲)$$

$$Q_{ton} \geq 0 \quad \forall t \in T, o \in O, n \in N \quad (۱۳)$$

$$S_{ton} \geq 0 \quad \forall t \in T, o \in O, n \in N \quad (۱۴)$$

$$C_{ti} \geq 0 \quad \forall t \in T, \forall i \in I \quad (۱۵)$$

در مدل ریاضی ارائه‌شده، تابع هدف میزان هزینه نگهداری محصولات را که برای ارسال به دور بعد انتقال می‌یابند کمینه می‌کند. محدودیت ۱ تضمین می‌کند که در هر دوره، هر کامیون ورودی تنها یکبار تخلیه شود. محدودیت ۲ بیان می‌کند در تخلیه بار کامیون‌ها در درهای ورودی، در هر در بیش از یک صف برای تخلیه تشکیل نمی‌شود. محدودیت ۳ ترتیب تخلیه بار را در درهای ورودی نشان می‌دهد. محدودیت ۴ زمان اتمام تخلیه بار کامیون‌های ورودی را تعیین می‌کند. محدودیت ۵ نشان می‌دهد آیا محصولات برای ارسال به دور بعد انتقال می‌یابند یا اینکه در همان دوره بارگیری می‌شوند. محدودیت ۶ تعادل موجودی را بین دوره‌ها برقرار می‌کند.

پارامترها

P_{ti} مدت زمان تخلیه بار کامیون i در دوره t
 d_{to} : زمان بارگیری کامیون خروجی o در دوره t
 t_{ko} : زمان حمل بار از در ورودی k تا کامیون خروجی o
 L_{tion} : تعداد محصولات نوع n که در دوره t از کامیون ورودی i به کامیون خروجی o انتقال می‌یابد.
 M : عدد بزرگ
 h_{tn} : هزینه نگهداری محصول نوع n در دوره t

متغیرهای تصمیم‌گیری

Q_{ton} : متغیر پیوسته، تعداد محصولات نوع n که در دوره t در کامیون خروجی o بارگیری می‌شوند.
 S_{ton} : متغیر پیوسته، تعداد محصولات نوع n از کامیون خروجی o که در دوره t برای انتقال به دوره بعد ذخیره می‌شوند.
 C_{ti} : متغیر پیوسته، زمان تخلیه بار کامیون i در دوره t
 x_{tij}^k : متغیر باینری، ۱ اگر کامیون ورودی i بار خود را قبل از کامیون ورودی j در در k و در دوره t تخلیه کند. ۰ در غیر این صورت
 x_{t0i}^k : متغیر باینری، ۱ اگر کامیون ورودی i اولین کامیونی باشد که بار خود را در در k در دوره t تخلیه می‌کند. ۰ در غیر این صورت
 $x_{ti(i+1)}^k$: متغیر باینری، ۱ اگر کامیون ورودی i آخرین کامیونی باشد که بار خود را در در k در دوره t تخلیه می‌کند. ۰ در غیر این صورت

Y_{tio} : متغیر باینری، ۱ اگر بار کامیون i قبل از خروج کامیون o در دوره t بارگیری نشود. ۰ در غیر این صورت
در زیر مدل ریاضی مسئله ارائه می‌شود.

$$\text{Min } Z1 = \sum_t \sum_n h_{tn} \cdot \sum_o S_{ton} \quad \text{S.t.}$$

$$\sum_k \sum_{\substack{i \in IU \setminus \{0\} \\ i \neq j}} x_{tij}^k = 1 \quad \forall j \in I, t \in T \quad (۱)$$

$$\sum_i x_{t0i}^k \leq 1 \quad \forall k \in K, t \in T \quad (۲)$$

$$\sum_{\substack{i \in IU \setminus \{0\} \\ i \neq j}} x_{tij}^k = \sum_{\substack{j \in IU \setminus \{0\} \\ i \neq j}} x_{tji}^k \quad \forall j \in I, k \in K, t \in T \quad (۳)$$

$$C_{ti} \geq C_{tj} + P_{ti} - M \cdot (1 - x_{tji}^k) \quad \forall i \in I$$

از این عبارتها بتوان تا حدودی شرایط واقعی مراکز بارانداز را شبیه‌سازی کرد و پارامترهای ورودی را با دقتی قابل قبول تخمین زد. در زیر عبارتهای تعیین پارامترهای ورودی بیان شده است.

$$p_{ti} = \text{RandN}(\mu, \sigma) \mid \mu = 30, \sigma = 5 \quad \forall t \in T, i \in I \quad (16)$$

$$L_{tion} = \begin{cases} \text{rnd}[10; 50] & \text{اگر } \text{rnd}[0; 1] < 0.5 \\ 0 & \text{در غیر صورت} \end{cases} \quad \forall t \in T, i \in I \quad (17)$$

$$d_{to} = \left(\frac{\sum_i p_{ti}}{|K|} \right) \times \text{rnd}[0.5; 0.9] \quad \forall t \in T, o \in O \quad (18)$$

$$t_{ko} = \text{rnd}[1; 10] \quad \forall k \in K, o \in O \quad (19)$$

$$\text{Cap}_{to} = |N| \times |I| \times \text{rnd}[10; 20] \quad \forall t \in T, o \in O \quad (20)$$

$$h_{tn} = \text{rnd}[0.2; 0.4] \quad \forall t \in T, n \in N \quad (21)$$

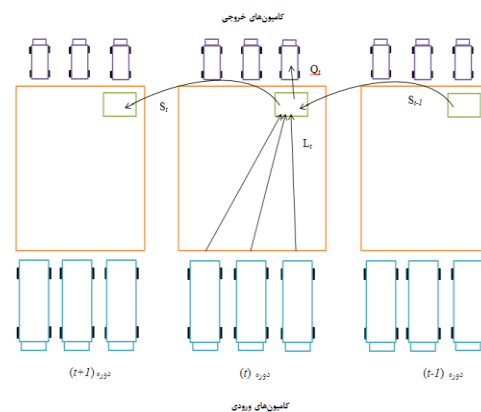
که در آن $\text{RandN}(\mu, \sigma)$ عدد تصادفی با توجه به تابع توزیع نرمال با میانگین μ و انحراف معیار σ و $\text{rnd}[a; b]$ عدد تصادفی یکنواخت در بازه a و b را نشان می‌دهد.

الگوریتم بندرز

الگوریتم بندرز یک روش تجزیه است که در حل مدل‌های خطی باینری ترکیبی و تعیین جواب بهینه کاربرد فراوانی دارد. الگوریتم بندرز، مدل مسئله را به دو مسئله اصلی^۸ (شامل متغیرهای باینری) و زیرمسئله^۹ (شامل متغیرهای پیوسته) تقسیم می‌کند. در این الگوریتم، برای تعیین جواب بهینه از یک کران بالا و یک کران پایین استفاده می‌شود. پس از حل مسئله اصلی در مسائل کمینه‌سازی (بیشینه‌سازی)، یک کران پایین (کران بالا) برای تابع هدف ارائه می‌شود. همچنین، با حل زیرمسئله، کران بالایی (کران پایین) برای تابع هدف ایجاد می‌شود. جثوفریون [۱۳] در پژوهش خود بحث همگرایی جواب روش بندرز با جواب بهینه را در تعداد مراحل اجرای منتهای مطرح می‌کند. در مورد مراحل اجرای الگوریتم بندرز، در ابتدا مسئله اصلی به کمک یک جواب شدنی از متغیرهای غیرپیچیده‌کننده حل می‌شود. سپس یک کران پایین (کران بالا) در مسائل

محدودیت ۷ تضمین می‌کند میزان بارهای ارسالی نباید بیشتر از مجموع میزان بار باقیمانده از دوره قبل و میزان باری که در این دوره تأخیر ندارند باشد. محدودیت ۸، محدودیت در ظرفیت کامیون‌های خروجی را نشان می‌دهد. محدودیت ۹ تضمین می‌کند در انتهای دوره، میزان موجودی باقیمانده باید صفر باشد. محدودیت ۱۰ نشان می‌دهد که در هر دوره زمان تخلیه اولین کامیون ورودی صفر در نظر گرفته می‌شود.

برای برقراری ارتباط بین دوره‌های زمان‌بندی، تعادل موجودی بین دوره‌ها برقرار می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده می‌شود، مجموع میزان محصولاتی از دوره قبل انتقال یافته‌اند و میزان محصولاتی که در این دوره تخلیه می‌شوند برابر با مجموع محصولاتی هستند که در این دوره بارگیری می‌شوند و همچنین محصولاتی که برای ارسال به دوره بعد انتقال می‌یابند. این فرض در محدودیت ۶ ارائه شده است.



شکل ۲. تعادل موجودی در یک دوره زمان‌بندی

روش حل

تعیین مقادیر پارامترهای ورودی

در بسیاری از موارد تعیین پارامترهای ورودی برای حل مدل‌های ساخته‌شده یکی از مشکلاتی است که در فرایند تست و ارزیابی مدل و روش‌های حل توسعه‌یافته وجود دارد. در این زمینه، بویسن و همکاران [۱۱] در پژوهش خود روش‌های ساخت پارامترهای ورودی را با توجه به واقعیت‌های عملیاتی شرح می‌دهند. در این پژوهش، به‌ازای پارامترهای موردنظر عبارتی با توجه به توابع احتمالی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین، انتظار می‌رود با استفاده

الگوریتم ابتکاری

با توجه به طولانی بودن زمان اجرای الگوریتم بندرز برای یافتن جواب، در این تحقیق یک الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله در ابعاد بزرگ پیشنهاد می‌شود. در ابتدا تأثیر پارامترها روی تابع هدف ارزیابی می‌شود و سپس عبارتی برای ترتیب تخلیه بار کامیون‌ها ارائه می‌شود. در این الگوریتم، زمان و مکان تخلیه کامیون‌های ورودی براساس هزینه‌های نگهداری موجودی تعیین می‌شود. در واقع، اولویت‌بندی براساس تعداد و نوع محصولات کامیون‌های ورودی تعیین می‌شود. از این‌رو، کامیون‌های ورودی ارزیابی می‌شوند و برای تخلیه بار در زمان و مکان مشخص مرتب می‌شوند.

عبارت تصمیم‌گیری که در این الگوریتم استفاده شده است، در زیر ارائه می‌شود.

$$Sc(ti) = \frac{\sum_o \left(\frac{\sum_n L_{tition}}{d_{to}} \right)}{\beta \cdot P_{ti}} \quad (22)$$

$Sc(ti)$ امتیاز کامیون ورودی i در دوره t تعریف می‌شود.

L_{tition} تعداد محصولات از نوع n که از کامیون ورودی i در دوره t به خروج o انتقال می‌یابند. با توجه به اهمیت تعداد محصولات کامیون‌های ورودی در اولویت‌بندی کامیون‌ها، این عامل یک فاکتور مثبت در عبارت ۲۲ در نظر گرفته می‌شود.

d_{to} زمان بارگیری کامیون خروجی o در دوره t است و با افزایش این مقدار جواب بهینه تابع نامناسب‌تر می‌شود؛ بنابراین، در عبارت ۲۲ این پارامتر به صورت عبارتی معکوس به کار می‌رود.

P_{ti} مدت زمان تخلیه بار کامیون i در دوره t است. وقتی زمان تخلیه یک کامیون ورودی افزایش می‌یابد، زمان کل تخلیه نیز افزایش می‌یابد و این امر سبب می‌شود میزان هزینه‌های موجودی افزایش یابد؛ بنابراین، زمان تخلیه بار کامیون‌ها با هزینه‌های نگهداری موجودی رابطه مستقیم دارد.

بنابراین، P_{ti} و L_{tition} در عبارت ۲۲ به صورت پارامترهایی که به‌طور مستقیم و عکس در تابع تصمیم‌گیری اثر می‌گذارند، به کار می‌روند. β ضریبی در نظر

بیشینه‌سازی) و متغیرهای پیچیده‌کننده به دست می‌آید. در گام دوم، با توجه جواب متغیرهای پیچیده‌کننده به دست آمده در مسئله اصلی، زیرمسئله حل می‌شود و یک کران بالا (کران پایین در مسائل بیشینه‌سازی) برای تابع هدف ایجاد می‌شود. در هر مرحله مقدار تفاوت بین کران بالا و کران پایین به دست می‌آید و در صورتی که از یک مقدار از پیش تعیین شده کمتر باشد، الگوریتم متوقف می‌شود و جواب بهینه بین مقادیر کران بالا و کران پایین قرار می‌گیرد. در صورتی که الگوریتم متوقف نشود، یک برش بندرز با توجه به جواب دوگان زیرمسئله به مسئله اصلی اضافه می‌شود؛ بنابراین، مسئله اصلی دوباره حل می‌شود و جواب متغیرهای پیچیده‌کننده و کران مسئله به دست می‌آید. همین الگوریتم تکرار می‌شود تا اختلاف کران بالا و پایین از یک مقدار از پیش تعیین شده کمتر شود.

به طور کلی، مراحل اجرایی الگوریتم بندرز برای مدل ارائه شده به صورت گام‌های زیر خلاصه می‌شود.

گام صفر: مقداردهی اولیه پارامترها (مقدار مجاز تفاوت کران بالا و کران پایین در این مرحله مشخص می‌شود)

گام اول: به کارگیری یک الگوریتم ابتکاری برای تعیین جواب اولیه متغیرهای دوگان زیرمسئله روش بندرز

گام دوم: حل مسئله اصلی روش بندرز و تعیین کران پایین و جواب متغیرهای x_{tji}^k و y_{tjo}

گام سوم: حل زیرمسئله روش بندرز و تعیین کران بالا و جواب متغیرهای دوگان

گام چهارم: محاسبه تفاوت کران بالا و کران پایین. در صورتی که تفاوت کران بالا و کران پایین از مقدار از پیش تعیین شده کمتر باشد، الگوریتم متوقف می‌شود و در غیر این صورت الگوریتم به گام دوم برمی‌گردد.

الگوریتم بندرز در تعداد مراحل متناهی به جواب بهینه همگرا می‌شود. این الگوریتم یک روش کارا برای یافتن جواب بهینه مسائلی است که مدل ریاضی آن‌ها از متغیرهای باینری و پیوسته تشکیل شده است. الگوریتم بندرز در مسائل با ابعاد بزرگ به علت زمان‌بر بودن حل مسئله کارایی پایینی دارد؛ بنابراین، در بخش بعد به منظور حل مسئله در ابعاد بزرگ و در مدت زمان قبول، روشی ابتکاری ارائه می‌شود.

$O = 3$ ، $T = 3$ و $K = 3$ و تعداد نوع محصولات در آزمایش ۱ و تعداد کامیون‌های ورودی برای آزمایش ۲ به ترتیب ۲ و ۲۰ در نظر گرفته شد. جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند جواب به دست آمده از روش ابتکاری به جواب بهینه به دست آمده از روش بندرز بسیار نزدیک است. همچنین، در روش حل مسئله به کمک کتابخانه Cplex در مدت زمان محدود، حداکثر زمان اجرای برنامه متناسب با نوع آزمایش تعیین شد. این مدت زمان برای تست ۱ و ۵، ۱۰۰۰ ثانیه، برای تست ۲ و ۶، ۲۰۰۰ ثانیه، برای تست ۳ و ۷، ۵۰۰۰ ثانیه و برای تست ۴ و ۸، ۱۰۰۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد. در نتیجه، این روش در صورت عدم یافتن جواب بهینه در حداکثر زمان اجرای برنامه، بهترین جواب به دست آمده را گزارش می‌کند.

در این زمینه، برای ارائه بهتر موضوع از چند نشانه‌گذاری استفاده شده است که در زیر ارائه می‌شود.

T_B مدت زمانی است که طول می‌کشد تا الگوریتم بندرز به جواب بهینه برسد.

T_H مدت زمانی است که طول می‌کشد تا الگوریتم ابتکاری جواب را تعیین کند.

T_C مدت زمانی است که طول می‌کشد تا روش حل به کمک کتابخانه Cplex جواب را تعیین کند.

همچنین، خطای الگوریتم ابتکاری و روش حل به کمک کتابخانه Cplex از طریق رابطه ۲۳ محاسبه می‌شود:

$$Err_{B-H}(\%) = \frac{(Heuristic\ algorithm\ solution - Benders\ technique\ solution)}{Benders\ technique\ solution} \times 100 \quad (23)$$

$$Err_{B-C}(\%) = \frac{(Cplex\ solver\ solution - Benders\ technique\ solution)}{Benders\ technique\ solution} \times 100 \quad (24)$$

جواب را پیدا می‌کند و این امر در حالتی اتفاق می‌افتد که جواب به دست آمده از الگوریتم ابتکاری به جواب بهینه به دست آمده از روش تجزیه بندرز نزدیک باشد؛ بنابراین، می‌توان انتظار داشت جواب به دست آمده از الگوریتم ابتکاری در ابعاد بزرگ نیز دقت قابل قبولی داشته باشد. این محاسبات در نرم‌افزار Visual Studio 2010 به زبان C# و به کمک کتابخانه Cplex 10 در کامپیوتری با مشخصات ۴ گیگابایت رم و پردازشگر 2.6 GHz - Core i5 انجام شده است.

گرفته می‌شود که اثر پارامتر P_{ti} را کنترل می‌کند. β برابر مقدار $\frac{1}{O}$ که O تعداد درهای خروجی است در نظر گرفته می‌شود. الگوریتم ابتکاری توسعه داده شده به صورت زیر ارائه می‌شود.

گام صفر: تعیین پارامترهای اولیه و قراردادن $t = I$

گام اول: تعیین عبارت $Sc(ti)$ برای کامیون ورودی i

در دوره t

گام دوم: مرتب کردن کامیون‌ها براساس رابطه زیر

در هر دوره t :

به ازای $i, j \in I$ اگر $Sc(ti) > Sc(tj)$ آن‌گاه کامیون

ورودی i قبل از کامیون ورودی j تخلیه می‌شود.

گام سوم: تخصیص اولین کامیون اولویت بندی شده به

اولین در ورودی و دومین کامیون به دومین در و این عمل تا آخرین در ورودی ادامه می‌یابد. پس از تخصیص به آخرین در ورودی، کامیون بعدی به اولین در اختصاص می‌یابد و این عمل تا آخرین کامیون ورودی تکرار می‌شود.

گام چهارم: اگر $t=T$ الگوریتم اتمام می‌یابد و در غیر

این صورت $t=t+1$ و به گام دوم بازمی‌گردیم.

برای بررسی کارایی روش الگوریتم ابتکاری، نتایج آن با

نتایج روش تجزیه بندرز و حل مسئله به کمک کتابخانه Cplex در ابعاد کوچک و متوسط مسئله بررسی شد. در این بخش دو دسته آزمایش با در نظر گرفتن چهار سری از پارامترهای ورودی بررسی شد. ابعاد مسئله به صورت زیر تعریف می‌شود:

در آزمایش ۱، چهار مسئله براساس تغییر در تعداد کامیون‌های ورودی تست شد و همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده می‌شود، الگوریتم ابتکاری، روش تجزیه بندرز و روش حل به کمک کتابخانه Cplex با توجه به مدت زمان اجرا و خطاهای محاسبه شده مقایسه شدند. در آزمایش ۲ نیز نتایج براساس تغییر در تعداد نوع محصولات بررسی شد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد الگوریتم ابتکاری از لحاظ مدت زمان اجرا، به طور چشمگیری در مدت زمان کمتری

نتیجه‌گیری

چندمحصولی ارائه می‌شود. همچنین، مدل ارائه‌شده یک مدل ریاضی باینری خطی ترکیبی است که برای حل آن روش‌هایی مبتنی بر الگوریتم تجزیه بندرز، روش حل Cplex و الگوریتم ابتکاری توسعه داده شد. دقت الگوریتم ابتکاری با توجه به جواب‌های بهینه بررسی شد.

با توجه به افق‌های زمان‌بندی ۲۴ ساعته در یک مرکز بارانداز، در این تحقیق مدلی چنددوره‌ای برای زمان‌بندی کامیون‌هایی ورودی توسعه داده شد که مدت زمان هر دوره چند ساعت خواهد بود. برای تحقیقات آتی مفاهیم آماری و احتمالی می‌تواند به متغیرهای مدل اضافه شود. همچنین، می‌توان از کامیون‌های ورودی به‌عنوان گزینه‌ای برای انتقال کالا از درهای خروجی استفاده کرد.

در این تحقیق، ابتدا پژوهش‌های زمان‌بندی کامیون‌های ورودی در یک مرکز بارانداز مرور شد. همچنین، تحقیقاتی که در زمینه زمان ترک ثابت کامیون‌های خروجی ارائه شده بودند، با جزئیات بیشتری بررسی شدند. در تحقیقات گذشته، محصولاتی که نمی‌توانستند قبل از زمان ترک کامیون‌های خروجی بارگیری شوند، کالاهای ازدست‌رفته دسته‌بندی می‌شدند. در این تحقیق فرض می‌شود کالایی که نتوانند پیش از زمان ترک کامیون‌ها بارگیری شود، برای ارسال به دوره بعد انتقال می‌یابد و با کامیون‌های بعدی به مقصد مشابه ارسال می‌شود. در این تحقیق، با توجه به سیاست کمینه‌کردن هزینه‌های نگهداری موجودی، یک مدل زمان‌بندی کامیون‌های ورودی براساس چنددوره‌ای و

جدول ۱. مقایسه جواب الگوریتم ابتکاری، روش تجزیه بندرز و روش حل به کمک کتابخانه Cplex با تغییر تعداد کامیون‌های ورودی

		آزمایش ۱	آزمایش ۲	آزمایش ۳	آزمایش ۴
	تعداد کامیون‌های ورودی	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
	تعداد متغیرهای پیوسته	۶۹	۹۹	۱۲۹	۱۵۹
	تعداد متغیرهای باینری	۱۱۷۹	۴۱۴۹	۸۹۱۹	۱۵۴۸۹
پارامترهای مجموعه ۱	T _B (second)	۳۰/۱۵	۶۵۹/۴۶	۲۱۰۵/۶۶	۸۴۲۹/۴۷
	T _H (second)	۲/۴۳	۵/۵۲	۹/۵۵	۱۵/۶۳
	T _C (second)	۲۵/۱۸	۷۲۱	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰
	Err _{B-H} (%)	۰	۰	۰/۷۲	۰
	Err _{B-C} (%)	۰	۰	۱۷/۹	۲۰/۲۰
پارامترهای مجموعه ۲	T _B (second)	۴۱/۲۵	۴۷۳/۶۳	۱۹۸۶/۸۲	۸۷۵۹/۲۳
	T _H (second)	۲/۴۶	۵/۷۵	۱۲/۴۵	۱۷/۴۸
	T _C (second)	۲۴/۶۹	۵۸۹	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰
	Err _{B-H} (%)	۰	۰	۲/۳۱	۳/۲۱
	Err _{B-C} (%)	۰	۰	۲۷/۳	۲۶/۶
پارامترهای مجموعه ۳	T _B (second)	۳۳/۹۶	۵۵۱/۱۳	۲۰۰۶/۹۸	۷۳۱۹/۳۲
	T _H (second)	۲/۵۲	۵/۴۳	۹/۸۲	۱۶/۰۸
	T _C (second)	۳۲/۵	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰
	Err _{B-H} (%)	۰	۲/۱۶	۱/۳۴	۱/۰۸
	Err _{B-C} (%)	۰	۳۸/۲	۸/۲	۲۷/۶
پارامترهای مجموعه ۴	T _B (second)	۳۴/۴۱	۵۲۱/۵۶	۱۹۷۱/۶۸	۶۷۴۹/۱۲
	T _H (second)	۲/۴۱	۴/۵۹	۱۰/۱۸	۱۹/۳۶
	T _C (second)	۲۳/۶	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰
	Err _{B-H} (%)	۰	۰	۰	۰
	Err _{B-C} (%)	۰	۱۷/۸۹	۲۱/۹	۱۳/۱

جدول ۲. مقایسهٔ جواب الگوریتم ابتکاری، روش تجزیهٔ بندرز و روش حل به کمک کتابخانهٔ Cplex با تغییر تعداد نوع محصولات

	آزمایش ۵	آزمایش ۶	آزمایش ۷	آزمایش ۸	
تعداد کامیون‌های ورودی	۱	۲	۳	۴	
تعداد متغیرهای پیوسته	۸۱	۹۹	۱۱۷	۱۳۵	
تعداد متغیرهای باینری	۴۱۴۹	۴۱۴۹	۴۱۴۹	۴۱۴۹	
پارامترهای مجموعه ۱	TB (second)	۴۰۸	۶۴۳	۱۲۵۹	۲۴۶۳
	TH (second)	۷/۱۵	۲/۱۲	۹/۸۰	۸/۳۶
	TC (second)	۳۲۱	۲۰۰۰	۳۷۶۳	۱۰۰۰۰
	ErrB-H(%)	۰	۱/۴۰	۰	۰
	ErrB-C(%)	۰	۱۹/۶	۰	۲۴/۳
پارامترهای مجموعه ۲	TB (second)	۴۲۲	۶۸۶	۱۳۰۲	۲۵۱۱
	TH (second)	۶/۶۵	۸/۵۷	۸/۰۱	۷/۶۲
	TC (second)	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۲۳۶	۱۰۰۰۰
	ErrB-H(%)	۰	۴/۱۳	۰	۰/۶۴
	ErrB-C(%)	۷/۲۱	۱۴/۹۷	۰	۳۱/۴۷
پارامترهای مجموعه ۳	TB (second)	۴۰۲	۶۴۵	۱۲۸۹	۲۴۸۹
	TH (second)	۶/۶۶	۷/۹۹	۸/۶۰	۸/۰۴
	TC (second)	۴۰۹	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۸۴۶۷
	ErrB-H(%)	۰	۲/۹۳	۰	۰/۱۶۸
	ErrB-C(%)	۰	۱۸/۶۳	۲۲/۳۹	۰
پارامترهای مجموعه ۴	TB (second)	۵۲۳	۷۶۳	۱۳۹۶	۲۶۵۴
	TH (second)	۷/۵۴	۸/۳۷	۶/۹۹	۸/۱۰
	TC (second)	۴۶۸	۲۰۰۰	۲۷۰۳	۱۰۰۰۰
	ErrB-H(%)	۰	۳/۸۴	۰	۰
	ErrB-C(%)	۰	۱۳/۳۷	۰	۲۴/۶۱

مراجع

1. Stalk, G., Evans, P. and Shulman, L. (1992). "Competing on capabilities: The new rules of corporate strategy", *Harvard Business Review*, Vol. 70, No. 2, PP. 57-69.
2. Witt, C. E. (1998). "Cross docking: Concepts demand choice", *Material Handling Engineering*, Vol. 53, No. 7, PP. 44-49.
3. Cook, R. L., Gibson, B. and MacCurdy, D. (2005). "A lean approach to cross docking", *Supply Chain Management Review*, Vol. 9, No. 2, PP. 54-59.
4. Boloory Arabani, A. R., Fatemi Ghomi, S. M. T. and Zandieh. M. (2011). "Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 3, PP. 1964-1979.
5. Agustina, D., Lee, C. K. M. and Piplani, R. (2010). "Cross docking scheduling with delivery time window and temporary storage", *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Singapore, Dec 2011.

6. Boysen, N. (2010). "Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals", *Computers & Operations Research*, Vol. 37, No. 1, PP. 32-41.
7. Alpan, G., Larbi, R., and Penz, B. (2011). "A bounded dynamic programming approach to schedule operations in a cross docking platform", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 60, No. 3, PP. 385-396.
8. Forouharfard, S. and Zandieh, M. (2010). "An imperialist competitive algorithm to schedule of receiving and shipping trucks in cross-docking systems", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 51, No. 9, PP. 1179-1193.
9. Boysen, N. and Flidner, M. (2010). "Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda", *Omega*, Vol. 38, No. 6, PP. 413-422.
10. Van Belle, J., Valckenaers, P. and Cattrysse, D. (2012). "Cross-docking: state of the art", *Omega*, Vol. 40, No. 6, PP. 827-846.
11. Boysen, N., Briskorn, D. and Tschöke, M. (2013). "Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departures", *OR Spectrum*, Vol. 35, No. 2, PP. 479-504.
12. Ladier, A. L. and Alpan, G. (2013). "Scheduling truck arrivals and departures in a crossdock: Earliness, tardiness and storage policies", *Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, morocco.
13. Geoffrion, A. M. (1972). "Generalized Benders Decomposition", *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol. 10, No. 4, PP. 237-260.

واژه‌های لاتین به ترتیب استفاده در متن

1. Walmart
2. Toyota
3. Eastman Kodak
4. Temporary Storage
5. Lead Time
6. Makespan
7. Mixed Integer Linear Programming
8. Master Problem
9. Subproblem