نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

# نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال دهم، شماره بیست و یکم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، صفحه ۱۱۹-۱۳۳
www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: 10.22084/IER.2023.27388.2115

# یک مدل برنامه‌ریزی امکانی دوهدفه برای زمان‌بندی کامیون در یک سیستم انبار متقاطع با درهای منعطف با درنظر گرفتن زمان حمل‌ونقل درون انبار

محسن رجب‌زاده[۱]، سید میثم موسوی[۲*]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
[۲] استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

**اطلاعات مقاله**

**تاریخچه مقاله:**
**دریافت ۱۴۰۱/۰۴/۲۷**
**پذیرش ۱۴۰۱/۱۰/۰۵**
**(مقاله پژوهشی)**

**کلمات کلیدی:**
**انبار متقاطع**
**زمان‌بندی کامیون**
**برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه**
**برنامه‌ریزی سازشی**
**صنعت غذا و نوشیدنی**

**خلاصه**

استفاده از انبارهای متقاطع یک استراتژی لجستیکی است که در آن کالاها از کامیون‌های ورودی تخلیه شده و با حداقل ذخیره‌سازی در کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مدیریت انبارهای متقاطع، مدیریت تجهیزات و نیروی انسانی دخیل در فرآیندهای تخلیه کالاها، جابجایی آن‌ها در داخل ترمینال و بارگیری مجدد آن‌ها در کامیون‌های خروجی است. در این مقاله یک مدل جدید دوهدفه برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در یک ترمینال انبار متقاطع با درهای منعطف ارائه می‌شود که در آن فاصله بین درها و زمان لازم برای جابجایی کامیون‌ها در داخل انبار متقاطع نیز در مدل درنظر گرفته می‌شود. هدف اول در مدل پیشنهادی حداقل کردن زمان کل عملیات و هدف دوم مدیریت تجهیزات و نیروی انسانی لازم در ترمینال انبار متقاطع از طریق حداقل کردن تعداد درهای درگیر در عملیات تخلیه و بارگیری است. باتوجه به عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسأله، از اعداد فازی مثلثی برای مواجهه با عدم قطعیت در پارامترها استفاده می‌شود و یک رویکرد حل فازی ترکیبی جدید نیز برای حل مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه امکانی ارائه می‌گردد. مدل و رویکرد حل پیشنهادی برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در یک ترمینال انبار متقاطع در یک گروه فعال در صنعت غذا و نوشیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نتایج حاصل با دو روش موجود مقایسه می‌شود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد رویکرد حل پیشنهادی کارکرد بهتری در مقایسه با روش‌های موجود دارد.

## ۱. مقدمه

انبار متقاطع یک سیستم حمل و توزیع کالا است که در آن کالاها بلافاصله پس از رسیدن به ترمینال، از کامیون‌های ورودی تخلیه شده و پس از مرتب‌سازی و دسته‌بندی مستقیماً در کامیون‌های خروجی جهت حمل به مقاصد نهایی بارگیری می‌شوند [۱]. طراحی سیستم یک انبار متقاطع به‌گونه‌ای است که کالاها معمولاً زمانی کمتر از ۲۴ ساعت را در آن سپری می‌کنند و استفاده از آن می‌تواند منجربه حذف موجودی و عملیات برگشتی در انبارداری سنتی شود [۲]. کارکرد مطلوب سیستم انبار متقاطع در کاهش موجودی و تحویل به‌موقع کالاها به زمان‌بندی و همگام‌سازی مناسب کامیون‌های ورودی و خروجی بستگی دارد [۳]. بنابراین زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی جهت تخلیه و بارگیری کالاها از جمله مهم‌ترین تصمیمات در برنامه‌ریزی انبارهای متقاطع می‌باشد که باید باتوجه به‌شیوه خدمت‌دهی و نوع استقرار درها تعیین شود.

در بسیاری از موارد درها در انبارهای متقاطع، منحصراً یکی از خدمات دریافت و یا ارسال را انجام می‌دهند و کامیون‌های ورودی باید منحصراً به درهای با قابلیت دریافت و کامیون‌های خروجی باید تنها

* نویسنده مسئول: سید میثم موسوی
تلفن: ۰۲۱-۵۱۲۱۲۰۹۱؛ پست الکترونیکی: sm.mousavi@shahed.ac.ir

به درهای با قابلیت ارسال تخصیص یابند. معمولاً انبارهای متقاطع با درهای با قابلیت ارائه خدمات انحصاری به شکل I طراحی می‌شوند. در این شیوه استقرار، درهای ورودی در یک سمت و درهای خروجی در سمت مخالف قرار می‌گیرند و کامیون‌های ورودی در یک سمت به سکوهای دریافت و کامیون‌های خروجی در سمت مقابل به سکوهای ارسال تخصیص می‌یابند. اما براساس مطالعه‌ای که بارتهولدی و گو بر روی ساختار و شیوه چینش انبارهای متقاطع انجام دادند، تنها ۵۳/۷ از تسهیلاتی که به‌عنوان انبار متقاطع مورد استفاده قرار می‌گیرند دقیقاً به این شکل طراحی و ساخته شده‌اند [۴].

در عمل تجهیزات مربوط به سکوهای دریافت در درهای ورودی و سکوهای تحویل در درهای خروجی مشابه یکدیگر بوده و سکوهای برداشت و تحویل در بسیاری از موارد می‌توانند به‌جای یکدیگر به‌کار روند. کارکرد دوگانه و یا به بیان دیگر منعطف درها علی‌رغم دشواری‌های پیاده‌سازی و مدیریت تجهیزات، با افزایش درجه آزادی در تخصیص کامیون‌های ورودی و خروجی به درها می‌تواند منجربه ارتقای کارکرد انبارهای متقاطع شود [۵، ۶]. لذا در سال‌های اخیر، تمرکز بر شیوه خدمت‌دهی درها و تخصیص جریان‌های ورودی و خروجی کالا به درها براساس نوع کاربری آن‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است.

در برخی از مطالعات، تسهیل انبار متقاطع تنها دارای یک در ورودی و یک در خروجی درنظر گرفته شده است که در آن هریک از درها منحصراً یکی از عملیات‌های دریافت و ارسال را انجام می‌دهند. یو و اگبلو [۷] یک مسأله زمان‌بندی انبار متقاطع با یک در ورودی و یک در خروجی را بررسی کردند. آن‌ها یک الگوریتم ابتکاری برمبنای قواعد اولویت‌بندی را برای حل این مسأله پیشنهاد کردند. چن و لی[۸] زمان‌بندی کامیون‌ها در انبار متقاطع با یک در ورودی و یک در خروجی را به‌عنوان یک مسأله زمان‌بندی جریان کارگاهی با دو ماشین درنظر گرفتند. آن‌ها یک الگوریتم ابتکاری برمبنای قاعده جانسون و الگوریتم انشعاب و تحدید را برای حل مسأله تحت بررسی توسعه دادند. بویسن و همکاران [۹] نیز یک مسأله حداقل‌سازی بیشترین زمان پردازش کالاها در یک سیستم انبار متقاطع با یک در ورودی و یک در خروجی با فرض تعویض‌پذیری کالاها را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دو الگوریتم متفاوت را توسعه داده و مسأله تخصیص کامیون‌ها به در ورود و در خروج را به‌صورت مجزا حل کردند و الگوریتم‌های پیشنهادی را در آزمایش‌های عددی جامعی مورد بررسی قرار دادند. وحدانی و زندیه [۱۰] و لیائو و همکاران [۱۱] نیز چندین الگوریتم تکاملی را برای حل مسأله مشابه پیشنهاد کردند.

با وجود تلاش‌های صورت گرفته در بررسی سیستم‌های انبار متقاطع با یک در ورودی و یک در خروجی، در دنیای واقعی ترمینال‌های انبار متقاطع معمولاً چندین در ورودی و خروجی داشته و بررسی چگونگی تخصیص کامیون‌های ورودی و خروجی به درها و تعیین توالی تخلیه و بارگیری آن‌ها در انبارهای متقاطع، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. چن و سانگ [۱۲] در مطالعه خود ضمن بسط مطالعه چن و لی [۸]، با درنظرگرفتن مسأله زمان‌بندی کامیون در سیستم انبار متقاطع به‌عنوان یک مسأله زمان‌بندی جریان کارگاهی ترکیبی با دو ایستگاه، چندین در ورودی و خروجی را در هر ایستگاه درنظر گرفتند و یک الگوریتم ابتکاری را برای حل آن توسعه دادند. حداقل کردن زمان دیرکرد کل و زمان کل سفر در مسأله زمان‌بندی کامیون در سیستم انبارهای متقاطع با درهای چندگانه در مطالعه ونبله و همکاران [۱۳] بررسی شد و یک الگوریتم ابتکاری برمبنای روش جستجوی ممنوعه برای حل آن توسعه داده شد. بلانگر و همکاران [۱۴] مسأله مشابهی را بررسی کرده و یک الگوریتم انشعاب و تحدید و یک روش حل ابتکاری را به‌ترتیب برای حل نمونه‌های کوچک و نمونه‌های در اندازه واقعی توسعه دادند.

در برخی دیگر از پژوهش‌ها، امکان استفاده از درهای منعطف با قابلیت ارائه خدمات دریافت و ارسال همزمان در کنار درهای با قابلیت منحصراً ارسال و دریافت مورد بررسی قرار گرفته است. برگمن [۵] کارآیی استفاده از درهای منعطف در کنار درهای با قابلیت انحصاری دریافت یا ارسال را در مسأله زمان‌بندی کامیون در انبارهای متقاطع به‌صورت عملیاتی بررسی کرده و هر دو حالت را در قالب برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح با هدف حداقل کردن زمان ماندن کالاها در انبار متقاطع مدل‌سازی کرد. بودنار و همکاران [۶] مسأله مشابهی را بررسی کرده و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی و یک الگوریتم ابتکاری برمبنای جستجوی همسایگی تطبیقی بزرگ برای تخصیص کامیون‌ها به درها و تعیین توالی تخلیه و بارگیری آن‌ها باهدف حداقل کردن هزینه‌های عملیاتی توسعه دادند.

گلاره و همکاران [۱۵] مسأله تخصیص کامیون به درها در یک ترمینال انبار متقاطع را باهدف کمینه‌کردن هزینه کلی حمل‌ونقل کالاها بررسی کردند که در آن یک در می‌توانست به بیش از یک مبدأ یا مقصد خدمت‌دهی کند. ریجال و همکاران [۲] مسأله تخصیص کامیون‌ها به درها در یک مرکز انبار متقاطع با درهای منعطف و تعیین توالی تخلیه و بارگیری آن‌ها به‌صورت یکپارچه را باهدف حداقل کردن هزینه کل سیستم شامل هزینه ارسال درون تسهیل، هزینه نگهداری موجودی موقت و هزینه دیرکرد بررسی کردند. همچنین نویسندگان تعداد مناسب درهای منعطف و میزان صرفه‌جویی ناشی از به‌کارگیری آن‌ها را بررسی کردند. علاوه‌برآن، در این پژوهش چگونگی استقرار درها در یک تسهیل U شکل مورد بررسی قرار گرفت و نویسندگان نشان دادند که با استقرار درهای منعطف در قسمت مرکزی تسهیل انبار متقاطع، صرفه‌جویی بیشتری محقق می‌شود. ایسی و همکاران [۱۶] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی آمیخته با اعداد صحیح برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در یک تسهیل انبار متقاطع با سکوهای منعطف باهدف حداقل کردن فاصله زمانی بین ورود اولین کامیون تا خروج آخرین کامیون ارائه کردند.

شاهمردان و سجادیه [۱۷] مسأله زمان‌بندی کامیون در یک مرکز انبار متقاطع را بررسی کردند که در آن کامیون‌های ورودی می‌توانند بخشی از بار خود که مربوط به مقصدی خاص بوده تخلیه نکرده و با

بارگیری سایر کالاها به آن مقصد به‌عنوان کامیون خروجی هم مورد استفاده قرار گیرند. در این مسأله پرداختن همزمان به تخصیص کامیون‌ها به مقاصد در کنار زمان‌بندی پردازش آن‌ها باهدف حداقل کردن بیشترین زمان تکمیل کارها مورد بررسی قرار گرفته است. سید و همکاران [۱۸] مسأله یکپارچه تخصیص کامیون‌ها به درها و زمان‌بندی آن‌ها در کنار پرداختن به زمان حمل‌ونقل درون تسهیل را باهدف حداقل کردن زمان کل پردازش تمامی کامیون‌ها مطالعه کردند. آن‌ها مسأله را در قالب دو مدل برنامه‌ریزی ریاضی فرموله کرده و دو الگوریتم فراابتکاری ترکیبی را نیز برای حل آن توسعه دادند و کارآیی آن‌ها را روی تعدادی از مسائل نمونه بررسی کردند.

میرزایی و موسوی [۱۹] مسأله زمان‌بندی کامیون در یک سیستم انبارمتقاطع با درهای چندگانه را بررسی کردند. در این مطالعه موعد تحویل برای کامیون‌های خروجی به‌عنوان یک محدودیت سخت درنظر گرفته شده بود و بخشی از محصولات می‌توانستند در کامیون‌های برون‌سپاری شده بارگیری و ارسال شوند. آن‌ها مسأله را در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح باهدف حداقل کردن هزینه عملیاتی و حداکثرکردن کیفیت محصولات ارسالی در انبار متقاطع فرمول‌بندی کرده و یک روش برنامه‌ریزی فازی جدید مبتنی‌بر اعداد فازی ارزش‌گذاری‌شده بازه‌ای برای حل مسأله توسعه دادند. بوآکوم و ویستیپانیچ [۲۰] یک مدل زمان‌بندی فعالیت‌های درونی انبارهای متقاطع را باهدف حداقل کردن زمان کلی دیرکرد سفارش‌ها مشتریان توسعه دادند. با استفاده از مدل پیشنهادی، تیم‌های کاری و همچنین تجهیزات داخلی ترمینال انبار متقاطع جهت دستیابی به زمان‌بندی نهایی تخلیه کامیون‌ها، به آن‌ها تخصیص می‌یافتند. افشارپور و ربانی [۲۱] مسأله مسیریابی خودرو باز با درنظرگرفتن انبارهای متقاطع با قابلیت تحویل‌های دوگانه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مسأله را در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح باهدف حداقل کردن هزینه کل سیستم مدل‌سازی کرده و یک الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای حل آن توسعه دادند. عظیمی و همکاران [۲۲] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جدید برای تصمیم‌گیری در مورد اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد کالاهای فروش نرفته در یک شبکه لجستیک معکوس با درنظرگرفتن انبارهای متقاطع ارائه کردند.

اسقیر و همکاران [۲۳] به چگونگی تخصیص کامیون‌ها به درها در مسأله زمان‌بندی کامیون‌ها در انبار متقاطع پرداخته و شیوه جدیدی از همکاری بین تأمین‌کنندگان برای تولید محصولات یکسان به‌وسیله به‌اشتراک‌گذاری منابع به‌منظور ارتقای سطح سرویس و کاهش هزینه‌های اقتصادی ارائه کردند. آن‌ها عدم‌قطعیت موجود در زمان حمل را در قالب اعداد فازی مثلثی مدل‌سازی کرده و مسأله برنامه‌ریزی امکانی حاصل را به‌کمک یک مدل برنامه‌ریزی فازی شانسی حل کردند. کاستلوچی و همکاران [۲۴] یک شبکه دولایه با چندین ترمینال انبار متقاطع را باهدف حداقل کردن هزینه‌های حمل‌ونقل و تأخیر درنظر گرفتند. رسات و همکاران [۲۵] عملیات پایدار جابجایی مواد در انبارهای متقاطع را بررسی کردند. آن‌ها برای حداقل کردن هزینه‌های جابجایی مواد و همچنین میزان کربن‌دی‌اکسید تولیدی ناشی از آن، یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه را توسعه داده و با استفاده از روش محدودیت اپسیلون حل کردند. دولبنت [۲۶] یک الگوریتم ممتیک چندگانه تطبیقی را برای زمان‌بندی کامیون‌ها در یک تسهیل انبار متقاطع ارائه کردند. گوآدیسو و همکاران [۲۷] یک مسأله زمان‌بندی کامیون برای حداقل‌سازی زمان عملیات در انبارهای متقاطع ارائه کردند که در آن مقدار مشخصی از محصولات باید مستقیماً از یک مجموعه از کامیون‌های ورودی به مجموعه دیگری از کامیون‌های خروجی منتقل شوند. تئوفیلاس و همکاران [۲۸] مسأله زمان‌بندی کامیون در یک ترمینال انبار متقاطع به‌عنوان بخشی از یک زنجیره سرد برای تحویل کالاهای فسادپذیر را بررسی کردند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی آمیخته با اعداد صحیح را باهدف حداقل کردن کلیه هزینه‌های مترتب بر ارائه خدمات کامیون‌ها پیشنهاد کردند.

وو و همکاران [۲۹] یک مسأله زمان‌بندی کامیون در سیستم انبارهای متقاطع با یک سکوی دریافت و یک سکوی ارسال و فاقد ذخیره موقت را مطالعه کردند. آن‌ها در پژوهش خود نتیجه گرفتند که زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی به‌گونه‌ای که زمان کل عملیات آن کمینه شود، می‌تواند کارآیی سیستم را به‌صورت معناداری بالا ببرد. میدوت-کاوالیاسکین و همکاران [۳۰] یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح را برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در یک زنجیره‌تأمین سبز با چندین انبار متقاطع توسعه دادند. هدف آن‌ها بهینه‌کردن مجموع هزینه‌های عملیاتی، توالی حمل کامیون‌ها و میزان انتشار کربن بود و دو الگوریتم فراابتکاری چندهدفه برای حل کارای مسأله توسعه داده و نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه کردند. توانا و همکاران [۳۱] یک مدل یکپارچه برنامه‌ریزی خطی چندهدفه آمیخته با اعداد صحیح را برای طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته پایدار ارائه کردند که در آن انبارهای متقاطع و روش‌های چندگانه حمل‌ونقل به‌طور همزمان در کنار ملاحظاتی نظیر مکان، موجودی و مسیریابی درنظر گرفته شده بود. آن‌ها یک روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی را برای حل مدل پیشنهادی به‌کار گرفتند و از مجموعه‌ای از مسائل نمونه با سایز کوچک و متوسط برای بررسی کارآیی مدل پیشنهادی با داده‌های شبیه‌سازی شده، استفاده کردند.

در جدول (۱) مرتبط‌ترین مقالات به پژوهش حاضر در تعدادی از ویژگی‌های پایه‌ای با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نخستین ویژگی شیوه سرویس‌دهی درها است. اگر درهای ترمینال انبار متقاطع تنها یکی از خدمات دریافت و یا ارسال را انجام دهند، شیوه سرویس‌دهی درها انحصاری بوده و اگر دست‌کم یکی از درها به‌طور همزمان هر دو خدمت را ارائه نماید، شیوه ارائه خدمات مختلط می‌باشد. ویژگی دوم درنظرگرفتن زمان حمل‌ونقل کالا درون انبار متقاطع و تأثیر آن بر انتخاب درهای مناسب جهت تخلیه و بارگیری کالاها و تخصیص کامیون‌های ورودی و خروجی به درها می‌باشد. زمان حمل‌ونقل درون انبار متقاطع شامل مدت زمانی است که طول می‌کشد تا کالا مسافت

بین محل تخلیه تا محل بارگیری در داخل انبار متقاطع را طی کند. ویژگی دیگر درنظرگرفتن عدم‌قطعیت در پارامترهای ورودی مسأله است. درنهایت دو ویژگی آخر، نوع تابع هدف درنظر گرفته شده و روش(های) حل پیشنهادی هر پژوهش را نشان می‌دهد. با بررسی مطالعات پیشین موارد زیر به‌عنوان شکاف موجود در ادبیات موضوع شناسایی شده است:

- سرویس‌دهی درها در بیشتر مطالعات پیشین به‌صورت انحصاری بوده و در تعداد محدودی به‌صورت ترکیبی از درهای انحصاری و منعطف درنظر گرفته شده است. معمولاً در مطالعاتی که در آن‌ها درها به‌صورت مختلط فرض شده است، تعدادی از درها همچنان منحصراً خدمات دریافت و یا ارسال را ارائه می‌دهند و سایرین امکان ارائه هر دو نوع خدمت را دارند. درنظر گرفتن تمامی درها به‌صورت منعطف با قابلیت همزمان دریافت و ارسال به‌ندرت در ادبیات موضوع مشاهده شده است.
- عملیات جابجایی کالاها در داخل انبار متقاطع به‌دلیل نیاز به به‌کارگیری نیروی انسانی و تجهیزات از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با بررسی مطالعات پیشین تعداد محدودی از پژوهش‌های پیشین اثر این عامل را در مسأله زمان‌بندی کامیون در انبارهای متقاطع و تعیین چگونگی تخصیص کامیون‌ها به درها مورد بررسی قرار دادند. همچنین مطالعه‌ای که تأثیر این عامل را در تعیین شیوه سرویس‌دهی درها درنظر بگیرد، مشاهده نشده است.
- باتوجه به عدم قطعیت‌های موجود در مسأله زمان‌بندی انبار متقاطع و اثر آن بر نتایج حاصل از حل این مسأله، تنها تعداد کمی از مطالعات پیشین عدم‌قطعیت در پارامترها را درنظر گرفته‌اند [۱۹،۲۰،۲۳]. مرجع [۱۹] از اعداد فازی ارزش‌گذاری شده بازه‌ای و مراجع [۲۰، ۲۳] از روش برنامه‌ریزی شانسی فازی برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت استفاده کرده‌اند. باتوجه تنوع روش‌های موجود در مدل‌سازی عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای مسأله زمان‌بندی کامیون در انبار متقاطع، امکان استفاده از روش‌های متعدد در جهت بهبود قابلیت اطمینان در پاسخ‌های تولیدی وجود دارد.
- در بین توابع هدف به‌کار گرفته شده، بخش عمده‌ای از مطالعات پیشین به دو هدف حداقل‌سازی هزینه کل و حداقل‌سازی زمان عملیات پرداخته‌اند. باوجود درنظرگرفتن توابع هدف مختلف، استفاده از معیارهای نوین در انتخاب زمان‌بندی بهینه کامیون‌ها در ترمینال انبار متقاطع کمتر موردتوجه قرار گرفته است.

**جدول (۱). خلاصه مقایسه مقالات مرتبط با پژوهش حاضر**

| پژوهش | سرویس‌دهی درها | | حمل‌ونقل داخلی | عدم‌قطعیت | تابع هدف | رویکرد حل |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | انحصاری | مختلط | | | | |
| [۵] | | ✓ | | | میزان انبارش | برنامه‌ریزی ریاضی |
| [۶] | | ✓ | | | هزینه کل | برنامه‌ریزی ریاضی |
| [۱۵] | ✓ | | ✓ | | هزینه کل | برنامه‌ریزی ریاضی |
| [۲] | | ✓ | | | هزینه کل | برنامه‌ریزی ریاضی/الگوریتم فراابتکاری |
| [۱۶] | | ✓ | | | زمان عملیات | برنامه‌ریزی ریاضی |
| [۱۷] | ✓ | | ✓ | | زمان عملیات | برنامه‌ریزی ریاضی/الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری |
| [۱۸] | ✓ | | ✓ | | زمان عملیات | برنامه‌ریزی ریاضی/الگوریتم فراابتکاری |
| [۱۹] | ✓ | | ✓ | ✓ | هزینه عملیاتی/کیفیت محصولات | رویکرد حل غیرقطعی |
| [۲۰] | ✓ | | | ✓ | زمان دیرکرد | رویکرد حل غیرقطعی |
| [۲۱] | ✓ | | | | هزینه کل | برنامه‌ریزی ریاضی/الگوریتم فراابتکاری |
| [۲۳] | ✓ | | | ✓ | هزینه کل | رویکرد حل غیرقطعی |
| [۲۵] | نامشخص | | | | هزینه کل/پایداری | محدودیت اپسیلون |
| [۲۶] | ✓ | | | | هزینه کل | برنامه‌ریزی ریاضی/الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری |
| [۲۷] | ✓ | | | | زمان عملیات | الگوریتم ابتکاری |
| [۲۸] | ✓ | | ✓ | | هزینه کل | برنامه‌ریزی ریاضی/الگوریتم تکاملی |
| [۲۹] | ✓ | | | | زمان عملیات | الگوریتم فراابتکاری |
| تحقیق حاضر | | ✓ | ✓ | ✓ | زمان عملیات/تعداد درهای درگیر عملیات | رویکرد حل غیرقطعی |

باتوجه به شکاف‌های موجود در ادبیات موضوع، در این پژوهش یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح برای حل مسأله زمان‌بندی کامیون‌ها در یک ترمینال انبار متقاطع با درنظرگرفتن درهای منعطف با قابلیت ارسال و دریافت همزمان و همچنین لحاظ‌کردن زمان حمل‌ونقل درون ترمینال مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اول در مدل پیشنهادی حداقل کردن زمان عملیات و هدف دوم حداقل کردن تعداد درهای دخیل در عملیات دریافت و ارسال می‌باشد. منعطف بودن تمامی درها درجه آزادی بالاتری در انتخاب درها ایجاد می‌کند و درنظر گرفتن زمان حمل‌ونقل درون تسهیل این امکان را ایجاد می‌کند که فاصله بین در مورد استفاده در تخلیه یک محصول از کامیون ورودی و در مورد استفاده برای بارگیری محصول در کامیون خروجی در زمان‌بندی کامیون‌ها و محاسبه زمان عملیات موردتوجه قرار گیرد. اما استفاده از درهای منعطف با وجود مزیت درجه آزادی بالاتر، به‌علت استفاده از تجهیزات خاص و تغییرات لازم برای تنظیم تجهیزات برای تخلیه و یا بارگیری، منجربه افزایش هزینه‌های عملیات می‌شود، لذا در مدل پیشنهادی در کنار هدف اول در کمینه‌سازی زمان کل انجام عملیات، حداقل کردن تعداد درهای مورداستفاده نیز به‌عنوان معیار دوم درنظر گرفته شده است.

باتوجه‌به اینکه در پژوهش حاضر، داده‌های تاریخی مربوط به مقادیر پارامترهای دارای عدم‌قطعیت مانند زمان رسیدن کامیون‌ها به انبار متقاطع و زمان لازم برای تخلیه و بارگیری کالاها در دسترس نمی‌باشد، لذا نمی‌توان تابع توزیع احتمال رخداد هریک از مقادیر محتمل برای این پارامترها را محاسبه کرد. بنابراین از اعداد فازی مثلثی برای مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسأله استفاده شده است که در آن حالت بدبینانه، محتمل‌ترین مقدار و نیز حالت خوش‌بینانه برای پارامترهای دارای عدم‌قطعیت درنظر گرفته شده است. همچنین یک رویکرد حل نوین با استفاده از روش برنامه‌ریزی جبرانی برای حل مسأله تحت بررسی پیشنهاد شده است. در نهایت مدل و رویکرد حل پیشنهادی برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی یک ترمینال انبار متقاطع در یک گروه صنعتی فعال در حوزه غذا و نوشیدنی در قالب یک مطالعه موردی به‌کار گرفته شد.

درادامه این مقاله، در بخش ۲ مسأله مورد بررسی با تمامی مفروضات به‌طور دقیق تعریف شده و در قالب یک مدل برنامه‌ریزی امکانی دوهدفه فرمول‌بندی می‌شود. در بخش ۳ جزئیات رویکرد حل ترکیبی پیشنهادی برای حل مسائل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه ارائه می‌شود. در بخش ۴ نتایج حاصل از به‌کارگیری رویکرد پیشنهادی برای برنامه‌ریزی عملیات انبار متقاطع در مطالعه موردی تشریح می‌شود. درنهایت در بخش ۵، نتایج حاصل از پژوهش، مهم‌ترین توصیه‌های مدیریتی و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی در این حوزه ارائه می‌شود.

## ۲. فرمول‌بندی مسأله

در این مقاله، جهت بیان ویژگی‌های مسأله تحت بررسی از طبقه‌بندی ارائه شده توسط بویسن و فلیندر [۳] و سه‌گانه ($[\alpha|\beta|\gamma]$) استفاده شده است. مؤلفه اول ($\alpha$) نشان‌دهنده نوع کاربری درها، مؤلفه دوم ($\beta$) نشان‌دهنده ویژگی‌های عملیاتی مسأله و مؤلفه سوم ($\gamma$) نشان‌دهنده تابع و یا توابع هدف می‌باشد. مفاهیم مقدماتی مربوط به اعداد فازی مثلثی مورد استفاده در مدل‌سازی عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای مسأله نیز در ضمیمه ارائه شده است.

## ۳. تعریف مسأله

در این مقاله، یک سیستم انبار متقاطع با درهای چندگانه مورد بررسی قرار گرفته است که در آن کلیه درها منعطف بوده و دارای قابلیت دریافت و ارسال همزمان هستند ($\alpha_1 = EM$).

انقطاع در تخلیه و بارگیری کامیون‌های تخصیص‌یافته به هر در مجاز نیست و عملیات بر روی هریک از کامیون‌های دریافت و یا ارسال پس از قرارگرفتن آن‌ها بر روی سکو تا پایان تخلیه و بارگیری همه محصولات ادامه می‌یابد ($\beta_1 = 0$). زمان رسیدن کامیون‌ها به محل تسهیل انبار متقاطع با یکدیگر متفاوت است ($\beta_2 = r_j$). زمان انجام عملیات تخلیه و بارگیری محصولات درون هر کامیون با کامیون دیگر متفاوت بوده و تابعی از میزان محصولات تخصیص‌یافته به هر کامیون می‌باشد ($\beta_3 = 0$). هیچ زمانی به‌عنوان موعد مقرر برای پایان عملیات تخلیه و بارگیری درنظر گرفته نشده است ($\beta_4 = 0$). امکان انبارش موقت کالاها در انبار متقاطع وجود دارد و زمان و ظرفیت انبارش موقت نامحدود فرض شده است ($\beta_5 = 0$). محدودیت در تخصیص کامیون‌ها به درها درنظر گرفته نشده است و کامیون‌ها می‌توانند به هریک از درهای منعطف تخصیص یابند ($\beta_6 = 0$). زمان حمل‌ونقل درون تسهیل برای هریک از محصولات به فاصله بین درهای ورودی و خروجی که کامیون‌های دریافت و ارسال حامل محصول مورد نظر به آن تخصیص یافته‌اند، بستگی دارد ($\beta_7 = t_{io}$). هریک از کامیون‌های خروجی به‌محض بارگیری تمام محصولات تخصیص‌یافته به آن، انبار متقاطع را ترک می‌کند ($\beta_8 = 0$). هر محصول ورودی به انبار متقاطع از قبل به یک کامیون خروجی تخصیص‌یافته است و تقاضا کامیون‌های خروجی در هر محصول معین می‌باشد ($\beta_9 = 0$). هدف از حل مسأله تحت بررسی تخصیص کامیون‌های ورودی و خروجی به درها و تعیین توالی آن‌ها به‌گونه‌ای است که دو هدف زیر محقق شود:

- حداقل کردن زمان کل عملیات که برابر است با زمان خروج آخرین کامیون از انبار متقاطع ($\gamma = C_{max}$)
- حداقل کردن تعداد درهای مورداستفاده در انجام عملیات تخلیه و بارگیری ($\gamma = \sum h_m$)

## ۴. مدل‌سازی مسأله

**مجموعه‌ها**

$I = \{1, \dots, \bar{I}\}$ مجموعه کامیون‌های ورودی

$O = \{1, \dots, \bar{O}\}$ مجموعه کامیون‌های خروجی

$D = \{1, \dots, \bar{D}\}$ مجموعه درهای منعطف موجود

$P = \{1, \dots, \bar{P}\}$ مجموعه محصولات

$i, j$ نشان‌دهنده کامیون‌ها

$m, m'$ نشان‌دهنده درها

$p$ نشان‌دهنده محصولات

**پارامترها**

$V_{ip}$ تعداد محصول p که در کامیون ورودی i قرار دارد.

$W_{jp}$ تعداد محصول p جهت بارگیری در کامیون خروجی j

$\widetilde{DT}$ زمان تأخیر برای تعویض کامیون‌ها

$t_{mm'}$ فاصله زمانی بین در ورودی m و در خروجی $m'$

$\widetilde{Ir}_i$ زمان آماده بودن کامیون ورودی i

$\widetilde{Or}_j$ زمان آماده بودن کامیون خروجی j

$\widetilde{ULT}_p$ زمان لازم برای تخلیه محصول p

$\widetilde{LT}_p$ زمان لازم برای بارگیری محصول p

$M$ یک عدد خیلی بزرگ

**متغیرها**

$C_{max}$ زمان خاتمه کل عملیات

$ST_i$ زمان شروع پردازش کامیون $i$

$CT_i$ زمان پایان پردازش کامیون $i$

$y_{ijp}$ تعداد کالای نوع $p$ که از کامیون ورودی $i$ به کامیون خروجی $j$ حمل می‌شوند.

$x_{im}$ اگر کامیون $i$ به در $m$ تخصیص یابد مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$S_{ij}$ اگر هریک از محصولات از کامیون ورودی $i$ به کامیون خروجی $j$ حمل شوند، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$q_{ij}$ اگر کامیون $i$ و $j$ به یک درب تخصیص‌یافته و کامیون $i$ قبل از کامیون $j$ خدمت دریافت کند، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$u_{ijmm'}$ اگر دست‌کم یک محصول از کامیون ورودی $i$ که به در $m$ تخصیص‌یافته به کامیون خروجی $j$ که به در $m'$ تخصیص‌یافته حمل شوند، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$h_m$ اگر در $m$ برای عملیات تخلیه و یا بارگیری مورد استفاده قرار گیرد مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

**مدل برنامه‌ریزی ریاضی**

$$min\ z_1 = C_{max} \quad (۱)$$

$$min\ z_2 = \sum_{m\epsilon D} h_m \quad (۲)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{m\epsilon D} x_{im} = 1 \qquad i\epsilon I \quad (۳)$$

$$\sum_{m\epsilon D} x_{jm} = 1 \qquad j\epsilon O \quad (۴)$$

$$\sum_{j\epsilon O} y_{ijp} = V_{ip} \qquad i\epsilon I, p\epsilon P \quad (۵)$$

$$\sum_{i\epsilon I} y_{ijp} = W_{jp} \qquad j\epsilon O, p\epsilon P \quad (۶)$$

$$ST_i \geq \widetilde{Ir}_i \qquad i\epsilon I \quad (۷)$$

$$ST_j \geq \widetilde{Or}_j \qquad j\epsilon O \quad (۸)$$

$$CT_i \geq ST_i + \sum_{p\epsilon P} \widetilde{ULT}_p . V_{ip} \qquad i\epsilon I \quad (۹)$$

$$CT_j \geq ST_j + \sum_{p\epsilon P} \widetilde{LT}_p . W_{jp} \qquad j\epsilon O \quad (۱۰)$$

$$ST_j \geq CT_i + \widetilde{DT} - M(3 - q_{ij} - x_{im} - x_{jm}) \quad (۱۱)$$
$$i\epsilon(I \cup O), j\epsilon(I \cup O), i \neq j, m\epsilon D$$

$$ST_i \geq CT_j + \widetilde{DT} - M(2 + q_{ij} - x_{im} - x_{jm}) \quad (۱۲)$$
$$i\epsilon(I \cup O), j\epsilon(I \cup O), i \neq j, m\epsilon D$$

$$\sum_{p\epsilon P} y_{ijp} \leq M . S_{ij} \qquad i\epsilon I, j\epsilon O \quad (۱۳)$$

$$u_{ijmm'} \geq S_{ij} + x_{im} + x_{jm'} - 2 \quad (۱۴)$$
$$i\epsilon I, j\epsilon O, m\epsilon D, m'\epsilon D$$

$$CT_j \geq CT_i + \sum_{p\epsilon P} \widetilde{LT}_p . y_{ijp} + t_{mm'} - M(1 - u_{ijmm'}) \quad (۱۵)$$
$$i\epsilon I, j\epsilon O, m\epsilon D, m'\epsilon D$$

$$\sum_{i\epsilon(I \cup O)} x_{im} \leq M . h(m) \qquad m \in D \quad (۱۶)$$

$$Cmax \geq CT_j \qquad j \in O \quad (۱۷)$$

$$C_{max}, ST_i, CT_i, y_{ijp} \geq 0 \qquad i \in (I \cup O), p \in P \quad (۱۸)$$

$$x_{im}, S_{ij}, q_{ij}, u_{ijmm'}, h(m) \epsilon \{0,1\} \quad (۱۹)$$
$$i, j \in (I \cup O), m, m' \in D$$

در مدل ارائه شده، تابع هدف اول که در معادله (۱) نشان‌داده شده است، زمان کل عملیات را حداقل می‌کند. تابع هدف دوم در معادله (۲) تعداد درهای مورد استفاده از بین درهای موجود در انجام عملیات را حداقل می‌کند.

محدودیت (۳) ایجاب می‌کند هریک از کامیون‌های ورودی حتماً به یکی از درها تخصیص یابد. محدودیت (۴) ایجاب می‌کند هریک از کامیون‌های خروجی حتماً به یکی از درها تخصیص یابد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند تمامی محصولات موجود در داخل کامیون‌های ورودی تخلیه شود. محدودیت (۶) تضمین می‌کند تقاضای کامیون‌های خروجی از هر محصول به‌طور کامل پاسخ داده شود. محدودیت‌های (۷) و (۸) به‌ترتیب ایجاب می‌کنند که تخلیه و بارگیری کامیون‌های ورودی و خروجی بعد از رسیدن آن‌ها به انبار متقاطع شروع خواهد شد. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که عملیات یک کامیون ورودی تا تخلیه همه محصولات داخل آن به پایان نمی‌رسد. محدودیت (۱۰) ایجاب می‌کند که عملیات یک کامیون خروجی بعد از بارگیری همه محصولات مربوط به آن کامیون خاتمه می‌یابد. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) تضمین می‌کنند درصورت تخصیص دو کامیون به یک در، پردازش کامیون دوم تا پیش از پایان پردازش کامیون اول شروع نشود.

محدودیت‌های (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) زمان تکمیل پردازش کامیون‌های خروجی را براساس زمان تکمیل پردازش کامیون‌های ورودی، زمان لازم برای حمل‌ونقل درون ترمینال انبار متقاطع و زمان لازم برای بارگیری محصولات مشخص می‌کند. محدودیت (۱۶) تعداد درهای مورد استفاده در انجام عملیات را محاسبه می‌کند. محدودیت (۱۷) زمان کل عملیات را براساس زمان پایان پردازش آخرین کامیون خروجی محاسبه می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) به‌ترتیب متغیرهای نامنفی و متغیرهای صفر و یک به‌کار رفته در مدل را معرفی می‌کنند.

## ۵. رویکرد حل فازی امکانی ترکیبی

در این مقاله از اعداد فازی مثلثی برای برخورد با عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسأله زمان‌بندی کامیون در انبار متقاطع استفاده شده است و به‌غیراز تعداد محصولات موجود در کامیون‌های ورودی، تعداد محصولات لازم برای بارگیری در کامیون‌های خروجی و فاصله زمانی بین درها، همه پارامترها به‌صورت عدد فازی مثلثی درنظر گرفته شده‌اند. همچنین یک رویکرد حل نوین براساس برنامه‌ریزی جبرانی و روش تاپسیس (TOPSIS) با اتکا به روش‌های معتبر موجود در ادبیات موضوع، برای برخورد با مسائل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه توسعه داده شده است.

مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه زیر را درنظر بگیرید که در آن $Z_u$ به‌ازای $u = 1, \dots, U$ نشان‌دهنده توابع هدف حداقل‌سازی و $Z_v$ به‌ازای $v = 1, \dots, V$ نشان‌دهنده توابع هدف حداکثرسازی می‌باشد:

$$\begin{aligned} &Min \quad Z_u = \left(c_u^p, c_u^{ml}, c_u^o\right)x \qquad u = 1, \dots, U \\ &Max \quad Z_v = \left(c_v^p, c_v^{ml}, c_v^o\right)x \qquad v = 1, \dots, V \\ &s.t \\ &(a^p, a^{ml}, a^o)x \le (b^p, b^{ml}, b^o) \\ &x \ge 0 \end{aligned} \tag{۲۰}$$

گام‌های روش پیشنهادی عبارت‌اند از:

گام ۱- با استفاده از روش ارائه شده توسط لای و هوانگ [۳۲] برای توابع هدف و همچنین با بهره‌گیری از روش ارائه شده توسط خیمنز و همکاران [۳۳] برای محدودیت‌ها، مدل (۲۰) را به مدل معادل قطعی چندهدفه (۲۱) تبدیل کنید.

$$\begin{aligned} &Min \quad Z_{u1} = (c_u^o - c_u^{ml})x \qquad u = 1, \dots, U \\ &Min \quad Z_{u2} = (c_u^{ml})x \qquad u = 1, \dots, U \\ &Max \quad Z_{u3} = \left(c_u^m - c_u^p\right)x \qquad u = 1, \dots, U \\ &Max \quad Z_{v1} = (c_v^o - c_v^{ml})x \qquad v = 1, \dots, V \\ &Max \quad Z_{v2} = (c_v^{ml})x \qquad v = 1, \dots, V \\ &Min \quad Z_{v3} = \left(c_v^{ml} - c_v^p\right)x \qquad v = 1, \dots, V \\ &s.t \\ &[\alpha\frac{(a^{ml}+a^o)}{2} + (1-\alpha)\frac{(a^p+a^{ml})}{2}]x \le [\alpha\frac{(b^{ml}+b^o)}{2} \\ &+(1-\alpha)\frac{(b^p+b^{ml})}{2}] \\ &x \ge 0 \end{aligned} \tag{۲۱}$$

که در آن $\alpha$ معیار شدنی بودن می‌باشد که توسط خیمنز و همکاران [۳۳] تعریف شده است.

گام ۲- با درنظرگرفتن مقدار مشخصی برای ضریب $\alpha$، مدل (۲۱) را حل کرده و جدول تهاتر را محاسبه نمایید. سپس بهترین و بدترین مقدار برای هریک از توابع هدف مدل (۲۱) را از جدول تبادل به‌دست آورده و به‌ترتیب مقدار ایده‌آل مثبت (PIS) و مقدار ایده‌آل منفی (NIS) بنامید.

گام ۳- در این گام، مدل دوهدفه با استفاده از برنامه‌ریزی جبرانی و از طریق زیرگام‌های زیرساخته می‌شود:

۱-۳- با استفاده از روش TOPSIS برای تصمیم‌گیری چندهدفه، شاخص‌های فاصله تا ایده‌آل مثبت $(DPI)$ و فاصله تا ایده‌آل منفی $(DNI)$ را طبق رابطه (۲۲) و (۲۳) محاسبه نموده و مدل (۲۴) را تشکیل دهید.

$$\begin{aligned} DPI = &\left(\frac{z_{u1} - z_{u1}^{PIS}}{z_{u1}^{NIS} - z_{u1}^{PIS}}\right) + \left(\frac{z_{u2} - z_{u2}^{PIS}}{z_{u2}^{NIS} - z_{u2}^{PIS}}\right) \\ &+ \left(\frac{z_{u3}^{PIS} - z_{u3}}{z_{u3}^{PIS} - z_{u3}^{NIS}}\right) + \left(\frac{z_{v1} - z_{v1}^{PIS}}{z_{v1}^{NIS} - z_{v1}^{pIS}}\right) \\ &+ \left(\frac{z_{v2} - z_{v2}^{PIS}}{z_{v2}^{NIS} - z_{v2}^{PIS}}\right) + \left(\frac{z_{v3}^{PIS} - z_{v3}}{z_{v3}^{PIS} - z_{v3}^{NIS}}\right) \end{aligned} \tag{۲۲}$$

$$\begin{aligned} DNI = &\left(\frac{z_{u1}^{NIS} - z_{u1}}{z_{u1}^{NIS} - z_{u1}^{PIS}}\right) + \left(\frac{z_{u2}^{NIS} - z_{u2}}{z_{u2}^{NIS} - z_{u2}^{PIS}}\right) \\ &+ \left(\frac{z_{u3} - z_{u3}^{NIS}}{z_{u3}^{PIS} - z_{u3}^{NIS}}\right) + \left(\frac{z_{v1}^{NIS} - z_{v1}}{z_{v1}^{NIS} - z_{v1}^{PIS}}\right) \\ &+ \left(\frac{z_{v2}^{NIS} - z_{v2}}{z_{v2}^{NIS} - z_{v2}^{PIS}}\right) + \left(\frac{z_{v3} - z_{v3}^{NIS}}{z_{v3}^{PIS} - z_{v3}^{NIS}}\right) \end{aligned} \tag{۲۳}$$

$$\begin{aligned} &Min \quad DPI \\ &Max \quad DNI \\ &s.t \\ &[\alpha\frac{(a^{ml}+a^o)}{2} + (1-\alpha)\frac{(a^p+a^{ml})}{2}]x \le [\alpha\frac{(b^{ml}+b^o)}{2} \\ &+(1-\alpha)\frac{(b^p+b^{ml})}{2}] \\ &x \ge 0 \end{aligned} \tag{۲۴}$$

۲-۳- مدل (۲۴) را حل کرده و ضمن محاسبه جدول تبادل، مقادیر ایده‌آل مثبت تابع هدف اول $(DPI)^{PIS}$ و تابع هدف دوم $(DNI)^{PIS}$ و مقادیر ایده‌آل منفی تابع هدف اول $(DPI)^{NIS}$ و تابع هدف دوم $(DNI)^{NIS}$ را محاسبه نمایید.

گام ۴- با استفاده از روش زیمرمن [۳۴] و نتایج گام قبل مقدار درجه عضویت تابع هدف اول و تابع هدف دوم مدل (۲۴) را به‌ترتیب با استفاده از روابط (۲۵) و (۲۶) محاسبه نمایید.

$$\mu_{DPI} = \frac{(DPI)^{NIS} - DPI}{(DPI)^{NIS} - (DPI)^{PIS}} \tag{۲۵}$$

$$\mu_{DNI} = \frac{DNI - (DNI)^{NIS}}{(DNI)^{PIS} - (DNI)^{NIS}} \tag{۲۶}$$

گام ۵- با استفاده از روش دوفازی پیشنهادی ازگن و گلسان [۳۵] و عملگر بیشینه-کمینه مدل (۲۷) را باهدف محاسبه $\lambda_1$ به‌عنوان حد پایین بهینگی توابع هدف تشکیل دهید.

$$\begin{aligned} &Max \quad \lambda_1 \\ &s.t \\ &\lambda_1 \le \mu_{DPI} \end{aligned} \tag{۲۷}$$

$$\lambda_1 \le \mu_{DNI}$$
$$[\alpha\frac{(a^{ml}+a^{o})}{2}+(1-\alpha)\frac{(a^{p}+a^{ml})}{2}]x \le [\alpha\frac{(b^{ml}+b^{o})}{2} +(1-\alpha)\frac{(b^{p}+b^{ml})}{2}]$$
$$x \ge 0$$

گام ۶- مدل (۲۷) را حل کرده و مقدار بهینه حاصل حل از مدل ($\lambda_1^*$) را به‌دست آورید. مقدار بهینه حد پایین بهینگی توابع هدف را به‌عنوان یک محدودیت به مدل (۲۷) اضافه کرده و مدل (۲۸) را با هدف بهبود سطح بهینگی توابع هدف تشکیل دهید.

$$Max \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda_{21}+\lambda_{22}}{2}$$
$$s.t$$
$$\lambda_1^* \le \lambda_{21} \le \mu_{DPI}$$
$$\lambda_1^* \le \lambda_{22} \le \mu_{DNI} \qquad (۲۸)$$
$$[\alpha\frac{(a^{ml}+a^{o})}{2}+(1-\alpha)\frac{(a^{p}+a^{ml})}{2}]x \le [\alpha\frac{(b^{ml}+b^{o})}{2} +(1-\alpha)\frac{(b^{p}+b^{ml})}{2}]$$
$$x \ge 0$$

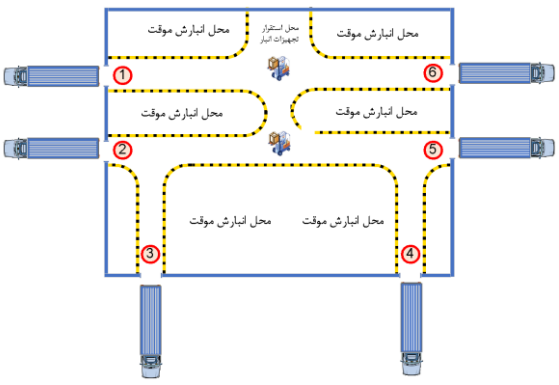
که در آن $\lambda_{21}$ و $\lambda_{22}$ به‌ترتیب درجه بهینگی توابع هدف اول و دوم می‌باشد. با حل مدل (۲۸) جواب حاصل، جواب مرجح نهایی برای مدل (۲۰) خواهد بود. مهم‌ترین مزایای رویکرد پیشنهادی عبارت است از:

- استفاده از برنامه‌ریزی جبرانی باعث می‌شود که ضعف یک جواب شدنی در یک تابع هدف و فاصله آن تا بهینگی بتواند با درجه بهینگی آن جواب شدنی در سایر توابع هدف جبران شود و جواب مرجح نهایی بهترین مقدار ممکن را در مجموع ایجاد کند.
- درصورت افزایش در تعداد توابع هدف مسأله، پس از حل مدل‌های تک‌هدفه در گام دوم روش پیشنهادی، تنها سه جمله جدید به‌ازای هر تابع هدف به معادلات (۲۲) و (۲۳) به‌عنوان تابع هدف مدل (۲۴) اضافه می‌شود و پیچیدگی روش و تعداد توابع هدف مدل (۲۴) افزایش پیدا نمی‌کند.
- درنهایت استفاده از رویکرد دوفازی در گام آخر منجربه بهبود حداکثری برای هر دو معیار فاصله از ایده‌آل و فاصله از ضد ایده‌آل در مدل (۲۴) می‌شود.

## ۶. مطالعه موردی

در این بخش گزارشی از به‌کارگیری مدل و رویکرد حل پیشنهادی در زمان‌بندی کامیون‌ها در یک انبار متقاطع مربوط به یک گروه شناخته شده فعال در صنعت غذا و نوشیدنی در ایران ارائه شده است. این گروه دارای کارخانه‌های تولیدی محصولات مختلف در سراسر ایران می‌باشد. محصولات تولیدی این گروه بالغ بر ۲۳۰۰ واحد نگهداری موجودی (SKU) و شامل انواع محصولات لبنی، محصولات غذای آماده و نیمه‌آماده، فرآورده‌های گوشتی، انواع نوشیدنی، نان و انواع شکلات می‌باشد. کارخانه‌های تولیدکننده این محصولات شامل ۲ کارخانه تولید محصولات لبنی، ۲ کارخانه تولید محصولات غذایی آماده و نیمه‌آماده، ۲ کارخانه تولید فرآورده‌های گوشتی، ۱ کارخانه تولید انواع نوشیدنی، ۱ کارخانه تولید شکلات و انواع نان در نقاط مختلف ایران استقرار یافته‌اند. یک شرکت توزیع نیز زیرمجموعه این گروه صنعتی مسئولیت توزیع محصولات تولیدی تمام کارخانه‌های گروه را برعهده دارد. این شرکت توزیع دارای تعدادی انبار متقاطع در ۵ ناحیه شمال، جنوب، غرب، شرق و مرکز ایران می‌باشد که محصولات مختلف تولیدی کارخانه‌های گروه مستقیماً به این مراکز ارسال می‌شود. محصولات پس از تخلیه در انبارهای متقاطع، براساس سفارشات مشتریان با کالاهای تولیدی کارخانه‌های دیگر ترکیب شده و در کامیون‌های خروجی بارگیری شده و به‌سمت مشتریان ارسال می‌شود. مزیت وجود این مراکز انبار متقاطع، رفع نیاز ارسال مستقیم کالا از کارخانه‌ها به مشتریان و امکان تجمیع سفارشات یک مشتری از محصولات مختلف و ارتقای بهره‌وری عملیات لجستیکی در گروه می‌باشد.

در این مطالعه انبار متقاطع ناحیه شمالی گروه واقع در شهر آمل انتخاب شده است. شکل (۱) طرح شماتیک ترمینال انبار متقاطع انتخابی و شیوه استقرار درها در آن را نشان می‌دهد. در کنار هریک از درها، فضایی جهت انبارش موقت کالاها درنظر گرفته شده است و این درها به‌کمک شبکه‌ای از راهروها به یکدیگر متصل شده‌اند. مساحت این انبار متقاطع ۸۰۰۰ مترمربع و در مجموع دارای ۶ در منعطف با قابلیت ارائه همزمان خدمات دریافت و ارسال می‌باشد. هریک از کامیون‌های ورودی به یکی از درها تخصیص‌یافته و کالاهای موجود در آن پس از تخلیه در محل انبارش در موردنظر، توسط تجهیزات حمل درون انبار به محل انبارش مجاور در تخصیص‌یافته به کامیون خروجی خود منتقل و سپس در کامیون خروجی بارگیری می‌شوند. برنامه عملیاتی یک روز این مرکز جهت بررسی در این پژوهش انتخاب شده است. در ابتدای شیفت کاری ۹ کامیون ورودی شامل ۲۶۶ پالت از ۱۲ نوع محصول متفاوت کارخانه‌های مختلف گروه به مرکز وارد می‌شود. جدول (۲) تعداد پالت از محصولات مختلف موجود در هر کامیون ورودی را نشان می‌دهد. این محصولات باید در ۱۲ کامیون خروجی براساس تقاضای موجود در جدول (۳) به مقصد شعب توزیع تحت پوشش مرکز ارسال شوند. جدول (۴) نیز فواصل بین درهای ترمینال مورد بررسی را نشان می‌دهد. به‌علت رعایت اختصار از ارائه سایر پارامترهای ورودی مدل خودداری شده است.




**شکل (۱). طرح شماتیک ترمینال انبار متقاطع و شیوه استقرار درها**

**جدول (۲). تعداد پالت محصولات مختلف در هریک از کامیون‌های ورودی**

| محصول / کامیون | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ورودی ۱ | ۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ورودی ۲ | ۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ورودی ۳ | ۲۰ | ۵ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ورودی ۴ | ۲۰ | ۵ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ورودی ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ | ۷ | ۱۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ورودی ۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۵ | ۱۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ورودی ۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۸ | ۸ | ۱۲ | ۲ | ۰ | ۰ |
| ورودی ۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۲ | ۱۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ورودی ۹ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۰ | ۲۰ |

**جدول (۳). تعداد پالت تقاضای کامیون‌های خروجی از محصولات مختلف**

| محصول / کامیون | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خروجی ۱ | ۵ | ۵ | ۰ | ۰ | ۳ | ۰ | ۵ | ۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| خروجی ۲ | ۰ | ۱۰ | ۲ | ۰ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۰ |
| خروجی ۳ | ۵ | ۰ | ۰ | ۳ | ۰ | ۶ | ۳ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| خروجی ۴ | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ | ۰ | ۰ | ۵ | ۰ | ۰ | ۵ |
| خروجی ۵ | ۵ | ۰ | ۵ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ |
| خروجی ۶ | ۰ | ۱۰ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ |
| خروجی ۷ | ۰ | ۵ | ۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| خروجی ۸ | ۵ | ۰ | ۲ | ۵ | ۰ | ۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ | ۰ |
| خروجی ۹ | ۷ | ۰ | ۰ | ۲ | ۶ | ۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ | ۰ |
| خروجی ۱۰ | ۰ | ۱۰ | ۸ | ۰ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲ | ۰ | ۰ |
| خروجی ۱۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۳ | ۶ | ۰ | ۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| خروجی ۱۲ | ۸ | ۰ | ۰ | ۲ | ۰ | ۰ | ۵ | ۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ |

**جدول (۴). فواصل بین درهای ترمینال انبار متقاطع**

| شماره در | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۳۰ | ۲۵ | ۲۰ |
| ۲ | ۲۵ | ۰ | ۱۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۵ |
| ۳ | ۳۰ | ۱۰ | ۰ | ۲۵ | ۲۰ | ۳۰ |
| ۴ | ۳۰ | ۲۰ | ۲۵ | ۰ | ۱۰ | ۳۰ |
| ۵ | ۲۵ | ۲۰ | ۲۰ | ۱۰ | ۰ | ۲۵ |
| ۶ | ۲۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۳۰ | ۲۵ | ۰ |

برای حل مدل پیشنهادی در کلیه محاسبات به‌کار رفته در این پژوهش از حل‌کننده CPLEX در نرم‌افزار GAMS و رایانه با مشخصات Intel(R) Core(TM) i7-2670QM CPU @ 2.20GHz و 6.00G RAM استفاده شده است. جدول (۵) چگونگی تخصیص کامیون‌های ورودی و خروجی به درها و همچنین زمان شروع و پایان پردازش هر کامیون را نشان می‌دهد. مقدار ضریب شدنی بودن ($\alpha$) در رویکرد پیشنهادی نیز برابر با ۰/۵ درنظر گرفته شده است.

در جدول (۶)، مقدار تابع هدف مسأله با فرض درنظرگرفتن تابع هدف اول و تابع هدف دوم به‌تنهایی و رویکرد دوهدفه پیشنهادی این پژوهش نشان‌داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که درصورت درنظرگرفتن تابع هدف اول (زمان پایان کل عملیات) هر شش در ترمینال انبار متقاطع جهت بارگیری و تخلیه مورد استفاده قرار خواهد گرفت. اما باتوجه به چالش‌های فعال‌سازی همزمان تمامی درها، مانند نیاز به حجم بالای تجهیزات تخلیه و بارگیری و نیروی انسانی، تابع هدف دوم سعی در حداقل کردن تعداد درهای لازم برای انجام عملیات تخلیه و بارگیری دارد. نتایج نشان می‌دهد با استفاده از مدل دوهدفه پیشنهادی و رویکرد عدم‌قطعیت توسعه داده شده می‌توان این ملاحظه را در مدیریت عملیات انبار متقاطع درنظر گرفت و در ازای افزایش زمان پایان عملیات از ۶۴/۷۵ به ۹۹/۵، تعداد درهای فعال را از ۶ در به ۳ در کاهش داد.

پس از تخصیص کامیون‌های ورودی به درها، کالاهای موجود در آن تخلیه شده و در محل انبارش موقت مربوط به همان در استقرار می‌یابند. سپس هر کالا بسته به اینکه به کدام کامیون خروجی

تخصیص‌یافته و آن کامیون در سکوی کدام در استقرار داشته باشد، بین درها حمل می‌شود. به‌عنوان نمونه براساس نتایج جدول (۵)، دو کامیون ورودی ۳ و ۸ به در شماره ۳ تخصیص یافته‌اند که براساس داده‌های جدول (۲) به‌ترتیب حامل ۳۰ و ۲۶ پالت از محصولات مختلف هستند. جدول (۷) نشان می‌دهد محصولات موجود در کامیون‌های ورودی ۳ و ۸ به کدام کامیون‌های خروجی تخصیص‌یافته و هریک از کامیون‌های خروجی برای بارگیری این محصولات باید به کدام در از درهای ترمینال انبار متقاطع مراجعه کنند.

**جدول (۵). چگونگی تخصیص کامیون‌ها به درها و زمان شروع و پایان عملیات**

| کامیون | در تخصیص‌یافته | زمان شروع عملیات | زمان پایان عملیات |
|---|---|---|---|
| ورودی ۱ | ۵ | ۲۳/۲۵ | ۳۸/۲۵ |
| ورودی ۲ | ۵ | ۵۴ | ۶۹ |
| ورودی ۳ | ۳ | ۲۳/۲۵ | ۳۸/۲۵ |
| ورودی ۴ | ۵ | ۳۸/۷۵ | ۵۳/۷۵ |
| ورودی ۵ | ۲ | ۳۹/۵ | ۵۴/۵ |
| ورودی ۶ | ۲ | ۲۴/۲۵ | ۳۹/۲۵ |
| ورودی ۷ | ۲ | ۹ | ۲۴ |
| ورودی ۸ | ۳ | ۱۰ | ۲۳ |
| ورودی ۹ | ۵ | ۸ | ۲۳ |
| خروجی ۱ | ۳ | ۴۸/۷۵ | ۶۰/۷۵ |
| خروجی ۲ | ۳ | ۶۹/۷۵ | ۸۳/۲۵ |
| خروجی ۳ | ۲ | ۶۶/۵ | ۷۷/۵ |
| خروجی ۴ | ۵ | ۸۷ | ۹۹/۵ |
| خروجی ۵ | ۳ | ۳۸/۵ | ۴۸/۵ |
| خروجی ۶ | ۳ | ۶۱ | ۶۹/۵ |
| خروجی ۷ | ۵ | ۶۹/۵ | ۷۸ |
| خروجی ۸ | ۲ | ۷۷/۷۵ | ۸۸/۲۵ |
| خروجی ۹ | ۲ | ۵۴/۷۵ | ۶۶/۲۵ |
| خروجی ۱۰ | ۲ | ۸۸/۵ | ۹۹/۵ |
| خروجی ۱۱ | ۵ | ۷۸/۲۵ | ۸۶/۷۵ |
| خروجی ۱۲ | ۳ | ۸۴ | ۹۹/۵ |

**جدول (۶). مقایسه مقادیر تابع هدف در مدل دوهدفه پیشنهادی و حالت تک‌هدفه**

| | مقدار تابع هدف اول | مقدار تابع هدف دوم |
|---|---|---|
| بهینگی تابع هدف اول | ۶۴/۷۵ | ۶ |
| بهینگی تابع هدف دوم | ۲۷۸ | ۱ |
| مدل دوهدفه پیشنهادی | ۹۹/۵ | ۳ |

**جدول (۷). شیوه تخصیص پالت محصولات مختلف داخل کامیون‌های ورودی ۳ و ۸ به کامیون‌های خروجی**

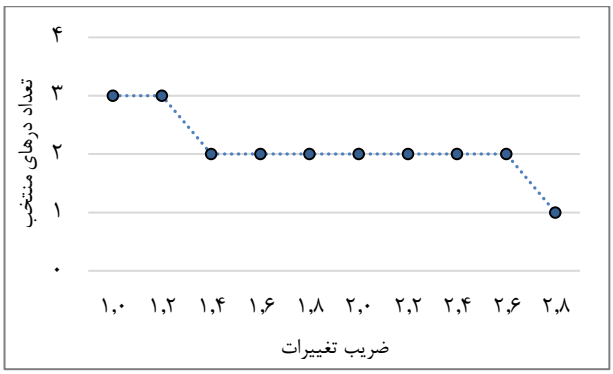
| کامیون ورودی | شماره در | نوع محصول | تعداد | کامیون خروجی | شماره در |
|---|---|---|---|---|---|
| ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۱۰ | ۳ |
| | | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۳ |
| | | ۱ | ۱۰ | ۱۳ | ۵ |
| | | ۳ | ۲ | ۱۴ | ۳ |
| | | ۳ | ۳ | ۱۶ | ۵ |
| | | ۱ | ۷ | ۱۸ | ۲ |
| ۸ | ۳ | ۷ | ۵ | ۱۰ | ۳ |
| | | ۸ | ۶ | ۱۰ | ۳ |
| | | ۷ | ۳ | ۱۲ | ۲ |
| | | ۸ | ۵ | ۱۲ | ۲ |
| | | ۷ | ۴ | ۱۶ | ۵ |
| | | ۸ | ۳ | ۲۱ | ۳ |

نتایج نشان می‌دهد، برای برخی از کالاها، کامیون‌های ورودی و خروجی هر دو به یک در اختصاص‌یافته و کالاها پس از تخلیه در محل انبارش در، در کامیون خروجی تخصیص‌یافته به همان در بارگیری می‌شوند. به‌عنوان نمونه ۲۴ پالت از کالاهایی که در محل در شماره ۳ تخلیه می‌شوند، مجدداً در همان در داخل کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند. جدول (۸) تعداد پالت محصولاتی که بین درهای انتخاب شده جابجا می‌شود را نشان می‌دهد. سایر کالاهای تخلیه شده در محل در شماره ۳ به‌ترتیب ۱۵ پالت به در شماره ۲ و ۱۷ پالت به در شماره ۵ منتقل می‌شوند.

**جدول (۸). تعداد پالت کالای جابجا شونده بین درهای منتخب**

| | در شماره ۲ | در شماره ۳ | در شماره ۵ |
|---|---|---|---|
| در شماره ۲ | ۳۳ | ۳۵ | ۲۲ |
| در شماره ۳ | ۱۵ | ۲۴ | ۱۷ |
| در شماره ۵ | ۴۰ | ۶۰ | ۲۰ |

درادامه جهت بررسی کارکرد مدل پیشنهادی، حساسیت نتایج نسبت به تغییر در فاصله بین درها در شکل (۲) بررسی شده است. برای این منظور فاصله بین درها با استفاده از یک ضریب تغییرات به‌صورت تدریجی افزایش پیدا کرده است. با افزایش ۱/۴ برابری در فاصله بین درها، تعداد دو در برای جابجایی محصولات انتخاب شده است تا از میزان جابجایی کالاها در مسافت بین درها کاسته شود. به‌همین ترتیب نهایتاً با افزایش ۲/۸ برابری در فاصله بین درها، تنها یک در برای تخصیص کلیه کامیون‌های ورودی و خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.




**شکل (۲). تغییرات تعداد درهای منتخب به‌ازای تغییر در مسافت بین درها**

یکی از نوآوری‌های پژوهش حاضر، ارائه رویکرد حل ترکیبی جدیدی برای مواجهه با مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه امکانی بوده است. به‌منظور ارزیابی کارایی و اعتبارسنجی رویکرد حل پیشنهادی، نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از رویکرد پیشنهادی لای و هوآنگ [۳۶] و رویکرد پیشنهادی علوی‌دوست و همکاران [۳۷] مقایسه شده است. برای این منظور، پس از پیاده‌سازی گام ۱ رویکرد حل ترکیبی پیشنهادی و ایجاد مدل چندهدفه قطعی، به‌جای گام‌های بعدی روش پیشنهادی از روش‌های ذکر شده برای حل مدل استفاده شده است. به‌منظور مقایسه کارکرد رویکرد پیشنهادی با دو روش مذکور، کارکرد آن‌ها در حل مسأله مطالعه موردی پژوهش در مقادیر مختلف ضریب شدنی بودن ($\alpha$) بررسی و نتایج در جدول (۹) ارائه شده است. در مقدار $\alpha$ برابر صفر، سه روش به مقادیر یکسانی برای هر دو تابع هدف دست پیدا کردند. با افزایش در مقدار $\alpha$ به ۰/۲، مقدار تابع هدف دوم در هر سه روش یکسان، اما مقدار تابع هدف اول در روش پیشنهادی ۹۵/۲۵ بود که کارکرد آن بهتر از دو روش دیگر با مقدار ۹۷ است. در سایر مقادیر میانی $\alpha$ (۰/۴ و ۰/۶) با وجود یکسان بودن نتایج حاصل از به‌کارگیری روش پیشنهادی با دو روش دیگر در مقدار تابع هدف دوم، مقدار تابع هدف اول حاصل از به‌کارگیری روش پیشنهادی حداقل به‌خوبی مقدار تابع هدف اول در دو روش دیگر بوده و نیز روش پیشنهادی کارکرد بهتری نسبت به یکی از آن‌ها دارد. در مقادیر بالاتر $\alpha$ (۰/۸ و ۱) با وجود یکسان بودن مقدار تابع هدف دوم، روش پیشنهادی در مقایسه با هر دو روش دیگر کارکرد بهتری در دستیابی به جواب مرجح برای تابع هدف اول مسأله دارد. در شکل (۳) مقدار تابع هدف دوم (زمان کل عملیات) در روش پیشنهادی با روش‌های موجود مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در تابع هدف دوم، به‌ویژه در مقادیر بزرگتر آلفا کارکرد بهتری نسبت به روش‌های موجود دارد.

## ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی امکانی جدید برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در یک ترمینال انبار متقاطع با درهای منعطف پیشنهاد شده است که در آن فاصله زمانی بین درها نیز در تخصیص کامیون‌ها به درها درنظر گرفته شده است. هدف اول مدل توسعه داده شده، حداقل کردن زمان کل عملیات و هدف دوم حداقل کردن تعداد درهای مورداستفاده در عملیات می‌باشد. به دلیل عدم‌قطعیت در برخی از پارامترهای مدل، از اعداد فازی مثلثی برای مواجهه با عدم‌قطعیت موجود در پارامترها استفاده شده است. همچنین یک رویکرد ترکیبی جدید مبتنی‌بر برنامه‌ریزی جبرانی برای حل مسائل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه ارائه شده است. درادامه، کارکرد مدل و رویکرد حل پیشنهادی در زمان‌بندی عملیات یک شیفت کاری در یک انبار متقاطع در یک گروه صنعتی فعال در صنعت غذا و نوشیدنی بررسی شده است.

**جدول (۹). مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های موجود**

| ضریب شدنی بودن ($\alpha$) | رویکرد ترکیبی پیشنهادی | | لای و هوآنگ (۱۹۹۳) | | علوی‌دوست و همکاران (۲۰۱۶) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | تابع هدف ۱ | تابع هدف ۲ | تابع هدف ۱ | تابع هدف ۲ | تابع هدف ۱ | تابع هدف ۲ |
| ۰ | ۹۳ | ۳ | ۹۳ | ۳ | ۹۳ | ۳ |
| ۰/۲ | ۹۵/۲۵ | ۳ | ۹۷ | ۳ | ۹۷ | ۳ |
| ۰/۴ | ۹۸/۵ | ۳ | ۱۰۱/۵ | ۳ | ۹۸/۵ | ۳ |
| ۰/۶ | ۱۰۲/۲۵ | ۳ | ۱۰۵ | ۳ | ۱۰۲/۲۵ | ۳ |
| ۰/۸ | ۱۴۳/۵ | ۲ | ۱۴۷/۵ | ۲ | ۱۴۵ | ۲ |
| ۱ | ۱۴۸/۲۵ | ۲ | ۱۵۷ | ۲ | ۱۵۷ | ۲ |

**شکل (۳). مقایسه مقدار تابع هدف دوم در روش پیشنهادی با روش‌های موجود**

مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش که می‌تواند به مدیران در جهت اداره بهتر ترمینال‌های انبار متقاطع یاری رساند عبارت‌اند از:

- نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از روش‌های مناسب برای مواجهه با عدم قطعیت می‌تواند ابزار سودمندی را در جهت مدیریت بهتر سیستم‌های انبار متقاطع دراختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان قرار دهد. با بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثی در روش پیشنهادی این پژوهش، می‌توان اثرات ناشی از رخدادهای پیش‌بینی نشده را درنظر گرفت و پایداری تصمیمات در مواجه با این رخدادها را افزایش داد. بنابراین در مدیریت عملیات انبارهای

متقاطع، تصمیم‌گیرندگان باید به منابع ایجاد عدم قطعیت و تکنیک‌های مواجهه با آن‌ها توجه داشته باشند.

- باتوجه به اینکه بخش عمده‌ای از هزینه‌های جاری در یک ترمینال انبار متقاطع صرف نیروی انسانی و تجهیزات دخیل در فرآیند حمل‌ونقل کالاها در داخل ترمینال می‌شود، لذا مدیریت این هزینه‌ها لازمه مدیریت کارآمد عملیات در انبار متقاطع می‌باشد. فعال‌بودن درهای متعدد منجربه افزایش تعداد نفرات و تجهیزات آماده‌به‌کار خواهد بود که وجود آن‌ها به‌رغم افزایش در سرعت پردازش کالاها و ارتقای سطح پاسخ‌گویی در انبار متقاطع، به‌دلیل هزینه بالا کارایی را به‌شدت کاهش می‌دهد، به‌ویژه اینکه در عمل احتمال بیکاری نفرات و تجهیزات با افزایش تعداد درهای فعال افزایش می‌یابد. با درنظرگرفتن تابع هدف حداقل کردن تعداد درهای فعال در عملیات تخلیه و بارگیری در کنار تابع هدف حداقل کردن زمان کل عملیات، می‌توان با وجود افزایش در زمان کل عملیات از ۶۴/۷۵ به ۹۹/۵، تعداد درهای فعال را از ۶ در به ۳ در کاهش داد.
- به‌منظور بررسی اثرگذاری تغییر در فاصله بین درها در مقدار متغیرهای تصمیم مسأله، مقدار متغیرها با تغییر تدریجی این پارامتر ارزیابی شد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان داد با افزایش فاصله بین درها، تعداد درهای فعال کاهش می‌یابد.
- مقایسه کارکرد رویکرد ترکیبی پیشنهادی پژوهش حاضر در حل مسائل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه در سطوح مختلف ضریب شدنی بودن با دو روش از روش‌های شناخته شده در ادبیات موضوع نشان داد، رویکرد حل پیشنهادی در مقایسه با روش‌های قبلی کارکرد بهتری داشته و به نتایج مطلوب‌تری دست یافته است.

به‌عنوان موضوعی برای تحقیقات آتی، پیشنهاد می‌شود موعد تحویل محصولات و همچنین میزان دیرکرد در تحویل محصولات به مقاصد نهایی به‌عنوان یکی از اهداف تصمیم‌گیری به مدل اضافه شود. همچنین باتوجه به عدم قطعیت موجود در برخی از پارامترهای مسأله، استفاده از اعداد فازی توسعه‌یافته می‌تواند تصویر روشن‌تری از پارامترهای غیرقطعی مدل ارائه کرده و به پایداری بیشتر نتایج یاری رساند. با وجود کارآیی مدل و روش حل پیشنهادی در حل مسأله مطالعه موردی پژوهش، تلاش جهت توسعه الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل مسائل در اندازه‌های بزرگ‌تر نیز ازجمله مواردی است که می‌تواند به‌عنوان تحقیقات آتی مدنظر پژوهشگران قرار گیرد.

## ضمیمه: مفاهیم مقدماتی

منطق فازی که نخستین‌بار توسط زاده در سال ۱۹۶۵ مطرح شد، یک منطق چندارزشی است که اجازه می‌دهد مقادیر حد وسط دربین ارزیابی‌های متداول مانند درست/غلط، زیاد/کم و بله/خیر تعریف شده و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قابل‌اتکا برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای مسأله مورداستفاده قرار گیرد. $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ یک عدد فازی مثلثی را نشان می‌دهد که در آن درجه عضویت به‌ازای مقادیر مختلف پارامترها به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & for\ x < a_1 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1} & for\ a_1 \le x \le a_2 \\ \dfrac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & for\ a_2 \le x \le a_3 \\ 0 & for\ x > a_3 \end{cases} \quad (A۱)$$

دو عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ را درنظر بگیرید، در به‌کارگیری اعداد فازی مثلثی در این مقاله، تعاریف و قواعد زیر رعایت شده است:

عدد فازی مثلثی مثبت: $\tilde{A}$ یک عدد فازی مثلثی مثبت است اگر $a_i > 0,\ \forall i$.

عدد فازی مثلثی منفی: $\tilde{A}$ یک عدد فازی مثلثی منفی است اگر $a_i < 0,\ \forall i$.

تساوی دو عدد فازی مثلثی: دو عدد فازی مثلثی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ برابرند اگر و تنها اگر $a_1 = b_1$، $a_2 = b_2$ و $a_3 = b_3$.

عملگرهای جبری فازی:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (A۲)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (A۳)$$

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = (\min(a_1b_1, a_1b_3, a_3b_1, a_3b_3), a_2b_3, \max(a_1b_1, a_1b_3, a_3b_1, a_3b_3)) \quad (A۴)$$

$$\tilde{A}/\tilde{B} = (\min(a_1/b_1, a_1/b_3, a_3/b_1, a_3/b_3), a_2/b_3, \max(a_1/b_1, a_1/b_3, a_3/b_1, a_3/b_3)) \quad (A۵)$$

## مراجع


[1] Shahabi-Shahmiri, R., Asian, S., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mousavi, S. M., & Rajabzadeh, M. (2021). A routing and scheduling problem for cross-docking networks with perishable products, heterogeneous vehicles and split delivery. Computers & Industrial Engineering, 157, 107299.

[2] Rijal, A., Bijvank, M., & de Koster, R. (2019). Integrated scheduling and assignment of trucks at unit-load cross-dock terminals with mixed service mode dock doors. European Journal of Operational Research, 278(3), 752-771.

[3] Boysen, N., & Fliedner, M. (2010). Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. Omega, 38(6), 413-422.

[4] Bartholdi, J. J., & Gue, K. R. (2004). The best shape for a crossdock. Transportation science, 38(2), 235-244.

[5] Berghman, L., Briand, C., Leus, R., & Lopez, P. (2015, January). The truck scheduling problem at crossdocking terminals-exclusive versus mixed mode. In 4th international conference on operations research and enterprise systems (ICORES 2015) (pp. pp-247).

[6] Bodnar, P., de Koster, R., & Azadeh, K. (2017). Scheduling trucks in a cross-dock with mixed service mode dock doors. Transportation Science, 51(1), 112-131.

[7] Yu, W., & Egbelu, P. J. (2008). Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. European journal of operational research, 184(1), 377-396.

[8] Chen, F., & Lee, C. Y. (2009). Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem. European Journal of Operational Research, 193(1), 59-72.

[9] Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2010). Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. OR spectrum, 32(1), 135-161.

uncertainty. Expert Systems with Applications, 182, 114889.
[24] Castellucci, P. B., Costa, A. M., & Toledo, F. (2021). Network scheduling problem with cross-docking and loading constraints. Computers & Operations Research, 132, 105271.
[25] Resat, H. G., Berten, P., Kilek, Z., & Kalay, M. B. (2021). Design and Development of Robust Optimization Model for Sustainable Cross-Docking Systems: A Case Study in Electrical Devices Manufacturing Company. In Sustainable Packaging (pp. 203-224). Springer, Singapore.
[26] Dulebenets, M. A. (2021). An Adaptive Polyploid Memetic Algorithm for scheduling trucks at a cross-docking terminal. Information Sciences, 565, 390-421.
[27] Gaudioso, M., Monaco, M. F., & Sammarra, M. (2021). A Lagrangian heuristics for the truck scheduling problem in multi-door, multi-product Cross-Docking with constant processing time. Omega, 101, 102255.
[28] Theophilus, O., Dulebenets, M. A., Pasha, J., Lau, Y. Y., Fathollahi-Fard, A. M., & Mazaheri, A. (2021). Truck scheduling optimization at a cold-chain cross-docking terminal with product perishability considerations. Computers & Industrial Engineering, 156, 107240.
[29] Wu, G. H., Chen, Y. T., & Chen, K. H. (2022). Hybrid Algorithms for Inbound and Outbound Truck Scheduling in Cross-Docking Systems. Applied Sciences, 12(21), 10931.
[30] Meidute-Kavaliauskiene, I., Sütütemiz, N., Yıldırım, F., Ghorbani, S., & Činčikaitė, R. (2022). Optimizing Multi Cross-Docking Systems with a Multi-Objective Green Location Routing Problem Considering Carbon Emission and Energy Consumption. Energies, 15(4), 1530.
[31] Tavana, M., Kian, H., Nasr, A. K., Govindan, K., & Mina, H. (2022). A comprehensive framework for sustainable closed-loop supply chain network design. Journal of Cleaner Production, 332, 129777.
[32] Y. J. Lai, and C. L. Hwang, Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications, Springer-Verlag (1992).
[33] M. Jiménez, M. Arenas, A. Bilbao, M. V. Rodrı, Linear programming with fuzzy parameters: An interactive method resolution, European Journal of Operational Research, 177(3) (2007), 1599-609.
[34] H. J. Zimmermann, Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, Fuzzy sets and systems, 1(1) (1978), 45-55.
[35] D. Ozgen, B. Gulsun, Combining possibilistic linear programming and fuzzy AHP for solving the multi-objective capacitated multi-facility location problem, Information Sciences, 268 (2014), 185-201.
[36] Y. J. Lai, C. L. Hwang, Possibilistic linear programming for managing interest rate risk, Fuzzy Sets and Systems, 54(2) (1993), 135-146.
[37] M. H. Alavidoost, H. Babazadeh, S. T. Sayyari, An interactive fuzzy programming approach for bi-objective straight and U-shaped assembly line balancing problem, Applied soft computing, 40 (2016), 221-235.
[10] Vahdani, B., & Zandieh, M. (2010). Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics. Computers & Industrial Engineering, 58(1), 12-24.
[11] Liao, T. W., Egbelu, P. J., & Chang, P. C. (2012). Two hybrid differential evolution algorithms for optimal inbound and outbound truck sequencing in cross docking operations. Applied Soft Computing, 12(11), 3683-3697.
[12] Chen, F., & Song, K. (2009). Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem. Computers & Operations Research, 36(6), 2066-2073.
[13] Van Belle, J., Valckenaers, P., Berghe, G. V., & Cattrysse, D. (2013). A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows. Computers & Industrial Engineering, 66(4), 818-826.
[14] Bellanger, A., Hanafi, S., & Wilbaut, C. (2013). Three-stage hybrid-flowshop model for cross-docking. Computers & Operations Research, 40(4), 1109-1121.
[15] [Gelareh, S., Glover, F., Guemri, O., Hanafi, S., Nduwayo, P., & Todosijević, R. (2020). A comparative study of formulations for a cross-dock door assignment problem. Omega, 91, 102015.
[16] Correa Issi, G., Linfati, R., & Escobar, J. W. (2020). Mathematical optimization model for truck scheduling in a distribution center with a mixed service-mode dock area. Journal of Advanced Transportation, 2020.
[17] Shahmardan, A., & Sajadieh, M. S. (2020). Truck scheduling in a multi-door cross-docking center with partial unloading–Reinforcement learning-based simulated annealing approaches. Computers & Industrial Engineering, 139, 106134.
[18] Sayed, S. I., Contreras, I., Diaz, J. A., & Luna, D. E. (2020). Integrated cross-dock door assignment and truck scheduling with handling times. Top, 28(3), 705-727.
[19] Mirzaei, E. & Mousavi, S. M. (2020). A Bi-Objective Mathematical Programming Model for Truck Scheduling Problem in A Cross-Dock System Considering the Sequencing and Outsourcing Of Products Under Interval-Valued Fuzzy Uncertainty Conditions. Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, 8(16), 137-157.
[20] Buakum, D., & Wisittipanich, W. (2020). Stochastic internal task scheduling in cross docking using chance-constrained programming. International Journal of Management Science and Engineering Management, 15(4), 258-264.
[21] Afsharpour, B., & Rbani, M. (2021). Open Vehicle Routing Problem with Cross-Docking and Split Deliveries. Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, 8(17), 311-319.
[22] Azimi, F., Mousavi, S. M., & Rajabzadeh, M. (2019). A Grey Mathematical Programming Model to Salvage or Re-Commercialize Commodities in Reverse Logistics Management with Consideration of Cross Dock. Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, 7(14), 163-177.
[23] Essghaier, F., Allaoui, H., & Goncalves, G. (2021). Truck to door assignment in a shared cross-dock under

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2022, Volume 10., No. 21., pp. 119-133
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/IER.2023.27388.2115

# A Bi-Objective Possiblistic Programming Model for Truck Scheduling in a Cross-Docking System with Flexible Dock Doors Considering Transshipment Time

**M. Rajabzadeh[1], SM. Mousavi[2*]**

[1.] PhD student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran
[2.] Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 18 Jul 2022
Accepted 26 Dec 2022

***Keywords*:**

Cross-Docking
Truck Scheduling
Multi-Objective Possibilistic Programming
Compromise Programming
Food and Beverage Industry

ABSTRACT

Through a cross-docking strategy in logistics, goods are unloaded from inbound trucks and loaded onto outbound trucks with minimal storage. The management of equipment and manpower involved in unloading goods, moving them within the terminal, and reloading them on outgoing trucks is one of the most challenging aspects of cross-docking management. In this paper, a new bi-objective mixed-integer linear programming model is presented for scheduling incoming and outgoing trucks in a cross-docking terminal with flexible doors, where the distance between doors and the time for moving trucks inside the cross-dock are also taken into account. As a first objective, the proposed model attempts to minimize the total operation time, and as a second objective, it aims to manage the equipment and manpower required in the cross-docking terminal by minimizing the number of doors involved in unloading and loading operations. Considering the uncertainty of the parameters, triangular fuzzy numbers are used to deal with the uncertainty, and a hybrid solution approach is developed for solving multi-objective possibilistic programming problems. The proposed model and solving approach are used for scheduling incoming and outgoing trucks at a cross-docking terminal as part of a food and beverage-producing group, and the results are compared with two existing methods. The results show that the proposed method performs better compared to existing methods.

[*] Corresponding author. SM. Mousavi
*Tel.:021-51212091; E-mail address: sm.mousavi@shahed.ac.ir*