

مدل ریاضی دو هدفه برای مسئله زمان‌بندی کامیون در یک سیستم انبار متقاطع با در نظر گرفتن ترتیب توالی و برون‌سپاری محصولات تحت شرایط عدم قطعیت فازی بازه‌ای

احسان میرزائی^۱، سید میثم موسوی^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

خلاصه

در این مقاله یک مسئله زمان‌بندی کامیون ورودی و خروجی در یک سیستم چندین درب انبار متقاطع با فرض موعد تحویل برای کامیون‌های خروجی به عنوان یک محدودیت سخت بررسی می‌شود؛ برای رعایت زمان موعد تحویل، رضایت مشتریان و افزایش کیفیت محصولات بخشی از محصولات در داخل کامیون‌های برون‌سپاری قرار داده می‌شوند. مسئله مورد بررسی به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه فرموله می‌شود و اهداف آن شامل به حداقل رساندن هزینه عملیاتی و حداکثر کردن کیفیت محصولات ارسالی در انبار متقاطع است. در این تحقیق توالی کامیون‌ها در پشت درب‌های ورودی و خروجی در انبار متقاطع در نظر گرفته می‌شود. همچنین ترتیب توالی محصولات در تخلیه کامیون‌های ورودی و بارگیری کامیون‌های خروجی مورد بررسی قرار می‌گیرد. یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح برای این مساله پیشنهادی فرمول‌بندی می‌شود. از آنجایی که در دنیای واقعی عدم قطعیت یک امر اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، جهت حل مدل مذکور از یک روش بهبود یافته جدید فازی بازه‌ای IVF-SO استفاده می‌گردد. در این تحقیق جهت نشان دادن کارایی مدل و رویکرد ارائه شده، یک مثال دنیای واقعی برای توجیه عملکرد ارائه شده است. نتایج عددی حاصل از مطالعه موردی انجام شده، برتری رویکرد پیشنهادی را نسبت به روش‌های قبل نشان می‌دهد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۸/۱۲/۱۷

پذیرش ۱۳۹۹/۵/۱۴

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

انبار متقاطع

زمان بندی

دو تابع هدف

موعد تحویل

ترتیب توالی محصولات

برون‌سپاری

۱. مقدمه

عملیات ذخیره‌سازی و انتخاب سفارش پرهزینه‌ترین آن‌ها هستند. ذخیره‌سازی به دلیل هزینه نگهداری موجودی و انتخاب سفارش به دلیل حجم کاری زیاد پرهزینه هستند. تخمین زده می‌شود که انبار متقاطع می‌تواند تا ۷۰٪ هزینه انبارداری را کاهش دهد. علاوه بر آن، انبار متقاطع یک تکنیک لجستیکی است که عملکردهای ذخیره‌سازی و جمع‌آوری سفارش یک انبار را به حداقل می‌رساند و در عین حال اجازه می‌دهد تا عملکردهای دریافت و حمل‌ونقل را نیز انجام دهد. در یک مدل انبار متقاطع، مشتری قبل از ورود محصول به انبار شناخته می‌شود و نیازی به انتقال آن به انبار نیست [۱]. انبار متقاطع یک استراتژی مدرن است که برای کاهش هزینه‌های

انبار متقاطع یک مفهوم در زمینه مدیریت انبار است که در آن کالاهای تحویل شده توسط یک کامیون تحویل به انبار بلافاصله بر اساس خواسته مشتری مرتب شده و سازماندهی مجدد می‌شوند و در کامیون‌های تحویل به مشتریان، هدایت و بارگیری می‌شوند، بدون آن‌که نیاز باشد در انبار نگهداری شوند. از آنجاکه دقت در مدیریت مواد در چنین عملیاتی مورد نیاز است، باید توجه داشت که عملیات انبار متقاطع یک عملیات به شدت وابسته به جریان دقیق اطلاعات است. به‌طور کلی، تسهیلات انبار متقاطع شامل چهار بخش است: دریافت، ذخیره‌سازی، انتخاب سفارش و حمل‌ونقل. از میان عملیات ذکر شده معمولاً دو

* نویسنده مسئول: سید میثم موسوی

از مهم‌ترین تصمیمات در عملیات روزانه انبارمتقاطع، زمان‌بندی کامیون است. با تعیین توالی مناسب برای کامیون‌ها، محصول به‌خوبی جریان یافته، زمان پردازش کاهش یافته و هزینه کل حداقل خواهد شد. در مسئله زمان‌بندی عملیات، کامیون‌ها از درب‌ها به‌عنوان منابع استفاده می‌نمایند؛ این در حالی است که در مسئله تخصیص، تخصیص کامیون به درب مدنظر است. به‌طور کلی، مسئله تخصیص بخشی از مسئله زمان‌بندی است [۱۲]. بررسی مسئله زمان‌بندی کامیون در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته و مورد توجه بسیاری از محققان در حوزه انبارمتقاطع قرار گرفته است. در نظر گرفتن مسئله تخصیص و زمان‌بندی در انبارمتقاطع به‌صورت یکپارچه در پژوهشی توسط مرجع [۱۳] مورد مطالعه قرار گرفته و بدین‌منظور یک مدل MILP را ارائه داده است. این پژوهش سعی در کمینه نمودن زمان‌بندی داشته و مطابق با نتایج حاصل از حل مدل، تخصیص‌های بهینه و مناسبی را ارائه داده است. در این پژوهش تخلیه کامیون‌های ورودی به‌صورت کامل انجام نشده و در واقع، بخشی از تخلیه انجام می‌پذیرد. این موضوع منجر به بهبود در نتایج حل شده است. به‌دلیل پیچیدگی مدل ارائه‌شده، برای حل آن از یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی شبیه‌سازی تبرید^{۱۲} بهره گرفته شده است. در مطالعه انجام‌شده [۱۴] یک دسته‌بندی از این مسائل ارائه شده است. در مطالعه انجام‌شده [۱۵]، یک مسئله زمان‌بندی و مسیریابی وسایل نقلیه به‌منظور کمینه نمودن هزینه حمل‌ونقل سیستم انبارمتقاطع را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها فرض پنجره زمانی را برای گره‌های برداشت و تحویل خود در نظر گرفته‌اند و برای حل مدل، از رویکرد فراابتکاری جستجو محلی متغیر بزرگ استفاده نموده‌اند. براساس تحقیق [۱۶]، یک مدل برای زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم انبارمتقاطع با هدف کمینه کردن مدت‌زمان انجام، ارائه داده شده و با استفاده از یک روش ترکیبی براساس تکنیک آزادسازی لاگرانژ^{۱۳} اقدام به حل آن نموده است.

بسیاری از نویسندگان مسئله زمان‌بندی کامیون را در یک انبارمتقاطع همراه با چند ورودی مطالعه کرده‌اند. در پژوهش [۱۷]، محققان مسئله زمان‌بندی کامیون‌های ورودی را با ورود کامیون‌های ناشناخته که کامیون‌ها در یک پنجره زمانی مشخص وارد محوطه بارانداز انبارمتقاطع می‌شوند، مورد مطالعه قرار دادند. ون بل^{۱۴} و همکاران [۱۸] مسئله زمان‌بندی کامیون‌ها را مورد مطالعه قرار دادند، با این فرض که هر کامیون زمان ورود منحصر به فردی داشته باشد اما این زمان از قبل مشخص باشد و علاوه بر آن، هر کامیون دارای زمان خروج از پیش تعیین شده بوده اما با این فرض که محدودیت موردنظر از جنس محدودیت نرم باشد.

تعداد کمی از تحقیقات زمان خروج از پیش تعیین‌شده برای

لجستیک در شبکه‌های توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنین راهبردی در بازار رقابتی امروز فواید قابل‌توجهی دارد و از پیاده‌سازی‌های موفقیت‌آمیز گزارش‌های بسیاری تهیه شده است [۲] و [۳].

براساس مطالعات انجام‌شده توسط [۴] و [۵]، تصمیمات صورت گرفته در سطح عملیاتی را می‌توان به سه دسته اصلی مسئله تخصیص (TDAP^۱)، مسئله زمان‌بندی (TSP^۲) و مسئله حمل‌ونقل (VRP^۳) تقسیم نمود.

مسئله تخصیص در بسیاری از تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است. این موضوع به دلیل تعیین برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت و میان‌مدت در عملیات انبارداری از اهمیت بالایی برخوردار است. بدیهی است که تخصیص مناسب درب‌های انبار به عملیات مربوطه، بسیار مؤثر بوده و باعث افزایش کارایی خواهد شد. مسئله تخصیص کامیون به بارانداز اولین بار توسط لیم [۶] نام‌گذاری شده است. براساس مطالعه انجام‌شده در تحقیق [۷] یک مسئله تخصیص همزمان درب انبار و توالی کامیون‌های ورودی برای یک عملیات چندین درب متقاطع با هدف حداقل نمودن کل وزن‌های تاخیر که در آن، زمان‌بندی خروجی ثابت بوده و چندین محصول در انبار را در نظر گرفته، ارائه شده است. این مطالعه توسعه‌ای از پژوهش انجام‌شده توسط [۸] بوده و برای حل این مسئله از شش الگوریتم SA^۴، TS^۵، ACO^۶، DE^۷ و دو الگوریتم HDE^۸ استفاده شده است. گلاره^۹ و همکاران [۹] یک مسئله تخصیص کامیون به بارانداز تحت محدودیت‌های زمان عملیاتی ناشی از حمل‌ونقل غیرمجاز ارائه داده‌اند و فرض پنجره زمانی برای هر وسیله نقلیه در انبار و ظرفیت محدود برای انبارمتقاطع را در نظر گرفته و برای حل مسئله تک هدفه خود از رویکرد دقیق شاخه و برش استفاده نموده‌اند. یک مسئله یکپارچه زمان‌بندی و تخصیص وسایل نقلیه به درب‌های ورودی در یک انبارمتقاطع توسط [۱۰] ارائه شده است که شامل دو مدل برای محیط استاتیک و دینامیک بوده و هدف آن، ارائه بهترین توالی کامیون‌های ورودی و تخصیص کامیون‌ها به درب بارانداز بوده به‌طوری که کل وزن هزینه‌های تاخیر و هزینه کار ناشی از درب و تخلیه محصول حداقل شود. همچنین در تحقیق یادشده، از رویکرد LP bound % برای حل مسئله برنامه‌ریزی خطی استفاده شده است. براساس مطالعه صورت گرفته توسط [۱۱] برای مواجهه با مسئله تخصیص در انبارمتقاطع (CDAP^{۱۱})، مدل‌های ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP^{۱۱}) جدیدی توسعه داده شده است. از آنجاکه تنها سه مدل MILP برای مواجهه با مسئله یادشده در ادبیات وجود دارد، مدل‌های ارائه‌شده در این پژوهش با یکدیگر و سپس با سه مدل موجود در ادبیات مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است.

8. Hybrid Differential Evolution
9. Gelareh
10. Cross-Docking Assignment Problem
11. Mixed Integer Linear Progeamming
12. Hybrid Heuristic-Simulated Annealing
13. Lagrangian Relaxation
14. Van Belle

1. Truck Dock Assignment Problem
2. Truck Scheduling Problem
3. Vehicle Routing Problem
4. Simulated Annealing
5. Tabu Search
6. Ant Colony Optimization
7. Differential Evolution

مذکور یک مدل ریاضی پویا ارائه شده است. در پژوهش انجام گرفته توسط [۲۴] کامیون ورودی در تخلیه محصول می‌تواند الگوی تکرارشونده داشته باشد؛ این بدان معنی است که هر کامیون ورودی می‌تواند به بیش از یک درب ورودی اختصاص یابد و عملیات تخلیه را انجام دهد. تمرکز این پژوهش در بهینه‌سازی توالی کامیون به درب با هدف کمینه نمودن زمان است. در این پژوهش یک مدل MILP برای حل مسئله در اندازه کوچک ارائه شده و از یک رویکرد ابتکاری برای حل مسئله در اندازه بزرگ بهره گرفته شده است.

با توجه به بررسی ادبیات مختلف در زمینه انبارمقاطع در تعداد بسیار کمی از مطالعات، عدم قطعیت مسئله مورد ارزیابی قرار گرفته است. این در حالی است که به دلیل پیچیدگی‌های موجود در دنیای واقعی، عدم قطعیت در بسیاری از مسائل کاربردی است و باید به طور جدی مورد توجه قرار گیرد. حال با توجه به پیچیدگی‌های موجود در دنیای واقعی، برخی از داده‌های این مسئله با عدم قطعیت مواجه است. برای در نظر گرفتن مسئله تحت شرایط عدم قطعیت، دو رویکرد عدم قطعیت فازی و احتمالی^۵ ارائه می‌شود [۲۵]. چنانچه توابع توزیع احتمالی براساس اطلاعات گذشته موجود از داده‌های یک مسئله موجود باشد، از رویکرد عدم قطعیت احتمالی در این گونه مسائل بهره گرفته می‌شود [۲۶]. این در حالی است که در اکثر اوقات، اطلاعاتی از گذشته داده‌ها موجود نبوده و توزیع احتمالی مشخصی برای آن‌ها نمی‌توان یافت؛ در این صورت بایستی از رویکرد عدم قطعیت فازی برای مواجهه با این دسته از مسائل بهره گرفت. این رویکرد براساس قضاوت خبرگان بوده و نظرات متخصصین و خبرگان جمع‌آوری می‌شود [۲۷، ۲۸]. تئوری مجموعه فازی برای نخستین بار توسط زاده [۲۹] ارائه داده شده است که در آن پارامترها و اعداد فازی با یک سطح رضایتمندی در یک محدوده مشخص به وسیله تابع درجه عضویت تعریف می‌شدند. براساس پژوهش انجام شده توسط [۳۰]، کاربرد تئوری فازی را در فرایندهای تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار داده‌اند. مطابق با بررسی‌های تحقیق یادشده، به سهولت در بیان اطلاعات توسط مدیران و خبرگانی که از نظرات آن‌ها در ارزیابی و مشخص نمودن پارامترها بهره گرفته، اشاره شده است. بر این اساس در این تحقیق و همچنین در مطالعه‌های دیگر از اعداد فازی مثلثی (TFN^۶) برای بیان پارامترها استفاده شده است. محدوده این دسته از اعداد شامل بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه است و توزیع درجه عضویت بین این حدود به صورت خطی در نظر گرفته شده است [۳۱، ۳۲]. لذا سهولت در محاسبات و سهولت در جمع‌آوری اطلاعات از مدیران و متخصصین، انگیزه استفاده از اعداد فازی مثلثی را بیشتر نموده و منجر به استفاده از آن در ادبیات موضوع شده است [۳۳-۳۵]. نوع دیگری از اعداد فازی، اعداد فازی با ارزش بازه‌ای شهودی (IV-IF)^۷ هستند که طبق پژوهش انجام شده توسط [۳۶] در یک چارچوب برای

کامیون‌ها را به‌عنوان یک محدودیت سخت بررسی کرده‌اند. میاو^۱ و همکاران [۱۹] برای اولین بار مسئله‌ای را در نظر گرفتند که در آن زمان رسیدن کامیون‌ها از قبل مشخص بوده و باهم متفاوت هستند که موجه بودن این مسئله به عواملی از جمله، پنجره زمانی ورود و خروج، زمان بارگیری محموله و ظرفیت انبارمقاطع بستگی دارد. بويسن^۲ و همکاران [۳]، یک مسئله زمان‌بندی کامیون‌های ورودی را در نظر گرفتند که در آن زمان خروج کامیون‌های خروجی ثابت است. تابع هدف این مسئله به حداقل رساندن سود ازدست‌رفته است. سود ازدست‌رفته در صورتی رخ می‌دهد که یک محموله قبل از خروج کامیون پردازش نشود. لیاو^۳ و همکاران [۷] وضعیتی را در نظر گرفتند که در آن کامیون‌ها باید انبارمقاطع را در یک‌زمان خروج از پیش تعیین شده ترک کنند.

فانتی^۴ و همکاران [۲۰] زمان‌بندی عملیات داخلی در انبارمقاطع را بررسی کردند. در این مسئله مقصد محصولات پس از ورود به انبارمقاطع مشخص می‌شود. عملیات داخلی در این مسئله به سه مرحله تخلیه، دسته‌بندی و تثبیت یا بارگیری تقسیم می‌شود. در مرحله تخلیه، کامیون‌ها باز شده و پالت‌های درون کامیون‌ها تخلیه می‌شوند و به محل نگهداری پالت‌ها جابجا می‌شوند. سپس جعبه‌های درون پالت‌ها تخلیه شده و به محل نگهداری جعبه‌ها جابه‌جا می‌شوند. در گام بعد، محصولات درون جعبه‌ها تخلیه می‌شوند. در ادامه محصولات بر اساس سفارش‌ها، درون جعبه‌های جدید قرار می‌گیرند و جعبه‌ها درون پالت‌ها و پالت‌ها درون کامیون‌های خروجی قرار می‌گیرند. این مسئله را بر اساس زمان و توالی مدل شده و از روش ابتکاری برای حل آن استفاده شده است. رضایی و خیرخواه [۲۱] یک شبکه زنجیره‌تأمین چند محصولی را در نظر گرفتند که انبارمقاطع نیز در این شبکه استفاده شده است. در این شبکه هم لجستیک روبه‌جلو و هم لجستیک معکوس لحاظ شده است. در ابتدا یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط با هدف کاهش کل هزینه‌ها ارائه شده و مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز حل شده است. در انتها مدل ارائه شده، در حالتی که لجستیک معکوس و روبه‌جلو به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته نشده است، مقایسه شده و نشان داده می‌شود که استفاده هم‌زمان لجستیک معکوس و روبه‌جلو باعث افزایش عملکرد شبکه می‌شود.

در پژوهش انجام شده توسط محتشمی و همکاران [۲۲]، یک مسئله مسیریابی سبز در سیستم‌های انبارمقاطع را مورد بررسی قرار داده و آن را به صورت یک مدل ریاضی دو هدفه فرمول‌بندی کردند که جهت حل آن از روش‌های فراابتکاری استفاده کرده‌اند.

در نظر گرفتن نیروی انسانی در انبارمقاطع براساس مطالعه [۲۳] مورد بررسی قرار گرفته و نیروی انسانی موقت را عاملی برای کمینه نمودن هزینه‌ها در نظر گرفته است. مطابق با این تحقیق با یک برنامه‌ریزی بهینه برای تخصیص و زمان‌بندی کارا در تحقق هدف

5. Stochastic

6. Triangular Fuzzy Numbers

7. Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy

1. Miao

2. Boysen

3. Liao

4. Fanti

جدول (۱): جدول مرور ادبیات موضوع

تحقیق	چند درب	چند محصولی	ترتیب محصول	توالی		عملیات داخل انبار
				کامیون‌های ورودی و خروجی	چند هدفه	
[۵۰]	✓					
[۴۲]		✓				
[۴۳]		✓				
[۴۴]		✓			✓	
[۴۵]		✓				
[۴۶]		✓			✓	✓
[۴۷]						
[۴۸]	✓	✓			✓	
[۴۹]	✓		✓		✓	✓
[۱۱]	✓					
[۱۳]	✓	✓			✓	
[۲۳]	✓				✓	
[۲۴]	✓	✓			✓	
تحقیق حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ادامه جدول (۱): مرور ادبیات موضوع

تحقیق	رویکرد عدم قطعیت						مطالعه موردی
	NA ^۴	F ^۵	EF ^۶	R ^۷	S ^۸	G ^۹	
[۵۰]		✓					
[۴۲]	✓						✓
[۴۳]		✓			✓		
[۴۴]	✓						✓
[۴۵]					✓		
[۴۶]	✓						
[۴۷]						✓	✓
[۴۸]					✓		
[۴۹]	✓						
[۱۱]							
[۱۳]							
[۲۳]							
[۲۴]							
تحقیق حاضر			✓				✓

- 5. Fuzzy
- 6. Extended Fuzzy
- 7. Robust
- 8. Stochastic
- 9. Gray

برنامه‌ریزی چندهدفه خطی ارائه شده‌اند. در این پژوهش یک مسئله تولید تحت شرایط عدم قطعیت ارائه‌شده و روشی برای مواجهه با آن ارائه گردیده است. اعداد فازی با ارزش بازه‌ای در پژوهش دیگری و در مسئله تصمیم‌گیری در مورد سبد سرمایه‌گذاری با هدف انتخاب ریسک سرمایه‌گذار و مدیریت سبد سرمایه‌گذاری و تأثیر آن در نرخ بازگشت سرمایه به کار گرفته شده است [۳۷، ۳۸]. علاوه بر این، مسئله مدیریت ریسک در زنجیره تأمین با بهره‌گیری از اعداد فازی با ارزش بازه‌ای توسط [۳۹] مورد بررسی قرار گرفته است. از دیگر کاربردهای این اعداد فازی با ارزش بازه‌ای می‌توان به پژوهش انجام‌گرفته توسط [۴۰] در طراحی شبکه سلامت با قابلیت اطمینان^۱ اشاره نمود.

این پژوهش با بررسی ادبیات موضوع، سعی در مواجهه با شکاف تحقیقاتی موجود داشته و یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط را ارائه نموده که شامل مفروضات دنیای واقعی است. با توجه به اینکه اطلاعات برخی از داده‌های مسئله موجود نیست، از رویکرد عدم‌قطعیت فازی برای مواجهه با آن بهره گرفته شده است. همان‌طور که گفته شد، برای دستیابی به این دسته از داده‌ها، از طریق مصاحبه و پرسش با خبرگان شرکت موردبررسی اقدام به عمل آمده و از آنجاکه متخصصین در حدود بدبینانه و خوش‌بینانه اعداد ارائه‌شده نیز تردید داشته‌اند، این اعداد، فازی با ارزش بازه‌ای در نظر گرفته شده‌اند [۴۱]. مهم‌ترین نوآوری‌های موجود در پژوهش حاضر که آن را از ادبیات موضوع متمایز می‌سازد عبارت‌اند از:

- (۱) ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط جدید دو هدفه با اهداف کمینه نمودن هزینه و بیشینه نمودن کیفیت.
- (۲) در نظر گرفتن برون‌سپاری به‌منظور بهبود در کیفیت عملیات لجستیکی برای نخستین بار در مسئله زمان‌بندی انبارمتقاطع.
- (۳) ارائه یک رویکرد حل جدید توسعه‌یافته با در نظر گرفتن اعداد فازی بازه‌ای و استفاده از روش (SO^2) به‌منظور حل مدل چندهدفه خطی فازی $(FMOLP^3)$.
- (۴) پیاده‌سازی مدل ریاضی پیشنهادی در یک مطالعه موردی و تحلیل آن.

- 1. Reliable Healthcare Network
- 2. Selim and Ozkarahan
- 3. Fuzzy Multi- Objective Linear Programming
- 4. Not Available

۲. تعاریف اولیه

در بخش زیر، تعریف پایه‌ای مجموعه فازی، اعداد فازی عمومی، مجموعه فازی دارای ارزش بازه‌ای همراه با گسترش آن‌ها به اعداد فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای در حالت عادی در تصمیم‌گیری مورد بحث قرار می‌گیرد که در ادامه بر اساس این مفاهیم، یک روش جدید مبتنی بر تصمیم‌گیری چند هدفه فازی ترکیبی^۱ ارائه خواهد شد.

مطابق گفته لطفی‌زاده [۵۱، ۵۲] یک مجموعه فازی به‌عنوان یک مجموعه از اشیاء همراه با درجات عضویت تعریف می‌شود، که درجه عضویت مقداری بین [0,1] در نظر گرفته می‌شود. مجموعه فازی A از مجموعه جهانی X توسط یک تابع عضویت که هر عنصر x را در X به یک عدد حقیقی در بازه تصویر می‌کند تعریف می‌شود. یک عدد فازی به‌عنوان یک مجموعه فازی تعریف می‌شود به‌گونه‌ای که $M = \{x, \mu_M(x), x \in R\}$ به‌طوری که $\mu_M(x)$ یک تصویر پیوسته از بازه بسته $[0,1]$ است.

یک عدد فازی تعمیم‌یافته به‌صورت $\bar{Z} = (z_1, z_2, z_3, z_4; x)$ ، $0 \leq z_1 \leq z_2 \leq z_3 \leq z_4 \leq 1$ و $0 \leq x \leq 1$ یک زیرمجموعه فازی از Y با تابع عضویت $\mu_{\bar{Z}}(Y)$ است که شرایط زیر را برآورده می‌سازد [۵۳]:

- $\mu_{\bar{Z}}(Y)$ یک تصویر پیوسته از Y در بازه $[0, x]$ است.
- $\mu_{\bar{Z}}(Y) = 0$ به‌طوری که $-\infty \leq Y \leq z_1$.
- $\mu_{\bar{Z}}(Y) = 0$ به‌طور پیوسته در بازه $[Z_1, Z_2]$ افزایشی است.
- برای تمامی مقادیر $z_2 \leq Y \leq z_3$ داریم: $\mu_{\bar{Z}}(Y) = x$ به‌طوری که x مقدار ثابت بوده و $x \in [0,1]$.
- $\mu_{\bar{Z}}(Y) = 0$ به‌طور پیوسته و یکنواخت در بازه $[Z_3, Z_4]$ نزولی است.
- $\mu_{\bar{Z}}(Y) = 0$ به‌طوری که $z_4 \leq Y \leq +\infty$.

فرض کنید تابع $\mu_{\bar{Z}}(Y)$ در بازه‌های $[Z_1, Z_2]$ و $[Z_3, Z_4]$ خطی باشد، آنگاه عدد فازی تعمیم‌یافته تشکیل شده یک عدد فازی دوزنقه‌ای تعمیم‌یافته است. در صورتی که $z_2 = z_3$ و $x = 1$ باشد، آنگاه عدد فازی تعمیم‌یافته فازی دوزنقه‌ای به عدد فازی تعمیم‌یافته مثلثی تبدیل می‌شود. در میان تمامی اعداد فازی تعمیم‌یافته، اعداد فازی تعمیم‌یافته مثلثی و دوزنقه‌ای از مهم‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها است. اعداد فازی مثلثی اغلب در کاربردهای عملی برای توصیف اطلاعات نادرست، مبهم و غیر شفاف استفاده می‌شوند. یک عدد فازی مثلثی مانند $\bar{Z} = (z_1, z_2, z_3)$ به‌صورت \bar{Z} و یک تابع عضویت $\mu_{\bar{Z}}(Y)$ که در رابطه (۱) قابل مشاهده است، نمایش داده می‌شود.

$$\mu_{\bar{Z}}(y) = \begin{cases} 0 & \text{در غیر این صورت} \\ \frac{y - z_1}{z_2 - z_1} & z_1 \leq y \leq z_2 \\ \frac{z_3 - y}{z_3 - z_2} & z_2 \leq y \leq z_3 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (1)$$

۱-۲. مجموعه‌های فازی با مقادیر بازه‌ای

با توجه به تحقیقات صورت گرفته در [۵۴]، یک مجموعه فازی با مقادیر بازه‌ای بر روی بازه $(-\infty, +\infty)$ تعریف می‌شود به‌عبارت دیگر:

$$\bar{B} = \{(z, [\mu_B^L(z), \mu_B^U(z)])\} \quad (2)$$

به‌طوری که،

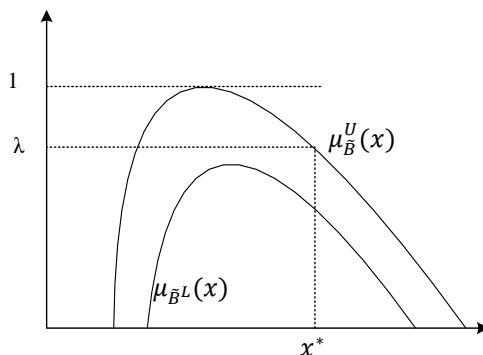
$$\mu_B^L, \mu_B^U: Z \rightarrow [0,1] \quad \forall z \in Z, \mu_B^L \leq \mu_B^U \quad (3)$$

در نتیجه، اگر:

$$\bar{\mu}_B(z) = [\mu_B^L(z), \mu_B^U(z)] \quad (4)$$

آنگاه،

$$\bar{B} = \{z, \bar{\mu}_B(z)\}, z \in (-\infty, +\infty) \quad (5)$$



شکل (۱): مجموعه فازی با مقادیر بازه‌ای غیر خطی

همان‌طور که از شکل (۱) نیز قابل مشاهده است، μ_B^L حد پایین تابع عضویت و μ_B^U حد بالای تابع عضویت می‌باشد. تابع عضویت در x^* مربوط به مجموعه فازی با ارزش بازه‌ای \bar{B} بوده که به بازه $[\mu_B^L(x^*), \mu_B^U(x^*)]$ تعلق دارد که به عبارتی، $(\mu_B^L(x^*), \mu_B^U(x^*))$ را به ترتیب به‌عنوان حداقل و حداکثر مقدار درجه عضویت معرفی می‌نماید.

۲-۲. اعداد فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای

ذکر این نکته حائز اهمیت است که برای دستیابی به یک راه‌حلی مطمئن‌تر، دقیق و قابل اطمینان، باید از روش بسیار مناسبی برای حل مدل پیشنهادی استفاده شود. روش مورد استفاده در این مقاله یک روش نرمال شده فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای است که به اختصار به‌صورت NTIVF^۲ نشان داده شده است. دو دلیل اصلی برای استفاده از روش مذکور وجود دارد: (۱) وجود درجه بالایی از انعطاف‌پذیری که در IVF^۲ وجود دارد، (۲) وجود ابهام و گنگ بودن مقادیر واقعی داده‌ها است.

اعداد فازی با ارزش بازه‌ای یک حالت خاص از اعداد فازی تعمیم‌یافته هستند. همانند اعداد فازی تعمیم‌یافته، اعداد فازی با ارزش بازه‌ای

زمان‌های از پیش تعیین‌شده ترک کنند. در صورت عدم دریافت هر محموله در موعد مقرر، از کامیون دیگری برای تحویل آن در انتهای افق برنامه‌ریزی استفاده می‌شود. یکی از نمونه‌های کاربردی دنیای واقعی برای این مسئله که توسط بویسن^۱ و همکاران [۳] مورد بررسی قرار گرفت، صنعت خدمات پستی است که در آن کامیون‌های برون‌مرزی باید در یک‌زمان از پیش تعیین‌شده به سمت مقصد حرکت کنند. مطالعه موردی محققین در تحقیق یادشده، مرکز هوایی DHL در لایپزیگ بوده است. به‌عنوان نمونه‌ای دیگر در صنعت خرده‌فروشی، وجود برخی فروشگاه‌ها هستند که به‌صورت ۲۴/۷ باز نبوده اما مطالبات آن‌ها باید تا زمانی که فروشگاه‌ها باز هستند، تحویل داده شود.

- علاوه بر این، از مفروضات این مسئله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- تعداد درب‌های ورودی / خروجی برابر یا کوچک‌تر از تعداد کامیون‌های ورودی / خروجی است.
 - اگر تعداد درب‌های انبارمقاطع مساوی یا بزرگ‌تر از کامیون‌ها باشد، مسئله، به یک مسئله تخصیص انبارمقاطع تبدیل می‌شود.
 - نیازی به صبر کردن تا اتمام تخلیه محموله‌ها برای شروع عملیات حمل‌ونقل وجود ندارد و هر محموله بلافاصله پس از بارگیری به درب خروجی انبارمقاطع منتقل شود.
 - کامیون‌ها در زمان‌های متفاوتی وارد انبار متقاطع می‌شوند. هر کامیون یک‌زمان از پیش تعیین‌شده دارد.
 - کلیه تقاضاهای مربوط به کامیون خروجی از کامیون ورودی دریافت شده و به آن محموله گفته می‌شود. چندین محصول در یک محموله بسته‌بندی می‌شوند.
 - زمان از پیش تعیین‌شده تخلیه و بارگیری به‌صورت مستقیم به ترتیب به کامیون‌های خروجی و ورودی بستگی دارد. علاوه بر این، به محل قرارگیری محصول در کامیون نیز بستگی دارد. به‌عنوان مثال، برای بارگیری محموله در موقعیت ۴، زمان بارگیری از محموله‌ها در موقعیت‌های ۱ تا ۳ باید در نظر گرفته شود.
 - محموله‌های ارسال‌شده به درب‌های خروجی به شرطی بر روی کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند که با در نظر گرفتن زمان بارگیری و زمان انتظار بارگیری به موعد تحویل برسند.
 - با توجه به محموله‌های دارای تأخیر، کامیون‌های متفاوتی در انتهای افق برنامه‌ریزی می‌توانند به کار گرفته شوند.
 - زمان انتقال بین درب‌های انبار به فاصله میان درب‌هایی که کامیون‌ها به آن تخصیص یافته‌اند بستگی دارد.
 - انبار موقت در مرکز انبارمقاطع بلامانع است.
 - در کامیون‌های ورودی و خروجی نیازی به صبر کردن تا اتمام انجام عملیات وجود ندارد.

مسئله مورد بررسی شامل دو تابع هدف است که هدف اول آن کاهش هزینه‌های انبار متقاطع و هدف دوم افزایش کیفیت است، همان‌طور که مشخص است، تابع هدف دوم که در رابطه (۱۰) نشان داده شده است، به دلیل تقسیم دو متغیر پیوسته بر هم حالت غیرخطی

می‌تواند به شکل اعداد فازی مثلثی و یا اعداد فازی ذوزنقه‌ای ظاهر شوند. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در [۵۵] اعداد فازی مثلثی را می‌توان به‌صورت زیر نمایش داد:

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] \\ &= [(a_1^L, a_2^L, a_3^L; \tilde{w}_A^L), (a_1^U, a_2^U, a_3^U; \tilde{w}_A^U)] \end{aligned} \quad (۶)$$

به‌طوری‌که،

$$\tilde{A}^L, \tilde{A}^U \rightarrow \tilde{A}^L \subset \tilde{A}^U \quad (۷)$$

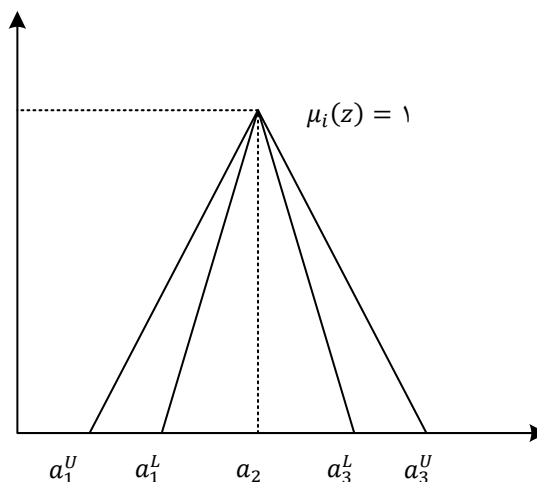
به ترتیب از چپ به راست نمایانگر حد پایین و حد بالای اعداد فازی با ارزش بازه‌ای هستند. با در نظر گرفتن $\mu_{\tilde{A}}(x)$ به‌عنوان تابع عضویت و همچنین با نشان دادن درجه یک رویداد مانند X که ممکن است بخشی از \tilde{A} باشد،

عضویت هستند. با توجه به مطالب فوق ذکر، روابط زیر برقرار است:

• اگر $a_1^L = a_1^U = a_2^L = a_2^U = a_3^L = a_3^U$ و $\tilde{w}_A^L = \tilde{w}_A^U$ ، آنگاه عدد فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای \tilde{A} به‌صورت یک عدد قطعی در نظر گرفته می‌شود.

• اگر $a_2^L = a_2^U = a_2$ و $\tilde{w}_A^L = \tilde{w}_A^U$ ، آنگاه عدد فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای نشان داده‌شده در شکل (۲) را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] = [(a_1^U, a_1^L), (a_2^L = a_2^U), (a_3^L, a_3^U)] \\ &= [(a_1^U, a_1^L), a_2, (a_3^L, a_3^U)] \end{aligned} \quad (۸)$$



شکل (۲): عدد نرمال شده فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای

۳. تعریف مسئله

در این مقاله یک مسئله برنامه‌ریزی هم‌زمان کامیون‌های ورودی و خروجی با چند کامیون بارگیری و تخلیه در یک انبار متقاطع در نظر گرفته شده است. مسئله مورد مطالعه یک مسئله دو هدفه بوده که هدف اول آن به حداقل رساندن هزینه‌های موجود در انبارمقاطع و هدف دوم آن افزایش میزان کیفیت و رضایتمندی است. کامیون‌های خروجی باید صرف‌نظر از بارگذاری کامل محمولات خود، ترمینال را در

زمان تخصیص کامیون خروجی k به درب خروجی.	β_k	پیدا کرده که به جهت کارایی بهتر، مدل مورد بررسی خطی‌سازی شده
زمان تکمیل عملیات کامیون ورودی i .	CI_i	است. لذا برای خطی‌سازی آن‌ها از روشی که محققان در ادبیات برای
زمان تکمیل عملیات کامیون خروجی k .	CO_k	خطی‌سازی این حالت ارائه داده‌اند [۵۶]؛ استفاده شده است.
زمان شروع به ارسال محموله‌های تخلیه شده از کامیون	λ_{ik}	نمادها و مجموعه‌ها:
ورودی i به کامیون خروجی k .		I مجموعه کامیون‌های ورودی ($i \in I$).
مقدار زمانی که طول کشیده است تا محموله از کامیون		K مجموعه کامیون‌های خروجی ($k \in K$).
ورودی i به کامیون خروجی k ارسال شود و به درب خروجی	μ_{ik}	J مجموعه درب‌های ورودی ($j \in J$).
موردنظر برسد.		L مجموعه درب‌های خروجی ($l \in L$).
زمان شروع به بارگیری محموله ارسال شده از کامیون ورودی	σ_{ik}	H مجموعه کامیون‌های مورد استفاده جهت ارسال محموله‌های دارای
i به کامیون خروجی k .		تأخیر در انتهای افق زمانی ($h \in H$).
میزان محصولی نوع p که از کامیون ورودی i به کامیون	XU_{ikp}	P مجموعه محموله‌ها. ($p \in P$).
خروجی k ارسال شده اما به علت به وجود آمدن تاخیر		پارامترها:
در صورت ارسال با کامیون k ، توسط کامیون h ارسال شده		تعداد محموله‌های نوع p جهت تخلیه بر روی کامیون
است.		ورودی i .
میزان محصول نوع p ارسال شده از کامیون ورودی i به	$XP_{i,k,p}$	تعداد محموله‌های نوع p لازم جهت بارگیری بر روی کامیون
کامیون خروجی k .		خروجی k .
حداکثر زمان اتمام عملیات تخلیه کامیون‌های خروجی k .	C_{max}	جایگاه محصول تخلیه شده از کامیون i جهت بارگیری بر
برابر با کل میزان محموله‌های دچار تاخیر منتقل شده به	ω	روی محصول k (این توالی تخلیه بارهایی را که ابتدا در
کامیون برون‌سپاری h .		داخل کامیون ورودی i بارگذاری شده بودند را تعیین
متغیرهای دودویی:		می‌کند).
اگر کامیون ورودی i به درب ورودی j تخصیص یافته باشد	x_{ij}	اگر کامیون ورودی i دارای اولویت بالاتر نسبت به کامیون
برابر با یک، در غیر این صورت صفر.		ورودی i' باشد یک در غیر این صورت صفر.
اگر کامیون خروجی k به درب خروجی l تخصیص یافته باشد	y_{kl}	اگر کامیون خروجی k دارای اولویت بالاتر نسبت به کامیون
برابر با یک، در غیر این صورت صفر.		خروجی k' باشد یک در غیر این صورت صفر.
اگر کامیون ورودی i به درب ورودی j و کامیون خروجی k به		زمان تغییر کامیون
درب خروجی l تخصیص یافته باشد برابر با یک، در غیر	z_{ijkl}	زمان مورد نیاز جهت تخلیه محموله ارسال شده نوع p
این صورت صفر.		توسط کامیون ورودی i که به کامیون خروجی k .
اگر کامیون‌های ورودی i و i' به یک درب ورودی تخصیص	$P_{i,i'}$	زمان مورد نیاز جهت بارگیری محموله دریافت شده نوع p
یافته و کامیون i جلوتر از کامیون i' باشد برابر با یک، در غیر		توسط کامیون ورودی i که به کامیون خروجی k .
این صورت صفر.		زمان سفر میان درب ورودی j و درب خروجی l .
اگر کامیون‌های خروجی k و k' به یک درب خروجی تخصیص	$Q_{k,k'}$	زمان لازم جهت ارسال محموله تخلیه شده نوع p از کامیون
یافته و کامیون k جلوتر از کامیون k' باشد برابر با یک، در غیر		ورودی i به کامیون خروجی k با استفاده از نوار نقاله.
این صورت صفر.		وزن اهمیت کیفیت هر یک از محموله‌های ارسال شده نوع
اگر در عملیات بارگیری در درب خروجی توسط کامیون k	$\gamma_{ii'k}$	p از کامیون ورودی i به کامیون خروجی k .
محموله ارسال شده توسط کامیون ورودی i از محموله ارسال		وزن اهمیت هر یک از محموله‌های ارسال شده نوع p از
شده توسط کامیون ورودی i' پیشی بگیرد برابر با یک، در غیر		کامیون ورودی i به کامیون خروجی k .
این صورت صفر.		ظرفیت کامیون نوع h .
برابر با یک است اگر محموله ارسال شده توسط کامیون ورودی	U_{ik}	هزینه کامیون نوع h جهت ارسال محموله‌های
i جهت بارگیری توسط کامیون خروجی k مشمول تاخیر شده		تاخیردار کامیون خروجی k در پایان افق زمانی.
باشد (نمی‌توان آن را قبل از موعد تحویل توسط کامیون		موعد تحویل کامیون خروجی k .
خروجی بارگیری کرد)، در غیر این صورت صفر.		زمان رسیدن کامیون خروجی k .
اگر کامیون نوع h جهت تحویل محموله دارای تأخیر کامیون	R_{hk}	زمان رسیدن کامیون ورودی i .
k مورد استفاده قرار گیرد، برابر با یک است، در غیر این صورت		
صفر.		متغیرهای مثبت:
اگر کامیون ورودی i به عنوان اولین کامیون تخصیص یافته به	FI_i	زمان تخصیص کامیون ورودی i به درب ورودی.
درب عملیات را شروع کند، برابر با یک است، در غیر این صورت		

$$FO_i + \sum_{k' \in K, k' \neq k} Q_{k',k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (25)$$

$$LO_k + \sum_{k' \in K, k' \neq k} Q_{k,k'} = 1 \quad \forall k \in K \quad (26)$$

$$Q_{k,k'} - 1 \leq Y_{k,l} - Y_{k',l} \quad \forall k, k' \in K, \forall l \in L, k \neq k' \quad (27)$$

$$Y_{k,l} - Y_{k',l} \leq 1 - Q_{k,k'} \quad \forall k, k' \in K, \forall l \in L, k \neq k' \quad (28)$$

$$FO_k + FO_{k'} \leq 3 - Y_{k,l} - Y_{k',l} \quad \forall k, k' \in K, \forall l \in L, k \neq k' \quad (29)$$

$$LO_k + LO_{k'} \leq 3 - Y_{k,l} - Y_{k',l} \quad \forall k, k' \in K, \forall l \in L, k \neq k' \quad (30)$$

$$\alpha_i \geq a_i \quad \forall i \in I \quad (31)$$

$$\alpha_i \geq CI_{i'} + \widetilde{TC} - M \cdot (1 - P_{i',i}) \quad \forall i, i' \in I, i \neq i' \quad (32)$$

$$CI_i \geq \alpha_i + \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \widetilde{TP}_{ikp} \cdot XP_{i,k,p} \quad \forall i \in I \quad (33)$$

$$\beta_k \geq B_k \quad \forall k \in K \quad (34)$$

$$\beta_k \geq CO_{k'} + \widetilde{TC} - M \cdot (1 - Q_{k',k}) \quad \forall k, k' \in K, k \neq k' \quad (35)$$

$$\lambda_{ik} \geq \alpha_i + \sum_{\substack{k' \in K \\ \theta_{jk'} \leq \theta_{ik}}} \sum_{p \in P} \widetilde{TP}_{ik'p} \cdot XP_{i,k} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (36)$$

$$\mu_{ik} \geq \lambda_{ik} + \sum_{j \in J} \sum_{l \in J'} \tilde{t}_{jl} Z_{ijklj'l'} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (37)$$

$$+ \sum_{p \in P} XP_{ikp} \cdot \rho_{ikp}$$

$$\gamma_{ii'k} \geq (\mu_{i'k} - \mu_{ik}) / M \quad \forall i, i' \in I, \forall k \in K, i \neq i' \quad (38)$$

$$\gamma_{ii'k} \leq 1 + (\mu_{i'k} - \mu_{ik}) / M \quad \forall i, i' \in I, \forall k \in K, i \neq i' \quad (39)$$

$$\sigma_{ik} \geq \mu_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (40)$$

$$\sigma_{ik} \geq \beta_k \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (41)$$

$$\sigma_{ik} \geq \sigma_{i'k} + \sum_{p \in P} XP_{i'kp} \widetilde{TD}_{ikp} \quad \forall i, i' \in I, \forall k \in K, i \neq i' \quad (42)$$

$$- M(2 - \gamma_{i'ik} - U_{ik}) \geq \sigma_{ik} + \sum_{p \in P} XP_{ikp} \widetilde{TD}_{ikp} \quad \forall k \in K \quad (43)$$

$$- d_k \geq CO_k \geq \beta_k \quad \forall k \in K \quad (44)$$

صفر.

اگر کامیون ورودی i به عنوان آخرین کامیون تخصیص یافته به درب عملیات را شروع کند، برابر با یک است، در غیر این صورت صفر.

اگر کامیون خروجی k به عنوان اولین کامیون تخصیص یافته به درب عملیات را شروع کند، برابر با یک است، در غیر این صورت صفر.

اگر کامیون خروجی k به عنوان آخرین کامیون تخصیص یافته به درب عملیات را شروع کند، برابر با یک است، در غیر این صورت صفر.

$$Max Z2 = \frac{(\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} Q_{i,k,p} \cdot XU_{ikp})}{(\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} XU_{ikp})} \quad (10)$$

توابع هدف مدل ریاضی ارائه شده عبارتند از رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) که پس از خطی‌سازی، رابطه (۱۰) با رابطه (۱۲) جایگزین شده و محدودیت‌های متناسب با آن که عبارتند از روابط (۵۴)-(۵۸) در مدل خطی جاگذاری شده‌اند.

$$Min Z1 = \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} w_{ikp} \cdot XU_{ikp} + \sum_{h \in H} \sum_{k \in K} m_{hk} \cdot R_{hk} \quad (11)$$

$$Max Z2 = \rho = (\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} Q_{i,k,p} \cdot XU_{ikp}) \quad (12)$$

S.t.:

$$\sum_{j \in J} X_{i,j} = 1 \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$\sum_{l \in L} Y_{k,l} = 1 \quad \forall k \in K \quad (14)$$

$$\sum_{k \in K} XP_{i,k,p} = PR_{i,p}^P \quad \forall i \in I, \forall p \in P \quad (15)$$

$$\sum_{k \in K} XP_{i,k,p} = PR_{k,p}^D \quad \forall k \in K, \forall p \in P \quad (16)$$

$$2Z_{i,j,k,l} \leq X_{i,j} + Y_{k,l} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (17)$$

$$XP_{i,k,p} \leq M * \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} Z_{i,j,k,l} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall p \in P \quad (18)$$

$$FI_i + \sum_{i' \in I, i' \neq i} P_{i',i} = 1 \quad \forall i \in I \quad (19)$$

$$LI_i + \sum_{i' \in I, i' \neq i} P_{i,i'} = 1 \quad \forall i \in I \quad (20)$$

$$P_{i,i'} - 1 \leq X_{i,j} - X_{i',j} \quad \forall i, i' \in I, \forall j \in J, i \neq i' \quad (21)$$

$$X_{i,j} - X_{i',j} \leq 1 - P_{i,i'} \quad \forall i, i' \in I, \forall j \in J, i \neq i' \quad (22)$$

$$FI_i + FI_{i'} \leq 3 - X_{i,j} - X_{i',j} \quad \forall i, i' \in I, \forall j \in J, i \neq i' \quad (23)$$

$$LI_i + LI_{i'} \leq 3 - X_{i,j} - X_{i',j} \quad \forall i, i' \in I, \forall j \in J, i \neq i' \quad (24)$$

پسین / پیشین کامیون دیگر است. محدودیت‌های (۲۱) و (۲۲) توالی موجود در تخصیص کامیون‌های ورودی به درب‌های ورودی را در صورتی که هر دو کامیون به یک درب تخصیص یافته باشند را در نظر می‌گیرند. محدودیت‌های (۲۳) و (۲۴) تضمین می‌کند که دقیقاً یک کامیون به‌عنوان اولین و آخرین توالی از کامیون‌ها مورد پردازش قرار گیرند. محدودیت (۲۳) ترتیب قرار گرفتن در توالی را عنوان می‌کند، به‌عبارت‌دیگر بیان می‌کند که یا کامیون i کامیون اول است، یا کامیون i' کامیون اول است و یا کامیون غیر از کامیون i' و i وجود دارد که در جایگاه اول قرار دارد. محدودیت (۲۴) ترتیب قرار گرفتن در توالی را عنوان می‌کند به‌عبارت‌دیگر بیان می‌کند که یا کامیون i کامیون آخر است، یا کامیون i' کامیون آخر است و یا کامیونی غیر از کامیون i و i' وجود دارد که در جایگاه آخر قرار دارد. محدودیت‌ها (۲۵)–(۳۰) دقیقاً معادل محدودیت‌های (۱۹)–(۲۴) است که در بالا توضیح داده شده است، با این تفاوت که محدودیت‌های (۲۵)–(۳۰) تضمین‌کننده توالی صحیح کامیون‌ها مقابل درب‌های خروجی انبارمقاطع است.

محدودیت (۳۱) تضمین می‌کند که کامیون ورودی پس از زمان ورود به درب ورودی تخصیص یابد. محدودیت (۳۲) تضمین می‌کند که کامیون ورودی زمانی می‌تواند عملیات تخلیه را شروع کند که کامیون‌های جلویی عملیات تخلیه را تمام کرده و بارانداز را ترک نمایند. محدودیت (۳۳) زمان تکمیل کامیون‌های ورودی را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۳۴) و (۳۵) مشابه محدودیت‌های (۳۱) و (۳۲) می‌باشند با این تفاوت که محدودیت‌های (۳۴) و (۳۵) برای کامیون‌ها و درب‌های خروجی در نظر گرفته شده است.

محدودیت (۳۶) عنوان می‌کند که یک محموله زمانی می‌تواند تخلیه شود که کامیون ورودی به درب ورودی تخصیص داده شده باشد و محموله‌های پیشین تخلیه شده باشند. محدودیت (۳۷) تضمین می‌کند که پس از تخلیه محموله در درب ورودی و انتقال محموله به درب خروجی و ورود کامیون به درب خروجی عملیات بارگیری بر روی کامیون خروجی انجام می‌شود.

محدودیت‌های (۳۸) و (۳۹) توالی ورود محموله‌ها جهت بارگیری به کامیون‌های خروجی را براساس استراتژی ترتیبی ورود اولین ورود اولین خروج^۱ (کامیون ورودی اول، اول خارج می‌شود) تضمین می‌کند. محدودیت‌های (۴۰) و (۴۱) تضمین می‌کند تنها در صورتی محموله می‌تواند توسط کامیون خروجی بارگیری شود که کامیون خروجی در درب بارگیری حضور داشته و فعالیت بارگیری را شروع کرده باشد. محدودیت (۴۲) تضمین می‌کند در صورتی امکان بارگیری یک محموله امکان‌پذیر است که محموله‌های پسین بر روی کامیون خروجی بارگیری شده باشند. محدودیت (۴۳) نشان می‌دهد که محموله را می‌توان در یک کامیون خروجی بارگیری کرد به شرطی که فرآیند بارگیری آن قبل از موعد تحویل تمام شود. محدودیت (۴۴) تضمین می‌کند که زمان تکمیل هر کامیون خروجی باید بیشتر از زمان

$$CO_k \geq \sum_{p \in P} XP_{ikp} \overline{TD}_{ikp} + \sigma_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (45)$$

$$-M \cdot U_{ik} \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} XP_{ikp} \cdot U_{ik} \quad \forall h \in H, \forall k \in K \quad (46)$$

$$\leq \sum_{h \in H} R_{hk} \cdot Cap_h \quad (47)$$

$$\sum_{h \in H} R_{hk} \leq 1 \quad \forall k \in K$$

$$\alpha_{i'} \geq \pi_{ii'} \cdot CI_i \quad \forall i, i' \in I, \pi_{ii'} = 1 \quad (48)$$

$$\beta_{k'} \geq \varphi_{kk'} \cdot CO_k \quad \forall k, k' \in K, \varphi_{kk'} = 1 \quad (49)$$

$$XU_{ikp} \leq M \cdot U_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall p \in P \quad (50)$$

$$XU_{ikp} \leq XP_{ikp} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall p \in P \quad (51)$$

$$XU_{ikp} \geq XP_{ikp} - M \cdot (1 - U_{ik}) \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall p \in P \quad (52)$$

$$C_{max} \geq CO_k \quad \forall k \in K \quad (53)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} XU_{ikp} = \varpi \quad (54)$$

$$0 \leq Z2 \leq 1 \quad (55)$$

$$0 \leq \varpi \leq \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} PR_{i,p}^P \quad (56)$$

$$0 \leq \varrho \leq 1 \cdot \varpi \quad (57)$$

$$0 \leq \varpi \leq \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} PR_{i,p}^P \quad (58)$$

$$X_{ij}, Y_{kl}, Z_{ijkl}, P_{ii'}, Q_{kk'}, \gamma_{ii'k}, U_{ik}, R_{hk}, FI_i, LI_i, FO_i, LO_k \in \{0,1\} \quad \forall i, i' \in I, \forall k, k' \in K, \forall j \in J, \forall l \in L, \forall h \in H, \quad (59)$$

$$\alpha_i, \beta_k, CI_i, CO_k, \lambda_{ik}, \mu_{ik}, \sigma_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (60)$$

$$, XP_{i,k,p}, C_{max}, \varpi \geq 0 \quad \forall k, \forall p \in P$$

محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) بیان‌کننده توابع هدف مسئله بوده که به ترتیب اهداف آن‌ها، کاهش کل هزینه انبارمقاطع و افزایش کیفیت انبارمقاطع است.

محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) تضمین می‌کند که هر یک از کامیون‌های ورودی و خروجی دقیقاً به یک درب تخصیص یابد. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) یک رویکرد متعادل را نشان می‌دهد (به‌عنوان مثال، نشان می‌دهد که تعداد کل کالاها دریافت شده توسط کامیون‌های ورودی برابر با مقدار کل کالاها ارسال شده توسط کامیون‌های برون‌سپاری است). محدودیت‌های (۱۷) و (۱۸) عنوان می‌دارد که اگر حداقل یک واحد محصول نوع p از کامیون ورودی i به کامیون خروجی k ارسال شود، آنگاه بین کامیون ورودی i و خروجی k ارتباط برقرار شده است.

محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) تضمین می‌کند که آیا هر کامیون ورودی به‌عنوان اولین/ آخرین کامیون پردازش می‌شود یا به‌ترتیب

$$\mu_{\bar{c}}(x) = \begin{cases} f_c(x) = \frac{x - c^p}{c^m - c^p} \\ 1 \\ g_c(x) = \frac{c^o - x}{c^o - c^m} \end{cases} \quad \text{if } \begin{matrix} x < c^p \\ \\ \text{or } x > c^o \end{matrix}$$

مدل ریاضی فازی زیر را در نظر بگیرید که تمامی پارامترهای آن به فرم فازی با ارزش بازه‌ای تعریف شده‌اند:

$$\begin{aligned} \min z &= \bar{c}^{tL} x \\ \text{s.t.} \\ \bar{a}_i^L x &\geq \bar{b}_i^L \quad \forall (i = 1, 2, \dots, l) \\ \bar{a}_i^L x &= \bar{b}_i^L \quad \forall (i = l + 1, l + 2, \dots, m) \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (62)$$

$$\begin{aligned} \min z &= \bar{c}^{tL} x \\ \text{s.t.} \\ \bar{a}_i^U x &\geq \bar{b}_i^U \quad \forall (i = 1, 2, \dots, l) \\ \bar{a}_i^U x &= \bar{b}_i^U \quad \forall (i = l + 1, l + 2, \dots, m) \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (63)$$

مدل متعارف متناسب با مدل فوق را می‌توان با یک مدل آلفا پارامتریک جایگزین کرد که در زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} \min z &= EV(\bar{c}^L)x \\ \text{s.t.} \\ \left[(1 - \alpha)E_2^{a_i^L} + \alpha E_1^{a_i^L} \right] x &\geq \alpha E_2^{a_i^L} \\ &+ (1 - \alpha)E_1^{b_i^L} \quad \forall (i \\ &= 1, 2, \dots, l) \\ \left[\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_2^{a_i^L} + \frac{\alpha}{2}E_1^{a_i^L} \right] x &\geq \frac{\alpha}{2}E_2^{a_i^L} \\ &+ \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_1^{b_i^L} \quad \forall (i \\ &= l + 1, \dots, m) \\ \left[\frac{\alpha}{2}E_2^{a_i^L} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_1^{a_i^L} \right] x &\leq \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_2^{a_i^L} \\ &+ \frac{\alpha}{2}E_1^{b_i^L} \quad \forall (i \\ &= l + 1, \dots, m) \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (64)$$

به طوری که،

$$\begin{aligned} EV(\bar{c}^L) &= \frac{c^{pL} + 2c^{mL} + c^{oL}}{4}, \\ E_1^{a_i^L} &= \frac{1}{2}(a^{pL} + a^{mL}), E_1^{b_i^L} = \frac{1}{2}(b^{pL} + b^{mL}), \\ E_2^{a_i^L} &= \frac{1}{2}(a^{mL} + a^{oL}), E_2^{b_i^L} = \frac{1}{2}(b^{mL} + b^{oL}) \end{aligned}$$

و به همین صورت برای حد بالا داریم:

$$\begin{aligned} \min z &= EV(\bar{c}^U)x \\ \text{s.t.} \end{aligned} \quad (65)$$

لازم جهت تخصیص یافتن آن باشد. محدودیت (۴۵) زمان اتمام هر کامیون خروجی را محاسبه می‌کند. محدودیت (۴۶) تضمین می‌کند که میزان حمل بار در کامیون در انتهای افق زمانی از ظرفیت آن کامیون تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۴۷) تضمین می‌کند که برای تحویل محموله‌های باقی‌مانده از هر کامیون خروجی در انتهای افق زمانی باید حداکثر از یک نوع کامیون استفاده شود. محدودیت‌های (۴۸) و (۴۹) بیانگر وجود توالی کامیون‌های ورودی و خروجی به ترتیب در درب‌های ورودی و خروجی انبار متقاطع هستند. محدودیت (۴۸) تضمین می‌کند که عملیات تخلیه بار در کامیون‌های با اولویت بالاتر در درب ورودی زودتر از کامیون‌های با اولویت پایین‌تر در درب ورودی صورت گیرد؛ به عبارت دیگر تا زمانی که عملیات تخلیه بار در کامیون با اولویت بالاتر تخلیه نشود، کامیون با اولویت پایین‌تر تخلیه نخواهد شد. محدودیت (۴۹) تضمین می‌کند که عملیات بارگیری در کامیون‌های با اولویت بالاتر در درب خروجی زودتر از کامیون‌های با اولویت پایین‌تر در درب خروجی صورت گیرد، به عبارت دیگر تا زمانی که عملیات بارگیری در کامیون با اولویت بالاتر تخلیه نشود، کامیون با اولویت پایین‌تر تخلیه نخواهد شد.

محدودیت‌های (۵۰)–(۵۲) نشان می‌دهد که اگر محموله نوع p ارسالی از کامیون ورودی i به کامیون خروجی k دچار تأخیر شد، آن‌گاه کل محموله ارسالی به کامیون h منتقل شود. محدودیت (۵۳) حداکثر زمان اتمام عملیات بارگیری کامیون‌های خروجی k بیان می‌کند. از آنجایی که ضرب دو متغیر پیوسته ω در $Z2$ غیرخطی است برای خطی‌سازی مدل ارائه‌شده ضرب دو متغیر را برابر با $Z2. \omega = \varrho$ قرار داده و محدودیت‌های (۵۴)–(۵۸) محدودیت‌های خطی‌سازی تابع هدف دوم است. رابطه‌های (۵۹) و (۶۰) متغیرهای باینری و پیوسته مسئله را نشان می‌دهد.

۴. رویکرد حل جدید توسعه‌یافته ترکیبی فازی با ارزش بازه‌ای

با توجه به عدم قطعیت موجود در مسئله و ماهیت برخی از داده‌های مسئله (پارامترهای فازی با ارزش بازه‌ای) و علاوه بر آن، به دلیل چندهدفه بودن مدل ریاضی ارائه‌شده، برای نخستین بار در این پژوهش از یک رویکرد جدید ترکیبی برای مواجهه با مسئله FMOLP استفاده شده است. این رویکرد بدین ترتیب است که در ابتدا با استفاده از روش ارائه‌شده در [۵۷] یک مدل معادل قطعی به دست می‌آید که تشریح آن در این بخش ارائه می‌گردد. پس از رفع عدم قطعیت موجود در مسئله، یک مدل ریاضی چندهدفه قطعی حاصل شده که از روش SO [۶۰] برای مواجهه با آن استفاده شده است. فرض کنید C یک عدد فازی مثلثی باشد، آنگاه به منظور تعریف تابع عضویت \bar{C} از رابطه (۶۱) استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{if } c^p \leq x \leq c^m \\ \text{if } x = c^m \\ \text{if } c^m \leq x \leq c^o \end{aligned} \quad (61)$$

$$\beta_k \geq CO_{k'} + (\alpha E_2^{TC^L} + (1 - \alpha) E_1^{TC^L}) - M \cdot (1 - Q_{k',k}) \quad \forall k, k' \in K, k \neq k' \quad (68)$$

$$\lambda_{ik} \geq \alpha_i + \sum_{k' \in K} \sum_{p \in P} (\alpha E_2^{TP_{ik'p}^L} + (1 - \alpha) E_1^{TP_{ik'p}^L}) \cdot XP_{i,k',p} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (69)$$

$$\mu_{ik} \geq \lambda_{ik} + \sum_{j \in J} \sum_{l \in J'} (\alpha E_2^{t_{jl}^L} + (1 - \alpha) E_1^{t_{jl}^L}) Z_{ijklj'} + \sum_{p \in P} XP_{ikp} \cdot \rho_{ikp} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (70)$$

$$\sigma_{ik} \geq \sigma_{i'k} + \sum_{p \in P} XP_{i'kp} (\alpha E_2^{TD_{i'kp}^L} + (1 - \alpha) E_1^{TD_{i'kp}^L}) - M(2 - \gamma_{i'ik} - U_{ik}) + M \cdot U_{ik} \quad \forall i, i' \in I, \forall k \in K, i \neq i' \quad (71)$$

$$\sigma_{ik} + \sum_{p \in P} XP_{ikp} (\alpha E_2^{TD_{ikp}^L} + (1 - \alpha) E_1^{TD_{ikp}^L}) - d_k \quad \forall k \in K \quad (72)$$

$$CO_k \geq \sum_{p \in P} XP_{ikp} (\alpha E_2^{TD_{ikp}^L} + (1 - \alpha) E_1^{TD_{ikp}^L}) - M \cdot U_{ik} + \sigma_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (73)$$

محدودیت‌های زیر (۷۴)-(۸۳) مربوط به حد بالای مدل ریاضی فازی است. همان‌طور که قابل‌مشاهده است، محدودیت‌های (۸۲) و (۸۳) جهت تضمین عملکرد بهتر حد بالا نسبت به حد پایین توابع هدف هزینه و کیفیت نوشته شده است.

$$\alpha_i \geq CI_{i'} + (\alpha E_2^{TC^U} + (1 - \alpha) E_1^{TC^U}) - M \cdot (1 - P_{i',i}) \quad \forall i, i' \in I, i \neq i' \quad (74)$$

$$CI_i \geq \alpha_i + \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} (\alpha E_2^{TP_{ikp}^U} + (1 - \alpha) E_1^{TP_{ikp}^U}) \cdot XP_{i,k,p} \quad \forall i \in I \quad (75)$$

$$\beta_k \geq CO_{k'} + (\alpha E_2^{TC^U} + (1 - \alpha) E_1^{TC^U}) - M \cdot (1 - Q_{k',k}) \quad \forall k, k' \in K, k \neq k' \quad (76)$$

$$\left[(1 - \alpha) E_2^{a_i^U} + \alpha E_1^{a_i^U} \right] x \geq \alpha E_2^{a_i^U} + (1 - \alpha) E_1^{b_i^U} \quad \forall (i = 1, 2, \dots, l)$$

$$\left[\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) E_2^{a_i^U} + \frac{\alpha}{2} E_1^{a_i^U} \right] x \geq \frac{\alpha}{2} E_2^{a_i^U} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) E_1^{b_i^U} \quad \forall (i = l + 1, \dots, m)$$

$$\left[\frac{\alpha}{2} E_2^{a_i^U} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) E_1^{a_i^U} \right] x \leq \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) E_2^{a_i^U} + \frac{\alpha}{2} E_1^{b_i^U} \quad \forall (i = l + 1, \dots, m)$$

$$x \geq 0$$

به‌طوری‌که،

$$EX(\tilde{c}^U) = \frac{c^{p^U} + 2c^{m^U} + c^{o^U}}{4}, \quad E_1^{a^U} = \frac{1}{2}(a^{p^U} + a^{m^U}), E_1^{b^U} = \frac{1}{2}(b^{p^U} + b^{m^U}), \\ E_2^{a^U} = \frac{1}{2}(a^{m^U} + a^{o^U}), E_2^{b^U} = \frac{1}{2}(b^{m^U} + b^{o^U})$$

طبق رویکرد فوق‌الذکر، مدل ریاضی فازی معادل در نظر گرفته شده به شرح زیر است. جهت جلوگیری از دوباره‌نویسی تمامی محدودیت‌ها، فقط محدودیت‌های دارای پارامترهای فازی نوشته شده‌اند.

پارامترهای فازی:

- \tilde{t}_{jl} فاصله زمانی فازی بازه‌ای سفر بین درب ورودی j و درب خروجی l
- \widetilde{TP}_{ikp} مدت‌زمان فازی موردنیاز جهت تخلیه محموله ارسال‌شده نوع p توسط کامیون ورودی i که به کامیون خروجی k .
- \widetilde{TD}_{ikp} مدت‌زمان فازی موردنیاز جهت بارگیری محموله ارسال‌شده نوع p توسط کامیون ورودی i که به کامیون خروجی k .
- \widetilde{TC} زمان تغییر کامیون به فرم فازی بازه‌ای.

محدودیت‌های زیر (۶۶)-(۷۳) مربوط به حد پایین مدل ریاضی فازی است.

$$\alpha_i \geq CI_{i'} + (\alpha E_2^{TC^L} + (1 - \alpha) E_1^{TC^L}) - M \cdot (1 - P_{i',i}) \quad \forall i, i' \in I, i \neq i' \quad (66)$$

$$CI_i \geq \alpha_i + \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} (\alpha E_2^{TP_{ikp}^L} + (1 - \alpha) E_1^{TP_{ikp}^L}) \cdot XP_{i,k,p} \quad \forall i \in I \quad (67)$$

α - منفی به دست آورده می‌شود $(OF_i^{\alpha-PIS}, OF_i^{\alpha-NIS})$. برای توابع هدف i به طوری که $i \in \{1,2\}$ مقدار $OF_i^{\alpha-PIS(NIS)}$ توسط روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \min(\max) OF_i \\ \text{s. t.} \\ (۱۳)-(۶۰) \end{aligned} \quad (۸۴)$$

گام (۲) با استفاده از نتایج حاصل از گام (۱) برای توابع هدف i به طوری که $i \in \{1,2\}$ تابع عضویت به نحوی تعیین می‌شود که $\mu_i(x)$ سطح رضایت (درجه) عملکرد تابع هدف نام به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & OF_i^{\alpha-PIS} < OF_i \\ \frac{OF_i^{\alpha-NIS} - OF_i}{OF_i^{\alpha-NIS} - OF_i^{\alpha-PIS}} & OF_i^{\alpha-PIS} < OF_i \leq OF_i^{\alpha-NIS} \\ 0 & OF_i > OF_i^{\alpha-NIS} \end{cases} \quad (۸۵)$$

گام (۳) با استفاده از توابع عضویت به دست آمده از گام (۲) از مدل تک‌هدفه معرفی شده در [۶۰] که در زیر ارائه داده شده (۸۶)، استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} \max \lambda(x) = \gamma \lambda_0 + (1 - \gamma) \sum_{i=1}^3 \theta_i \lambda_i \\ \text{s. t.} \\ (۱۳)-(۶۰) \\ \lambda_0 + \lambda_i \leq \mu_i(x) \quad i \in \{1,2,3\} \\ \lambda_0, \lambda_i \in [0,1] \quad i \in \{1,2,3\} \end{aligned} \quad (۸۶)$$

در رابطه (۸۶)، γ و θ_i وزن‌های تعیین شده توسط تصمیم‌گیرنده بوده به طوری که $\gamma \in [0,1]$ ، $\theta_i \in [0,1]$ ، $\sum_{i=1}^3 \theta_i = 1$. در میان توابع هدف، مقدار بالاتر برای θ_i حاکی از اهمیت بیشتر برای آن تابع هدف است. در رابطه (۷۶)، γ سطح سازش توابع هدف را کنترل می‌کند تا به حداقل سطح رضایت از اهداف دست یابد. لذا با پیاده‌سازی گام‌های (۱) تا (۳)، جواب‌های بهینه پارتویی کارا برای مدل چندهدفه مذکور ((۱۱)-(۳۱)، (۳۴)، (۳۸)-(۴۱)، (۴۴)، (۴۶)-(۶۰) و (۶۶)-(۷۳)) را می‌توان به دست آورد.

لازم به ذکر است ضرایب $(\alpha, \gamma, \theta_i)$ باید مطابق با نظر DM تنظیم شوند تا یک راه‌حل رضایت‌بخش به دست آید. با توجه به توضیحات بیان شده، به منظور جمع‌بندی و شرح روش حل یک مسئله چندهدفه فازی با پارامترهای نرمالایز بازه‌ای فازی به صورت گام‌های زیر عمل می‌شود.

گام اول: تبدیل مدل ریاضی MILP دو هدفه فازی به یک مدل قطعی با استفاده از روش به کار رفته در [۵۷] برای حد پایین اعداد فازی بازه‌ای.

$$\begin{aligned} \lambda_{ik} &\geq \alpha_i \\ &+ \sum_{k' \in K} \sum_{p \in P} (\alpha E_2^{TP_{ik'p}U}) \\ &\theta_{jk'} \leq \theta_{ik} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \forall i \\ \in I, \forall k \\ \in K \end{aligned} \quad (۷۷)$$

$$\begin{aligned} \mu_{ik} &\geq \lambda_{ik} \\ &+ \sum_{j \in JL} \sum_{l \in JL'} (\alpha E_2^{t_{jl}U}) \\ &+ (1 - \alpha) E_1^{TP_{ik'p}U} \cdot XP_{i,k',p} \\ &+ (1 - \alpha) E_1^{t_{jl}U} Z_{ijklj'} \\ &+ \sum_{p \in P} XP_{ikp} \cdot \rho_{ikp} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \forall i \\ \in I, \forall k \\ \in K \end{aligned} \quad (۷۸)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ik} &\geq \sigma_{i'k} \\ &+ \sum_{p \in P} XP_{i'kp} (\alpha E_2^{TD_{i'kp}U}) \\ &+ (1 - \alpha) E_1^{TD_{i'kp}U} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \forall i, i' \\ \in I, \forall k \\ \in K, i \\ \neq i' \end{aligned} \quad (۷۹)$$

$$\begin{aligned} -M(2 - \gamma_{i'ik} - U_{ik}) \\ M \cdot U_{ik} &\geq \sigma_{ik} + \sum_{p \in P} XP_{ikp} (\alpha E_2^{TD_{ikp}U}) \\ &+ (1 - \alpha) E_1^{TD_{ikp}U} \end{aligned} \quad \forall k \in K \quad (۸۰)$$

$$\begin{aligned} CO_k &\geq \sum_{p \in P} XP_{ikp} (\alpha E_2^{TD_{ikp}U}) \\ &+ (1 - \alpha) E_1^{TD_{ikp}U} \\ &- d_k \\ &+ \sigma_{ik} - M \cdot U_{ik} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \forall i \\ \in I, \forall k \\ \in K \end{aligned} \quad (۸۱)$$

$$Z_1^U \leq Z_1^L \quad (۸۲)$$

$$q^U \geq q^L \quad (۸۳)$$

حال بایستی روشی برای حل یک مدل قطعی چندهدفه مورد استفاده قرار گیرد. با بررسی مطالعات انجام گرفته، رویکردها و راه‌حل‌های شناخته شده بسیاری در بهینه‌سازی چندهدفه وجود دارد که می‌تواند در یافتن جواب پارتویی و یا جوابی مناسب با اهداف تصمیم‌گیرنده استفاده شود. در تحقیقات انجام شده در ادبیات موضوع بیشتر از رویکرد معرفی شده توسط [۵۸] استفاده شده است. هر چند جواب حاصل از روش فوق گاهی اوقات نمی‌تواند بیانگر یک جواب کارا برای یک مسئله چندهدفه باشد [۵۹]. روش‌های موجود در ادبیات از یک ساختار تقریباً مشابه پیروی می‌کنند که هدف آن‌ها تبدیل یک مدل ریاضی چندهدفه به یک مدل تک‌هدفه است. گام‌های مورد نظر جهت حل مدل فرمول‌بندی شده قطعی ((۱۳)-(۳۱)، (۳۴)، (۳۸)-(۴۱)، (۴۴)، (۴۶)-(۶۰) و (۶۶)-(۷۳)) توسط رویکرد ارائه شده در این تحقیق، در زیر ارائه شده است:

گام (۱) برای هر یک از توابع هدف، یک درجه موجه بودن (α) در نظر گرفته شده و جواب‌های ایده‌آل α -مثبت و

تنوع محصولات، برخی از مشتریان خود را از دست بدهد. با این حال، مطالعات انجام شده توسط بخش تحقیق و توسعه، پیش‌بینی می‌کند که با حرفه‌ای شدن فعالیت‌های مربوط به دسته‌بندی مشخص شده محصولات و توزیع حجم بالاتری از محصولات تقاضا شده که از درآمد باکیفیت‌تری برخوردار هستند، نه تنها ضررهای ناشی از دست دادن مشتری جبران خواهد شد، بلکه در درازمدت نیز این شرکت به سوددهی قابل‌قبولی دست خواهد یافت. اطلاعات مربوط به زمان تغییر کامیون، زمان سفر میان درب ورودی و درب خروجی که اعداد فازی بازه‌ای در نظر گرفته شده‌اند، به ترتیب مطابق با جداول (۲) و (۳) ارائه شده‌اند. علاوه بر این، برخی از پارامترهای مسئله که مقدار مشخصی دارند در جدول (۴) ارائه شده‌اند.

جدول (۲): زمان تغییر کامیون (TC)

TC_p^U	TC_p^L	TC_m	TC_o^L	TC_o^U
۰.۲	۰.۴	۰.۵	۰.۶	۰.۸

جدول (۳): زمان سفر میان درب ورودی و درب خروجی

خروجی	درب خروجی ۱				
	$t_{j1_o}^U$	$t_{j1_o}^L$	$t_{j1_m}^U$	$t_{j1_p}^U$	$t_{j1_p}^L$
ورودی ۱	۰.۰۱	۰.۱	۰.۵	۰.۹	۰.۱۸
ورودی ۲	۰.۱	۰.۵	۰.۷۵	۱	۱.۴
ورودی ۳	۰.۰۵	۰.۷۵	۱	۱.۲۵	۱.۹۵
ورودی ۴	۰.۵	۰.۱	۰.۲۵	۰.۳	۰.۸

خروجی	درب خروجی ۲				
	$t_{j2_o}^U$	$t_{j2_o}^L$	$t_{j2_m}^U$	$t_{j2_p}^U$	$t_{j2_p}^L$
ورودی ۱	۰.۱	۰.۵	۰.۷۵	۱	۱.۴
ورودی ۲	۰.۲۵	۰.۷۵	۱	۱.۲۵	۱.۵
ورودی ۳	۰.۵	۱	۱.۲۵	۱.۵	۲
ورودی ۴	۰.۰۵	۰.۲۵	۰.۵	۰.۷۵	۰.۹۵

خروجی	درب خروجی ۳				
	$t_{j3_o}^U$	$t_{j3_o}^L$	$t_{j3_m}^U$	$t_{j3_p}^U$	$t_{j3_p}^L$
ورودی ۱	۰.۲۵	۰.۵	۱	۱.۵	۱.۷۵
ورودی ۲	۰.۵	۱	۱.۲۵	۱.۵	۲.۲۵
ورودی ۳	۱	۱.۲۵	۱.۵	۱.۷۵	۲
ورودی ۴	۰.۲۵	۰.۵	۰.۷۵	۱	۱.۲۵

خروجی	درب خروجی ۴				
	$t_{j4_o}^U$	$t_{j4_o}^L$	$t_{j4_m}^U$	$t_{j4_p}^U$	$t_{j4_p}^L$
ورودی ۱	۰.۵	۱	۱.۲۵	۱.۵	۲
ورودی ۲	۱	۱.۲۵	۱.۵	۱.۷۵	۲
ورودی ۳	۱	۱.۵	۱.۷۵	۲	۲.۵
ورودی ۴	۰.۲۵	۰.۵	۱	۱.۵	۱.۷۵

گام دوم: تبدیل مدل ریاضی MILP دو هدفه فازی به یک مدل قطعی با استفاده از روش به کاررفته در [۵۷] برای حد بالای اعداد فازی بازه‌ای و ارائه یک تضمین برای بهبود توابع هدف مسئله.

گام سوم: به دست آوردن پارامترهای تصمیم‌گیری در روش سلیم و ازکاراهان (SO).

گام چهارم: حل مدل ریاضی MILP دو هدفه قطعی به دست آمده از گام دوم با استفاده از روش حل چندهدفه SO.

۵. مطالعه موردی و تحلیل‌های عددی

در این بخش، جهت تصمیم‌گیری در مورد محصولات فروخته شده در یک شرکت زنجیره‌ای فعال در حوزه محصولات لبنی واقع در استان کردستان، از مدل پیشنهادی استفاده شده است. این شرکت زنجیره‌ای با مجوز تولید لبنیات به ظرفیت اسمی سالانه ۲۱۰۰۰ تن، دارای ۸ شعبه در ۴ استان کشور است، این واحد تولیدی در حال حاضر با ۱۵۲ نفر نیرو به صورت ۳ شیفت ۸ ساعته در حال تولید بوده و توانسته محصولات خود را که عبارتند از، شیر، دوغ، ماست، پنیر، کشک، خامه و کره در استان‌های همجوار خود، همچون همدان، کرمانشاه، ایلام و آذربایجان غربی به صورت کامل عرضه کند. مساحت شعبه اصلی این شرکت ۷۰۰۰ مترمربع بوده و ۳۵ نفر، از جمله کارگران و متخصصان، ۷ روز در هفته در آنجا مشغول به کار هستند. برای بررسی مسئله در هر استان یک شعبه در نظر گرفته شده است. تعداد جعبه‌های ارسالی با توجه به سبد محصولات ارسالی متفاوت بوده و به میزان موجودی محصولات بستگی دارد. این شرکت از انبارمقاطع برای توزیع محصولات در مسیر پیش رو استفاده می‌کند. دلیل اصلی استفاده از سیستم انبارمقاطع در این واحد تولیدی فاسدشدنی بودن محصولات و لذا لزوم ارسال هرچه سریع‌تر محصولات به دست مشتریان و مصرف کنندگان است که در نتیجه رضایت مشتری بالا رفته و به موجب آن سود شرکت افزایش می‌یابد. از دیگر ویژگی‌های بارز شرکت، به کارگیری سیستم برونسپاری توزیع محصولات توسط کامیون‌های شرکت‌های توزیعی دیگر است. این واحد تولیدی علاوه بر داشتن ۲۰ کامیون مختلف، برای جلوگیری از فاسد شدن محصول و پایین آمدن رضایت مشتری اقدام به برونسپاری و استخدام کامیون برای بخشی از سیستم توزیع محصولات خود کرده است. در این تحقیق بحث برونسپاری در انبارمقاطع در نظر گرفته شده است. این شرکت برای توزیع محصولات با چندین عمده‌فروش، توزیع‌کننده و واسطه همکاری می‌کند و به‌طور مستقیم با چهار نمایندگی توزیع‌کننده که در مناطق مختلف سطح استان از جمله شمال، شرق، جنوب شرقی و جنوب قرار دارد، تعامل داشته و به‌طور غیرمستقیم محصولات را بین مشتریان (سوپرمارکت‌ها، فروشگاه‌های مواد غذایی، رستوران‌ها و فست‌فودها) ارسال و توزیع می‌کند. این کار همانند استخدام کامیون و برونسپاری کمک می‌کند تا نگرانی‌های مصرف‌کنندگان در مورد سلامت مواد غذایی، کیفیت، تنوع، ارزش و راحتی در روند تکامل محصولات غذایی را برطرف کند. لازم به ذکر است، انتخاب یک سبد مناسب از محصولات به‌جای تنوع بخشیدن به محصولات موجب می‌شود که به دلیل کاهش

هدف هزینه مقداری کمتر یا مساوی حد پایین آن است؛ به همین صورت، همان‌طور که از شکل (۴) و جدول (۶) مشخص است، در تمامی آلفاها مقدار حد بالای تابع هدف کیفیت مقداری بیشتر و یا مساوی حد پایین آن است؛ هردو مقایسه ارائه‌شده نشان از عملکرد درست مدل و رویکرد ارائه‌شده دارد. به‌عنوان مثال، با توجه به جدول (۶) متوجه می‌شویم که در آلفای ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۷، مقدار حد بالا تابع هدف کیفیت به‌ترتیب از راست به چپ به میزان ۰/۰۱۱، ۰/۰۲۴ و ۰/۰۱۳ نسبت به حد پایین تابع هدف کیفیت بهبودیافته است. به همین صورت، با توجه به جدول (۵)، در آلفای ۰/۴ و ۰/۷، مقدار حد بالای تابع هدف هزینه به‌ترتیب از راست به چپ به میزان ۰/۰۲۷ و ۰/۰۳۳ نسبت به حد پایین تابع هدف هزینه بهبودیافته است.

جدول (۶): مقدار حد بالا و پایین تابع هدف کیفیت در آلفاهای متفاوت

ردیف	مقدار آلفا	حد بالای تابع هدف کیفیت	حد پایین تابع هدف کیفیت
۱	۰/۱	۰/۹۱۶۳	۰/۹۱۶۳
۲	۰/۲	۰/۹۲۶۰۲۲	۰/۹۱۹۳۲۷
۳	۰/۳	۰/۹۱۶۶	۰/۹۱۶۳۳
۴	۰/۴	۰/۹۶۹	۰/۹۴۶۱۷
۵	۰/۵	۰/۹۲۶۷۱	۰/۹۱۶۳
۶	۰/۶	۰/۹۱۷	۰/۹۱۶۰۱۴۹۱۸
۷	۰/۷	۰/۹۶۸۲۵۷	۰/۹۵۶۳
۸	۰/۸	۰/۹۶۱۰۷۳	۰/۹۳۶۳۳۳
۹	۰/۹	۰/۹۴۷۱۹۱	۰/۹۲۶۳۲۷

حال در یک سطح $\alpha = 0.5$ در حد بالا، تأثیر تغییر در پارامترهای زیر در مقادیر تابع هدف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و نتایج آن در جداول (۷) - (۹) و روند آن‌ها در نمودارهای شکل (۵) - (۱۰) ارائه شده است.

- تعداد درب‌های ورودی (خروجی)
- موعد تحویل کامیون خروجی
- مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) کامیون‌های ورودی (خروجی)

همان‌طور که در نمودار شکل (۵) مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد درب‌های ورودی (خروجی) از ۴ درب تا ۷ درب، مطابق با انتظاری که می‌رود، مقدار هزینه کاهش ۴,۳۷ درصد کمتر شده است. این میزان کاهش که ناشی از افزایش درب‌های ورودی (خروجی) است بدین معناست که با افزایش درب‌ها، صف ایجادشده در پشت درب‌ها کمتر شده و در نتیجه از مقدار هزینه‌های سیستم کاسته شده است. همچنین در نمودار شکل (۶)، به دلیل عدم استفاده از کامیونی جهت برون‌سپاری، از مقادیر کیفیت کاسته شده و با افزایش درب‌ها از ۴ تا ۷، مقدار کیفیت به میزان ۳,۰۶ درصد کاهش یافته است. به این نکته نیز توجه شود که تعداد درب‌ها در مطالعه موردی ۴ درب بوده است.

جدول (۴): بخشی از پارامترهای قطعی مسئله

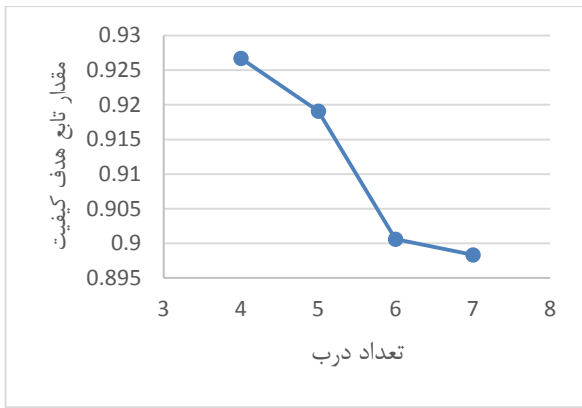
زمان رسیدن کامیون ورودی (I)	زمان رسیدن کامیون خروجی (K)	زمان رسیدن کامیون (K)	موعد تحویل کامیون خروجی (d _k)
۱	۱	۱	۱۵
۲	۲	۲	۱۷
۳	۳	۳	۱۴
۴	۵	۴	۲۱
۵	۵	۵	۲۳
۶	۴	۶	۲۴
۷	۴	۷	۲۲
۸	۴	۸	۲۱
۹	۶	۹	۲۲
۱۰	۸	۱۰	۲۱
۱۱	۶	۱۱	۲۴
۱۲	۷	۱۲	۲۰
۱۳	۶	۱۳	۲۱

مدیران این فروشگاه با یک مسئله تصمیم‌گیری مواجه هستند که این تصمیم‌گیری در مورد چگونگی و تعداد ارسال محصولات با هدف کاهش هزینه و افزایش کیفیت است؛ به عبارتی: (۱) بهینه‌سازی توالی کامیون‌های ورودی و خروجی با بهترین توالی تخلیه و بارگیری محصولات که منجر به حداقل انحراف کامیون‌های خروجی از زمان موعد مقرر تحویل به مشتری و (۲) بهینه‌سازی میزان محصولات ارسالی به کامیون‌های برون‌سپاری در کمترین هزینه و زمان که این کاهش زمان منجر به افزایش کیفیت محصولات ارسالی می‌شود؛ در مجموع یک مسئله BOMIP^۱ است.

جدول (۵): مقدار حد بالا و پایین تابع هدف هزینه در آلفاهای متفاوت

ردیف	مقدار آلفا	حد بالای تابع هدف هزینه	حد پایین تابع هدف هزینه
۱	۰/۱	۱۳۷/۴۵	۱۳۷/۴۵
۲	۰/۲	۱۳۷/۴۴۸	۱۳۷/۴۴۸
۳	۰/۳	۱۳۷/۴۵	۱۳۷/۴۵
۴	۰/۴	۱۳۹/۵۹۳	۱۴۳/۵۰۱
۵	۰/۵	۱۳۷/۱۵۲	۱۳۷/۱۵۲
۶	۰/۶	۱۳۷/۵۵	۱۳۷/۵۵
۷	۰/۷	۱۴۰/۴۵	۱۴۵/۲۳۹
۸	۰/۸	۱۳۷/۴۵	۱۴۰/۳۱۷
۹	۰/۹	۱۴۰/۴۴۶	۱۴۲/۰۷۹

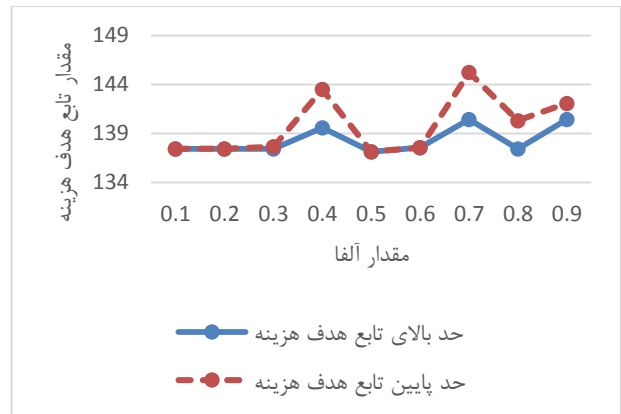
مقادیر تابع هدف اول که همان تابع هدف هزینه است، در سطوح آلفاهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است و همان‌طور که از شکل (۳) و جدول (۵) مشخص است، در تمامی آلفاها مقدار حد بالای تابع



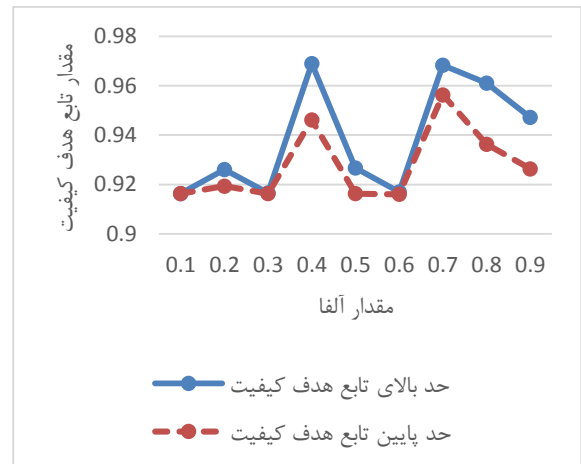
شکل (۶): تأثیر افزایش درب‌ها در مقادیر تابع هدف کیفیت

براساس بررسی‌های انجام‌گرفته، افزایش یا کاهش در موعد تحویل کامیون خروجی بر هر دو تابع هدف هزینه و کیفیت تأثیر گذاشته است. همان‌طور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، عدد ۱۵ موعد تحویلی (برحسب ساعت) است که در مطالعه موردی ارائه‌شده در نظر گرفته شده است. حال با افزایش و کاهش دو واحدی این مقدار، در نمودار شکل (۷) مشاهده می‌شود که با توجه به کاهش موعد تحویل کامیون خروجی از ۱۵ به ۹ ساعت، ۵۲٫۲۲ درصد موجب افزایش در هزینه‌ها شده است. همین‌طور برعکس و با افزایش موعد تحویل کامیون خروجی از ۱۵ به ۲۱ ساعت، ۳٫۰۶۳ درصد هزینه‌ها کاهش یافته است. حال اگر به شکل (۸) دقت شود، مشاهده می‌شود که تأثیرات نزولی (صعودی) که با افزایش (کاهش) در موعد تحویل، در مقادیر تابع هدف هزینه ایجاد شده است، در مقدار تابع هدف کیفیت نیز حاصل می‌شود. همان‌طور که مشخص است با کاهش مدت‌زمان تحویل از ۱۵ به ۹ ساعت، ۴٫۶۷ درصد کیفیت افزایش یافته و همین‌طور با تغییر موعد تحویل از ۱۵ به ۲۱ ساعت، مقدار کیفیت ۳٫۲۷ درصد کاهش یافته است. افزایش کیفیت به این دلیل است که با کاهش موعد تحویل کامیون خروجی، کامیونی جهت برون‌سپاری انتخاب شده و از آنجا که تکنولوژی بالایی را در اختیار دارد، باعث بهبود در میزان کیفیت خواهد شد.

از مواردی که بایستی مورد ارزیابی و تحلیلی قرار بگیرد، تغییر در مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) و بررسی روند مقادیر توابع هدف، تحت تأثیر این تغییرات است. همان‌طور که انتظار می‌رود با توجه به افزایش در زمان تخلیه (بارگیری) استفاده از کامیون برون‌سپاری را منجر می‌شود. لذا انتظار می‌رود که با افزایش زمان تخلیه (بارگیری)، مقدار تابع هدف کیفیت افزایش یابد. از طرفی استفاده از کامیون پیشرفته‌تر جهت برون‌سپاری، منجر به افزایش در هزینه‌ها می‌شود. حال مطابق با جدول (۹) و شکل‌های (۹) و (۱۰) این روند قابل مشاهده است.



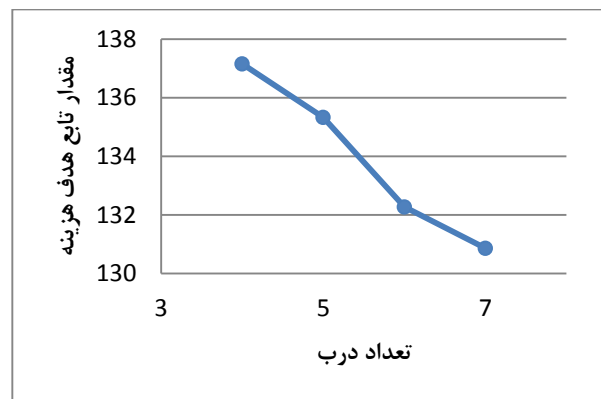
شکل (۳): مقایسه مقدار حد بالا و پایین تابع هدف هزینه در آلفاهای متفاوت



شکل (۴): مقایسه مقدار حد بالا و پایین تابع هدف کیفیت در آلفاهای متفاوت

جدول (۷): تأثیر افزایش درب‌ها در مقادیر تابع هدف هزینه و کیفیت

تعداد درب‌های ورودی (خروجی)	۷	۶	۵	۴
تابع هدف هزینه	۱۳۰٫۸۵۹	۱۳۲٫۲۷۴	۱۳۵٫۳۳۴	۱۳۷٫۱۵۲
تابع هدف کیفیت	۰٫۸۹۸۳۶	۰٫۹۰۰۶۲	۰٫۹۱۹۱۲	۰٫۹۲۶۷۱



شکل (۵): تأثیر افزایش درب‌ها در مقادیر تابع هدف هزینه

۱،۱۲ درصد کاهش در مقادیر تابع هدف کیفیت حاصل می‌شود. جهت بررسی و سنجش عملکرد مدل و توابع هدف مسئله، ۱۵ نقطه جواب پارتویی تولید شد و مقدار توابع هدف در $\alpha = 0.5$ حد بالا مورد بررسی قرار گرفتند، همان‌طور که از شکل (۱۱) و جدول (۱۰) مشخص است با افزایش هزینه انبار متقاطع، مقدار تابع هدف کیفیت نیز افزایش می‌یابد که نشان از عملکرد صحیح مدل دارد. با توجه به شکل (۱۱) و با افزایش هزینه‌ها، افزایش در مقادیر کیفیت را می‌توان مشاهده نمود. مدیران شرکت مورد مطالعه با توجه به سیاست‌های شرکت می‌توانند از بین این نقاط تصمیم‌گیری نمایند. سیاست در برخی از شرکت‌ها به نحوی است که کیفیت و رضایتمندی مشتریان، اولویت بالاتری برایشان دارد؛ لذا بایستی نقاطی را مورد توجه قرار دهند که مقادیر تابع هدف دوم جواب‌های بهتری را ارائه می‌دهد. برخی دیگر جنبه اقتصادی سیستم نقش مهم‌تری را نسبت به رضایتمندی مشتری ایفا می‌نماید. پس بایستی نقاطی که مقدار تابع هدف اول کمتر است، مدنظر قرار دهند. با توجه به مطالب عنوان شده، می‌توان نتیجه گرفت که روش ارائه شده در این تحقیق نسبت به روش‌های ارائه شده متداول در ادبیات موضوع (فازی متداول)، عملکرد بهتری دارد.

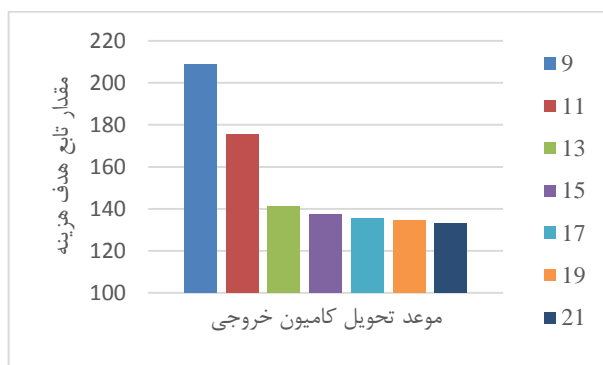
بر اساس تحلیل‌های انجام شده و با توابع هدف مورد بررسی، دیدگاه مدیریت شرکت باید متناسب با سیاست‌ها و بودجه در دسترس شرکت باشد. چنانچه مشکل کمبود بودجه در میان نباشد، مدیر می‌تواند هدف خود را بیشتر در رضایتمندی مشتری و افزایش کیفیت معطوف نماید. با توجه به مفروضات مدل پیشنهادی هر چه میزان برون‌سپاری بیشتر شود، کیفیت سیستم بهبود قابل توجهی می‌یابد. اما این در حالی است که اگر موضوع بودجه و هزینه‌ها در اولویت بالاتری باشد، مدیریت این سیستم بایستی متناسب با بودجه در دسترس انجام گیرد و تا جایی که امکان دارد در هزینه‌های وارد به سیستم صرفه‌جویی نماید. تغییرات پارامترهایی که در مدل پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته در بینش مدیریت نسبت به سیستم تأثیر می‌گذارد و با توجه به دو هدفه بودن مدل ریاضی ارائه شده، حق انتخاب را با توجه به سیاست‌های سالانه و یا ماهانه سازمان در اختیار مدیریت قرار می‌دهد. هم چنین این موضوع به دلیل انعطاف پذیر بودن مدل توجیه پذیر است.

جدول (۹): روند تغییرات توابع هدف هزینه و کیفیت با توجه به تغییر در مدت‌زمان تخلیه (بارگیری)

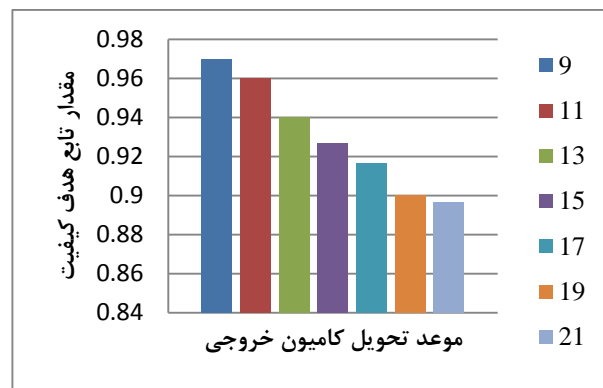
مدت‌زمان تخلیه (بارگیری)	تابع هدف هزینه	تابع هدف کیفیت
TP(TD)-...۰۶	۱۳۳،۴۵	۰،۹۱۶۲۴۴
TP(TD)-...۰۴	۱۳۵،۴۳۷	۰،۹۶۳۳۳
TP(TD)-...۰۲	۱۳۶،۷۱۱	۰،۹۲۴۷۳۸
۰ (بدون تغییر)	۱۳۷،۱۵۲	۰،۹۲۶۷۱
TP(TD)+...۰۲	۱۳۸،۹۵	۰،۹۲۶۹۳۳
TP(TD)+...۰۴	۱۳۹،۲۶۸	۰،۹۴۱
TP(TD)+...۰۶	۱۴۶،۹۵۵	۰،۹۷۹۷۰۲

جدول (۸): تأثیر تغییرات موعد تحویل کامیون خروجی در مقادیر تابع هدف هزینه و کیفیت

موعد تحویل کامیون خروجی	تابع هدف هزینه	تابع هدف کیفیت
۹	۲۰۸،۷۷۷	۰،۹۷۰۰۴۱
۱۱	۱۷۵،۴۸۳	۰،۹۶۰۴۰۸
۱۳	۱۴۱،۰۰۲	۰،۹۴۰۰۱۳
۱۵	۱۳۷،۱۵۲	۰،۹۲۶۷۱
۱۷	۱۳۵،۴۵	۰،۹۱۶۲۳
۱۹	۱۳۴،۵۵	۰،۹۰۰۳۳
۲۱	۱۳۲،۹۵	۰،۸۹۶۲۳

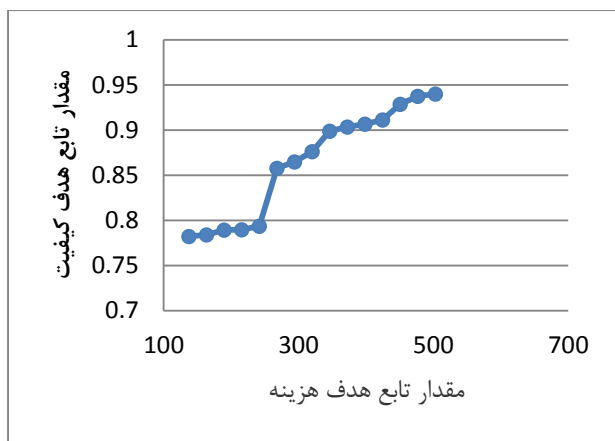


شکل (۷): تأثیر تغییرات موعد تحویل کامیون خروجی در مقدار تابع هدف هزینه

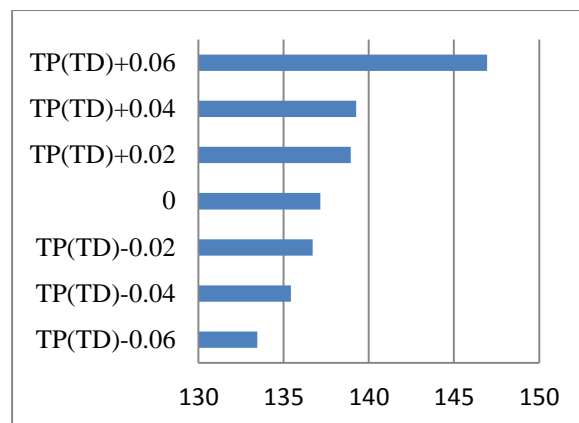


شکل (۸): تأثیر تغییرات موعد تحویل کامیون خروجی در مقدار تابع هدف کیفیت

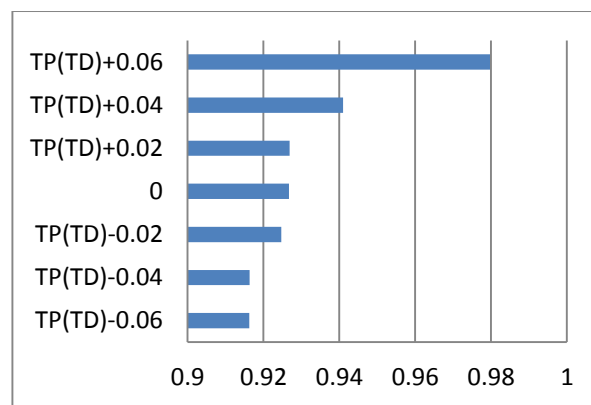
عدد صفر در جدول (۹)، نشان‌دهنده عدم تغییر در مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) است. حال چنانچه این مقدار تا ۰،۰۶ ساعت افزایش یابد، مقدار تابع هدف هزینه از ۱۳۷،۱۵۲ واحد به ۱۴۶،۹۵۵ واحد افزایش یافته است. این افزایش ۷،۱۴ درصدی مطابق با انتظارات بیان شده است. حال با کاهش مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) تا ۰،۰۶ ساعت، مقدار هزینه به ۱۳۳،۴۵ واحد کاهش یافته است. به همین ترتیب، نمودار شکل (۱۰) برای نمایش مقادیر تابع هدف کیفیت ترسیم شده است. این نمودار نشان می‌دهد که با همان مقادیر افزایش و کاهش در مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) به ترتیب به میزان ۵،۷۱ درصد افزایش و



شکل (۱۱): مقایسه مقدار تابع هدف هزینه و کیفیت در ۱۵ نقطه پارتویی متفاوت



شکل (۹): روند تغییرات تابع هدف هزینه با توجه به میزان تغییرات مدت‌زمان تخلیه (بارگیری)



شکل (۱۰): روند تغییرات تابع هدف کیفیت با توجه به میزان تغییرات مدت‌زمان تخلیه (بارگیری)

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل بهینه‌سازی دو هدف انبارمقطع به‌منظور به حداقل رساندن هزینه کل سیستم انبارمقطع و درعین‌حال به حداکثر رساندن کیفیت آن ارائه شده است. از نکات برجسته این تحقیق می‌توان به در نظر گرفتن فرض وجود توالی قرارگیری محصولات داخل کامیون‌های ورودی و خروجی و همچنین اهمیت توالی قرارگیری کامیون‌های ورودی و خروجی در درب ورودی و خروجی اشاره کرد. در این تحقیق به‌منظور اعتبارسنجی مدل و نشان دادن عملکرد آن، یک روش جدید مبتنی بر منطق فازی با ارزش بازه‌ای، IVF-SO برای حل مدل MIP توسعه و به‌کار گرفته شد. علاوه بر این، به جهت تأییدی بر عملی و اعتبار مدل، یک مطالعه موردی توزیع مواد غذایی ارائه شد. با توجه به نتایج عددی حاصل از مطالعه موردی انجام شده، برتری رویکرد پیشنهادی نسبت به روش‌های قبل، قابل توجه است. با توجه به جداول ارائه شده، متوجه می‌شویم که تابع هدف کیفیت در آلفاهای ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۷، مقدار حد بالا به ترتیب از راست به چپ به مقدار ۰/۲۴، ۰/۱۱ و ۰/۱۳ نسبت به حد پایین آن بهبود یافته است. به همین صورت، در آلفاهای ۰/۴ و ۰/۷، مقدار حد بالای تابع هدف هزینه به ترتیب از راست به چپ به میزان ۰/۲۷ و ۰/۳۳ نسبت به حد پایین آن بهبود داشته است. علاوه بر این، در تعدادی از پارامترهای حساس مدل تحلیل‌هایی صورت گرفته و تأثیرات آن در مقادیر توابع هدف مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقادیر بررسی شده، روند صحیح مدل MILP دو هدفه پیشنهادی را تأیید نموده و صحت آن را به اثبات رسانیده است. تغییرات در تعداد درب‌های ورودی (خروجی)، موعد تحویل کامیون خروجی و مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) باعث ایجاد تغییراتی در مقادیر توابع هدف مدل پیشنهادی گردید. به‌طور کلی با افزایش تعداد درب‌های ورودی (خروجی) تا ۷ درب، مقادیر توابع هدف و هزینه به ترتیب ۴،۳۷ و ۳،۰۶ درصد کاهش یافت. علاوه بر این، افزایش موعد تحویل کامیون خروجی از ۱۵ تا ۲۱ ساعت باعث کاهش به میزان ۳،۰۶۳ درصد در هزینه‌ها شده و همین‌طور با کاهش موعد تحویل از ۱۵ به ۹ ساعت، میزان ۵۲،۲۲ درصد افزایش در هزینه‌ها را

جدول (۱۰): مقدار توابع هدف هزینه و کیفیت در ۱۵ نقطه پارتویی متفاوت

ردیف	تابع هدف هزینه	تابع هدف کیفیت
۱	۱۳۷/۴۵	۰/۷۸۲۳۹
۲	۱۶۳/۵۴	۰/۷۸۴۱۶۷
۳	۱۸۹/۶۲	۰/۷۸۹۵۷۸
۴	۲۱۵/۷۱	۰/۷۸۹۶۰۶
۵	۲۴۱/۸	۰/۷۹۳۷۶۹
۶	۲۶۷/۸۸	۰/۸۵۷۸۸۷
۷	۲۹۳/۹۷	۰/۸۶۴۹۲۳
۸	۳۲۰/۰۶	۰/۸۷۶۴۱۷
۹	۳۴۶/۱۴	۰/۸۹۸۸۷۴
۱۰	۳۷۲/۲۳	۰/۹۰۳۶۶۳
۱۱	۳۹۸/۳۲	۰/۹۰۶۷۶۶
۱۲	۴۲۴/۴	۰/۹۱۱۲۴۶
۱۳	۴۵۰/۴۹	۰/۹۲۸۶
۱۴	۴۷۶/۵۸	۰/۹۳۷۴۴
۱۵	۵۰۲/۶۶	۰/۹۴۰۱۱۳

- Research*, 193(1): 59-72.
- [9] Gelareh, S. et al. (2016). "A branch-and-cut algorithm for the truck dock assignment problem with operational time constraints". *European Journal of Operational Research*, 249(3): 1144-1152.
- [10] Nassief, W., Contreras, I., Jaumard, B. (2018). "A comparison of formulations and relaxations for cross-dock door assignment problems". *Computers & Operations Research*, 94: 76-88.
- [11] 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: 102-115.
- [12] Madani-Isfahani, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Naderi, B. (2014). "Multiple cross-docks scheduling using two meta-heuristic algorithms". *Computers & Industrial Engineering*, 74: 129-138.
- [13] 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.
- [14] Boysen, N., Fliedner, M. (2010). "Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda". *Omega*, 38(6): 413-422.
- [15] Grangier, P., et al. (2017). "A matheuristic based on large neighborhood search for the vehicle routing problem with cross-docking". *Computers & Operations Research*, 84: 116-126.
- [16] Fonseca, G.B., Nogueira, T.H., Ravetti, M.G. (2019). "A hybrid Lagrangian metaheuristic for the cross-docking flow shop scheduling problem". *European Journal of Operational Research*, 275(1): 139-154.
- [17] Konur, D., Golias, M.M. (2013). "Analysis of different approaches to cross-dock truck scheduling with truck arrival time uncertainty". *Computers & Industrial Engineering*, 65(4): 663-672.
- [18] Van Belle, J., et al. (2013). "A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows". *Computers & Industrial Engineering*, 66(4): 818-826.
- [19] Miao, Z., Lim, A., Ma, H. (2009). "Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks". *European journal of operational research*, 192(1): 105-115.
- [20] Fanti, M.P., Stecco, G., Ukovich, W. (2014). "Scheduling internal operations in post-distribution cross docking systems". *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(1): 296-312.
- [21] Rezaei, S., Kheirkhah, A. (2017). "Applying forward and reverse cross-docking in a multi-product integrated supply chain network". *Production Engineering*, 11(4-5): 495-509.
- [۲۲] محتشمی، علی، نجفی، علی، امیری، مقصود، ایرج‌پور، علیرضا. (۱۳۹۸). "طراحی مدل ریاضی مسیریابی سبز در سیستم‌های بارانداز متقاطع چندگانه با رویکرد کاهش گاز دی‌اکسیدکربن". نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۷(۱۴): ۷۷-۵۹.
- [23] Corsten, H., Becker, F., Salewski, H. (2020). در برداشته است. همچنین با توجه به همان مقدار افزایش (کاهش) در موعد تحویل کامیون خروجی، میزان $4,67(3,27)$ درصد کاهش (افزایش) در مقدار تابع هدف کیفیت ایجاد گردیده است. چنانچه مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) تغییر یابد، نتایج تابع هدف هزینه و کیفیت به‌صورت مستقیم با افزایش و کاهش تغییرات در ارتباط است. از این‌رو، با افزایش $0,06$ ساعت در مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) مقدار تابع هدف هزینه از $137,152$ واحد به $146,955$ واحد رسیده است. علاوه بر این، با کاهش مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) تا $0,06$ ساعت، مقدار تابع هدف اول، به $133,45$ واحد کاهش یافته است. از طرفی مقدار تابع هدف کیفیت با افزایش و کاهش مدت‌زمان تخلیه (بارگیری) به همان مقدار قبل، به ترتیب $1,12$ درصد و $5,71$ درصد افزایش و کاهش داشته است. به‌عنوان مسیری برای تحقیقات آینده، می‌توان مدلی را که در آن از درب‌های منعطف جهت دریافت و ارسال کالا استفاده می‌شوند؛ در نظر گرفت. همچنین براساس ساختار مدل، می‌توان یک مدل برنامه‌ریزی دو سطح را برای حل مدل پیشنهادی تهیه کرد. تمرکز این تحقیق به‌طور عمده بر برنامه‌ریزی بارگیری/تخلیه در باراندازهای ورودی و خروجی بود. با این حال، چندین جنبه دیگر از مسئله (به‌عنوان مثال اثرات نشت یا خراب شدن/آلودگی/منقضی شدن عمر هر محصول و غیره) با پیامدهای مدیریتی قابل توجه موضوع تحقیقاتی آتی بوده و در مدل پیشنهادی گنجانده شود تا یک مدل واقعی‌تر از مسئله به‌دست آید.
- ### مراجع
- [1] Vahdani, B., Zandieh, M. (2010). "Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics". *Computers & Industrial Engineering*, 58(1): 12-24.
- [2] Kim, C., Yang, K.H., Kim J. (2008). "A strategy for third-party logistics systems: A case analysis using the blue ocean strategy". *Omega*, 36(4): 522-534.
- [3] Boysen, N., Briskorn, D., Tschöke, M. (2013). "Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departures". *OR spectrum*, 35(2): 479-504.
- [4] Van Belle, J., Valckenaers, P., Cattrysse, D. (2012). "Cross-docking: State of the art". *Omega*, 40(6): 827-846.
- [5] Agustina, D., Lee, C., Piplani R. (2010). "A review: mathematical models for cross docking planning". *International Journal of Engineering Business Management*, 2(2): 47-54.
- [6] Lim, A., Ma, H., Miao, Z. (2006). Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks. in International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems, Springer.
- [7] Liao, T., Egbelu, P., Chang, P. (2013). "Simultaneous dock assignment and sequencing of inbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi-door cross docking operations". *International Journal of Production Economics*, 141(1): 212-229.
- [8] Chen, F., Lee, C.-Y. (2009). "Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem". *European Journal of Operational*

- [39] Chatterjee, K., Kar, S. (2016). "Multi-criteria analysis of supply chain risk management using interval valued fuzzy TOPSIS". *Opsearch*, 53(3): 474-499.
- [40] Mohammadi, M., Dehbari, S., Vahdani, B. (2014). "Design of a bi-objective reliable healthcare network with finite capacity queue under service covering uncertainty". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 72: 15-41.
- [41] Guijun, W., Xiaoping, L. (1998). "The applications of interval-valued fuzzy numbers and interval-distribution numbers". *Fuzzy Sets and Systems*, 98(3): 331-335.
- [42] Javanmard, S., Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). "Solving a multi-product distribution planning problem in cross docking networks: An imperialist competitive algorithm". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12): 1709-1720.
- [43] Mousavi, S. M., Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Hashemi, H. (2014). "Location of cross-docking centers and vehicle routing scheduling under uncertainty: a fuzzy possibilistic-stochastic programming model". *Applied Mathematical Modelling*, 38(7-8): 2249-2264.
- [44] Shadman, A., Bozorgi-Amiri, A., Rahmani, D. (2017). "A mathematical model for vehicle routing and scheduling problem with cross-docking by considering risk". *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 28(2): 189-199.
- [45] Mousavi, S.M., Vahdani, B. (2017). "A robust approach to multiple vehicle location-routing problems with time windows for optimization of cross-docking under uncertainty". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(1): 49-62.
- [46] Khorshidian, H., Shirazi, M.A., Ghomi, S. F. (2019). "An intelligent truck scheduling and transportation planning optimization model for product portfolio in a cross-dock". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(1): 163-184.
- [۴۷] عظیمی، فرزاد، موسوی، سید میثم، رجب‌زاده، محسن. (۱۳۹۸). "یک مدل برنامه‌ریزی خاکستری برای اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد کالاها در عملیات لجستیک معکوس با در نظر گرفتن انبارمقاطع". نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۷(۱۴): ۱۶۳-۱۷۷.
- [48] Rahbari, A., Nasiri, M. M., Werner, F., Musavi, M., Jolai, F. (2019). "The vehicle routing and scheduling problem with cross-docking for perishable products under uncertainty: Two robust bi-objective models". *Applied Mathematical Modelling*, 70: 605-625.
- [49] Molavi, D., Shahmardan, A., Sajadieh, M.S. (2018). "Truck scheduling in a cross docking systems with fixed due dates and shipment sorting". *Computers & Industrial Engineering*, 117: 29-40.
- [50] Mousavi, S.M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Jolai, F. (2013). "A possibilistic programming approach for the location problem of multiple cross-docks and vehicle routing scheduling under uncertainty". *Engineering Optimization*, 45(10): 1223-1249.
- [51] Zadeh, L. (1968). "Fuzzy sets. In/ormotr on and Control, 8: 338-353. Probability measures of fuzzy
- "Integrating truck and workforce scheduling in a cross-dock: analysis of different workforce coordination policies". *Journal of Business Economics*, 90(2): 207-237.
- [24] Ardakani, A., Fei, J., Beldar, P. (2020). "Truck-to-door sequencing in multi-door cross-docking system with dock repeat truck holding pattern". *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11: 201-220.
- [25] Sakawa, M., Kato, K., Nishizaki, I. (2003). "An interactive fuzzy satisficing method for multiobjective stochastic linear programming problems through an expectation model". *European journal of operational research*, 145(3): 665-672.
- [26] Demirli, K., Yimer, A.D. (2008). "Fuzzy scheduling of a build-to-order supply chain". *International Journal of Production Research*, 46(14): 3931-3958.
- [27] Petrovic, D. (2001). "Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment". *International Journal of Production Economics*, 71(1-3): 429-438.
- [28] Dubois, D., Prade, H. (1994). "Fuzzy sets/spl minus/a convenient fiction for modeling vagueness and possibility". *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2(1): 16-21.
- [29] Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy sets". *Information and control*, 8(3): 338-353.
- [30] Bellman, R.E., Zadeh, L.A. (1970). "Decision-making in a fuzzy environment". *Management science*, 17(4): B-141-B-164.
- [31] Herrera, F., Martinez, L. (2000). "An approach for combining linguistic and numerical information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in decision-making". *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 8(05): 539-562.
- [32] Dubois, D., et al. (2004). "Probability-possibility transformations, triangular fuzzy sets, and probabilistic inequalities". *Reliable computing*, 10(4): 273-297.
- [33] Lai, Y.-J., Hwang, C.-L. (1992). "A new approach to some possibilistic linear programming problems". *Fuzzy sets and systems*, 49(2): 121-133.
- [34] Liang, T.-F. (2006). "Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming". *Fuzzy Sets and Systems*, 157(10): 1303-1316.
- [35] Liang, T.-F. (2008). "Integrating production-transportation planning decision with fuzzy multiple goals in supply chains". *International Journal of Production Research*, 46(6): 1477-1494.
- [36] Bharati, S.K., Singh, S.R. (2019). "Solution of multiobjective linear programming problems in interval-valued intuitionistic fuzzy environment". *Soft Computing*, 23(1): 77-84.
- [37] Yin, D. (2018). "Application of interval valued fuzzy linear programming for stock portfolio optimization". *Applied Mathematics*, 9(2): 101-113.
- [38] Khalifa, H., Al-Shabi, M. (2018). "On solving stock portfolio problem through interval-valued fuzzy linear programming". *Asian Journal of Science and Technology*, 9(10): 8961-8969.

- [56] Vidal, C.J., Goetschalckx, M. (2001). "A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation". *European Journal of Operational Research*, 129(1): 134-158.
- [57] Jiménez, M., et al. (2007). "Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution". *European Journal of Operational Research*, 177(3): 1599-1609.
- [58] Zimmermann, H.-J. (1978). "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions". *Fuzzy sets and systems*, 1(1): 45-55.
- [59] Pishvaei, 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.
- [60] Selim, H., Ozkarahan, I. (2008). "A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(3-4): 401-418.
- events. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 101427427. 1973". *Outline of a new approach to the analysis of complex or imprecise concepts. IEEE Transactions: Systems, Man and Cybernetics, SMC-3*, 1965: 28-44.
- [52] Zadeh, L.A. (1976). "A fuzzy-algorithmic approach to the definition of complex or imprecise concepts". *International Journal of Man-machine studies*, 8(3): 249-291.
- [53] Chen, S.-J., Chen, S.-M. (2003). "Fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized fuzzy numbers". *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 11(1): 45-56.
- [54] Gorzalczyk, M.B. (1987). "A method of inference in approximate reasoning based on interval-valued fuzzy sets". *Fuzzy sets and systems*, 21(1): 1-17.
- [55] Yao, J.-S., Lin, F.-T. (2002). "Constructing a fuzzy flow-shop sequencing model based on statistical data". *International journal of approximate reasoning*, 29(3): 215-234.



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

E. Mirzaei¹, S.M. Mousavi^{2*}

^{1,2} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 March 2020

Accepted 4 August 2020

Keywords:

Cross-dock
Scheduling
Bi-objective
Due date
Product sequence
Outsourcing

ABSTRACT

In this paper, an inbound and outbound truck scheduling problem is investigated in a multi-door cross-dock system considering due date assumptions for outbound trucks as a strict constraint. Part of the products is placed inside outsourcing trucks to ensure timely delivery, customer satisfaction, and product quality enhancement. The problem under consideration is formulated as a bi-objective mathematical programming problem whose objectives are to minimize operational costs and maximize the quality of products delivered in cross-dock. In this paper, the sequence of trucks behind the inbound and outbound doors in the cross-dock is also regarded. A mixed-integer programming model is formulated for the proposed problem. Since the real-world uncertainty is inevitable; therefore, an improved IVF-SO fuzzy method is presented in this paper to solve the model. In this paper, to illustrate the efficiency of the proposed model and also the introduced approach, a real-world example is presented to justify the performance. The numerical results of the case study demonstrate the superiority of the proposed approach over previous methods.

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