

## یک مدل برنامه‌ریزی خاکستری برای اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد کالاها در عملیات لجستیک معکوس با در نظر گرفتن انبار متقاطع

فرزاد عظیمی<sup>۱</sup>، سید میثم موسوی<sup>۲\*</sup>، محسن رجب‌زاده<sup>۳</sup>

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

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

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

### خلاصه

رقابت بین سازمان‌ها برای کسب سهم بیشتر بازار و سود بالاتر، مدیران را به استفاده از تکنیک‌های جدید و مقرون‌به‌صرفه ترغیب می‌کند. کالاهای برگشتی و مازاد بر نیاز همواره بخش قابل توجهی از موجودی فروشگاه‌ها و شرکت‌ها را تشکیل می‌دهند که تصمیم‌گیری در مورد اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد این کالاها می‌تواند اثرات ملموسی را بر روی سود و زیان آن‌ها داشته باشد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح با بهره‌گیری از سیستم انبار متقاطع در توزیع مجدد محصولات فروخته نشده با هدف بیشینه‌سازی سود ارائه می‌شود. در این مدل ملاحظات جدید تصمیم‌گیری در مورد اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد محصولات در فرآیند زمان‌بندی عملیات لجستیک معکوس نیز در نظر گرفته می‌شود. با توجه به عدم قطعیت موجود در عواملی همانند درآمد حاصل از فروش، هزینه‌ها و زمان، پارامترهای مسئله تحت بررسی در قالب اعداد خاکستری در نظر گرفته شده و یک رویکرد حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری جهت مواجهه با عدم قطعیت‌ها به کار گرفته می‌شود. در ادامه فرآیند لجستیک معکوس در یکی از فروشگاه‌های زنجیره‌ای فعال در شهر تهران به‌عنوان مطالعه موردی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی و اعتبار سنجی نتایج با تحلیل حساسیت روی پارامترهای مهم، نشان از کارکرد مطلوب روش پیشنهادی در فرآیند تصمیم‌گیری در شرکت تحت مطالعه داشته است.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۸/۵/۱۶

پذیرش ۱۳۹۸/۷/۲۰

کلمات کلیدی:

مدیریت لجستیک معکوس

سیستم انبار متقاطع

مدل برنامه‌ریزی ریاضی

تئوری خاکستری

### ۱- مقدمه

در سال‌های گذشته عواملی از جمله قوانین زیست‌محیطی، شرایط اقتصادی، آگاهی جامعه نسبت به مسائل زیست‌محیطی، نیازهای دولتی، مسئولیت‌پذیری اجتماعی تولیدکننده‌ها و رشد فشارهای رقابتی سازمان‌ها را می‌توان دلایل اصلی افزایش توجه و استفاده از زنجیره تأمین معکوس در عمل توسط سازمان‌های خصوصی و دولتی و تحقیقات در زمینه علمی توسط محققان نام برد [۱]. به‌منظور کاهش پسماندها در طبیعت، تولیدکنندگان علاوه بر تولید محصولات سازگار

با محیط‌زیست می‌بایست محصولات استفاده‌شده را جمع‌آوری و آن‌ها را بازیافت کنند [۲]. در ادامه چندین دلیل بازگشت محصولات از فروشگاه‌ها ذکر شده است:

- محصولاتی که خراب‌شده‌اند اما می‌توانند تعمیر شوند و دوباره استفاده شوند.
- محصولاتی که به فروش نرفته‌اند.
- محصولاتی که پس داده شده‌اند.
- محصولاتی که در حین جابجایی دچار آسیب شده‌اند.

\* نام نویسنده مسئول: سید میثم موسوی.

تلفن: ۰۲۱۵۱۲۱۲۰۹۱ پست الکترونیکی: sm.mousavi@shahed.ac.ir

مدیریت و کنترل صحیح محصولات فروخته نشده با استفاده از لجستیک معکوس در فروشگاه‌ها، می‌تواند سودآوری شرکت‌ها و تولیدکنندگان را در پی داشته باشد [۴،۳]. به همین دلیل بسیاری از شرکت‌ها درک بهتری از محصولات بازگشتی پیدا کرده‌اند و لجستیک معکوس را به‌عنوان یک مفهوم سودآور پذیرفته‌اند. شرکت‌های بسیاری از جمله جنرال موتور، کانن و دل از لجستیک معکوس استفاده می‌کنند [۵].

رجرز و همکاران لجستیک معکوس را «فرآیند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و کنترل کارآمد جریان‌های بازگشتی مواد خام، دارایی‌های در حین فرآیند، محصولات نهایی و اطلاعات بازیافت، تولید دوباره و اسقاط مرتبط به آن‌ها از یک تولیدکننده، توزیع‌کننده یا نقطه مصرف تا نقطه مبدأ با هدف جمع‌آوری یا اسقاط آن‌ها تعریف می‌کنند» [۶].

تصمیم‌گیری در مورد کالاها برگشتی در لجستیک معکوس یکی از مهم‌ترین تصمیماتی است که همواره پیش روی مدیران شرکت‌ها و فروشگاه‌ها است. بازیافت، تولید دوباره و اسقاط، فرآیندهایی هستند که در لجستیک معکوس اتفاق می‌افتند [۷]. در گذشته در صورتی که نرخ بازگشت و سود محصولات پایین بود مدیران آن‌ها را اسقاط می‌کردند، اما در بازار پویای امروز این کار می‌تواند سودآوری شرکت‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و حتی سوددهی آن‌ها را کاهش دهد [۸]. یکی از راه‌های فروش محصولات فروخته نشده در فروشگاه‌ها، تجاری‌سازی دوباره این محصولات است.

انبار متقاطع یک نقطه میانی در شبکه توزیع است که در آن محصولات تولیدکنندگان بدون این‌که درون انبار نگهداری شوند توسط کامیون‌ها به مشتریان یا خرده‌فروشان تحویل داده می‌شوند [۹]. این جابجایی در انبار متقاطع کم‌تر از ۲۴ ساعت صورت می‌گیرد که باعث کاهش هزینه‌های نگهداری محصولات در انبار شده و همچنین به علت تحویل سریع‌تر محصولات نسبت به انبارداری سنتی، رضایت مشتریان نیز افزایش می‌یابد [۱۰]. تاکنون شرکت‌های بسیاری همانند فروشگاه‌های زنجیره‌ای وال مارت، شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات پستی، شرکت تیویوتا از انبار متقاطع استفاده کرده‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۳].

هنگامی که یک محصول وارد انبار متقاطع می‌شود، بلافاصله بررسی اولیه روی آن صورت می‌گیرد. سپس محصولاتی که بازرسی اولیه را با موفقیت گذرانده‌اند، دسته‌بندی شده و در ادامه مطابق با نیاز مشتریان بسته‌بندی می‌شوند و در نهایت درون کامیون‌های تحویل، بارگیری می‌شوند [۱۴]. در جدول ۱-۱ عملیات انجام‌شده در انبار متقاطع نشان داده شده است [۱۵].

انبار متقاطع بیشتر در لجستیک روبه‌جلو بررسی شده که نتایج مفید و ارزشمندی نیز داشته است. چگونگی به‌کارگیری سیستم انبار متقاطع در لجستیک معکوس و بهره‌بردن از مزایای آن و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در این مسئله می‌تواند باعث ارتقای کارایی فرایند حمل‌ونقل کالاها بازگشتی شود. در لجستیک معکوس مسائل زیادی همانند چند سطحی بودن مشتریان، عملیات جمع‌آوری محصولات، تولید دوباره محصولات استفاده‌شده، بازیافت محصولات و حتی اسقاط

مدیریت و کنترل صحیح محصولات فروخته نشده با استفاده از لجستیک معکوس در فروشگاه‌ها، می‌تواند سودآوری شرکت‌ها و تولیدکنندگان را در پی داشته باشد [۴،۳]. به همین دلیل بسیاری از شرکت‌ها درک بهتری از محصولات بازگشتی پیدا کرده‌اند و لجستیک معکوس را به‌عنوان یک مفهوم سودآور پذیرفته‌اند. شرکت‌های بسیاری از جمله جنرال موتور، کانن و دل از لجستیک معکوس استفاده می‌کنند [۵].

رجرز و همکاران لجستیک معکوس را «فرآیند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و کنترل کارآمد جریان‌های بازگشتی مواد خام، دارایی‌های در حین فرآیند، محصولات نهایی و اطلاعات بازیافت، تولید دوباره و اسقاط مرتبط به آن‌ها از یک تولیدکننده، توزیع‌کننده یا نقطه مصرف تا نقطه مبدأ با هدف جمع‌آوری یا اسقاط آن‌ها تعریف می‌کنند» [۶].

تصمیم‌گیری در مورد کالاها برگشتی در لجستیک معکوس یکی از مهم‌ترین تصمیماتی است که همواره پیش روی مدیران شرکت‌ها و فروشگاه‌ها است. بازیافت، تولید دوباره و اسقاط، فرآیندهایی هستند که در لجستیک معکوس اتفاق می‌افتند [۷]. در گذشته در صورتی که نرخ بازگشت و سود محصولات پایین بود مدیران آن‌ها را اسقاط می‌کردند، اما در بازار پویای امروز این کار می‌تواند سودآوری شرکت‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و حتی سوددهی آن‌ها را کاهش دهد [۸]. یکی از راه‌های فروش محصولات فروخته نشده در فروشگاه‌ها، تجاری‌سازی دوباره این محصولات است.

مقاطع برای مسئله زمان‌بندی، توالی کامیون‌ها و تخصیص کامیون‌ها به درب‌ها با در نظر گرفتن چندین انبار متقاطع و درب‌های منعطف ارائه داده است. همچنین برای برنامه‌ریزی بهتر کامیون‌های ورودی و خروجی از محدودیت پنجره زمانی استفاده شده است، به علاوه برای حداقل کردن زمان انتظار کامیون‌ها از سیستم صف M/M/1 استفاده شده است. همچنین برای حل این مدل از دو الگوریتم چندهدفه استعماری رقابتی و الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی گرگ خاکستری استفاده شده است و در نهایت چندین مثال حل شده است. محمودی و همکاران [۲۴] یک روش جدید برای حل مسئله برنامه‌ریزی خطی خاکستری معرفی کرده‌اند. در این مقاله اعداد خاکستری به سه دسته تقسیم شده‌اند، همچنین هر تابع هدف و محدودیت، به دو تابع هدف و محدودیت تبدیل می‌شود و سپس با استفاده از روش سیمپلکس مسئله حل می‌شود. پس از معرفی روش پیشنهادی چندین مثال عددی آورده شده و سپس تحلیل حساسیت انجام شده است. از مزایای روش ارائه شده سادگی این روش در مقایسه با روش‌ها موجود در ادبیات موضوع می‌باشد به گونه‌ای که تنها با سه گام می‌توان مسائل خاکستری را حل کرد.

موسوی و همکاران [۲۵] یک مدل تصمیم‌گیری گروهی چند معیاره مبتنی بر روش فازی شهودی بازه‌ای را برای بررسی عدم قطعیت پیشنهاد دادند. در اولین گام تمامی ماتریس‌های تصمیم‌گیری فازی شهودی بازه‌ای با استفاده از یک عملگر میانگین حسابی وزن‌دار جمع می‌شوند؛ در ادامه یک شاخص جدید جمعی معرفی می‌شود که به طور هم‌زمان مسافت مراکز انبار متقاطع را از نقاط ایده آل ماتریس تصمیم‌گیری در نظر می‌گیرد. در نهایت نیز یک مثال برای نشان دادن عملکرد مدل ارائه شده در مورد انتخاب مکان انبار متقاطع انجام شده است.

رهبری و همکاران [۲۶] مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با استفاده از انبار متقاطع را برای محصولات فسادپذیر بررسی کردند. در این مقاله ماهیت محصولات فسادپذیر مشخص شده است، در واقع محصولات در نظر گرفته شده میوه و سبزیجات می‌باشند که زودتر از دیگر محصولات فاسد می‌شوند. به همین منظور یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط دو هدفه با اهداف کاهش هزینه کل و حداکثر کردن تازگی محصولات ارائه شده است. در این مسئله زمان جابجایی کامیون‌های خروجی و تازه بودن محصولات، غیرقطعی می‌باشند و برای رفع آن از روش برنامه‌ریزی استوار استفاده شده است. در نهایت مدل ارائه شده با مثال عددی حل شده و نتایج نشان می‌دهد که در نظر گرفتن عدم قطعیت باعث بهبود تازگی محصولات می‌شود.

فاطمی و همکاران [۲۷] مسئله برنامه‌ریزی کامیون‌های ورودی و خروجی در انبار متقاطع را بررسی کردند که زمان ورود کامیون‌های ورودی نامشخص است. چندین درب ورود و خروج برای این انبار متقاطع در نظر گرفته شده است و هر درب نیز منحصرأ مخصوص ورود یا خروج می‌باشد. به همین منظور یک مدل دو هدف و دو مرحله‌ای ارائه شده است. برای حل این مدل از روش‌های فراابتکاری استفاده شده

سپس عملیات لازم لجستیک معکوس در انبار متقاطع را معرفی می‌کنند. در این مسئله درصد تطبیق محصولات با توجه به سفارش‌های مشتریان به عنوان یک معیار برای میزان انعطاف‌پذیری شبکه استفاده شده است. در ادامه این مسئله به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مدل شده و اثرات استفاده از انبار متقاطع در مدیریت لجستیک معکوس نشان داده شده است.

فانتی و همکاران [۲۰] زمان‌بندی عملیات داخلی در انبار متقاطع را بررسی کردند. در این مسئله مقصد محصولات پس از ورود به انبار متقاطع 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 جابجا می‌شوند. در گام بعد، محصولات درون جعبه‌ها تخلیه می‌شوند. در ادامه محصولات بر اساس سفارشات، درون جعبه‌های جدید قرار می‌گیرند و جعبه‌ها درون پالت‌ها و پالت‌ها درون کامیون‌های خروجی قرار می‌گیرند. این مسئله را براساس زمان و توالی مدل شده و از روش ابتکاری برای حل آن استفاده شده است.

رضایی و خیرخواه [۲۱] یک شبکه زنجیره تأمین چند محصولی را در نظر گرفتند که انبار متقاطع 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 به طور هم‌زمان در نظر گرفته نشده است، مقایسه شده و نشان داده می‌شود که استفاده هم‌زمان لجستیک معکوس و روبه‌جلو باعث افزایش عملکرد شبکه می‌شود.

کبودانی و همکاران [۲۲] مسئله مسیریابی و زمان‌بندی کامیون‌ها در یک شبکه زنجیره تأمین سه سطحی را هم در لجستیک روبه‌جلو و هم در لجستیک معکوس بررسی کرده‌اند که این شبکه زنجیره تأمین شامل تأمین‌کننده، انبار متقاطع و خرده‌فروشان می‌باشد. این مسئله به دو صورت در نظر گرفته شده است؛ در حالت اول محصولات تأمین‌کنندگان وارد انبار متقاطع می‌شوند؛ سپس کامیون‌ها محصولات را به مشتریان تحویل می‌دهند و محصولات بازگشتی را به انبار متقاطع بازمی‌گردانند؛ دوباره به تأمین‌کنندگان مراجعه می‌کنند و محصولات بازگشتی را به تأمین‌کنندگان تحویل می‌دهند. در حالت دوم ابتدا محصولات توسط کامیون‌ها به انبار متقاطع آورده می‌شوند؛ سپس محصولات را به مشتریان تحویل می‌دهند و محصولات بازگشتی را نیز جمع‌آوری کرده و مستقیم به تأمین‌کنندگان تحویل می‌دهند. این مسئله به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مدل شده و با روش شبیه‌سازی تبرید حل شده است.

وحدانی [۲۳] یک مدل بهینه‌سازی دو هدف با اهداف حداقل کردن هزینه‌ها و حداقل کردن مصرف انرژی توسط لیفتراک‌ها درون انبار

همچنین اهمیت سرعت و پردازش عملیات دلایل وجود عدم قطعیت در پارامترهایی همانند زمان، تقاضا، هزینه و درآمد هستند [۳۴،۳۳]. برای مثال هزینه‌های زیست‌محیطی، هزینه‌های کاهش آلودگی، هزینه‌های بازیافت و هزینه جابجایی از جمله مواردی هستند که دارای عدم قطعیت می‌باشند. در این مقاله برای بررسی اثرات عدم قطعیت برخی از پارامترها از تئوری خاکستری استفاده شده است.

در این مقاله رویکرد نوینی جهت تصمیم‌گیری در مورد اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد محصولات فروش نرفته با در نظر گرفتن انبارهای متقاطع با هدف حداکثر سازی سود، در لجستیک معکوس پیشنهاد شده است. مهم‌ترین نوآوری‌های پژوهش حاضر که آن را از ادبیات موضوع متمایز می‌سازد عبارتند از:

- تصمیم‌گیری در مورد اسقاط و یا تجاری‌سازی محصولات فروخته نشده در فروشگاه‌های اولیه
  - در نظر گرفتن زمان و هزینه حمل‌ونقل
  - استفاده از تئوری خاکستری جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله
  - پیاده‌سازی مدل پیشنهادی جهت برنامه‌ریزی لجستیک معکوس در یکی از فروشگاه‌های زنجیره‌ای در شهر تهران
- در ادامه مقاله، در قسمت دوم توضیحاتی در مورد تئوری خاکستری و عملگرهای آن داده می‌شود. در فصل سوم تعریف مسئله و مدل غیرقطعی ریاضی ارائه می‌شود. در بخش چهارم مدل معادل قطعی آورده شده، قسمت پنجم مربوط به مطالعه موردی می‌باشد و همچنین تحلیل حساسیت انجام شده است و در قسمت ششم پیشنهادات برای ادامه کار در زمینه لجستیک معکوس و جمع‌بندی نهایی ارائه شده است.

## ۲- تعاریف اولیه

اطلاعات در دنیای واقعی معمولاً با عدم قطعیت و دقت همراه هستند. تئوری خاکستری ابتدا توسط دنگ معرفی شد که یک رویکرد برای حل مسائل بهینه‌سازی همراه با عدم قطعیت است. در یک سیستم خاکستری اگر همه اطلاعات راجع به سیستم مشخص باشد به آن سیستم "سفید" گفته می‌شود و اگر هیچ اطلاعی راجع به آن سیستم در دسترس نباشد به آن سیستم "سیاه" گفته می‌شود و به سیستمی "خاکستری" اطلاق می‌شود که اطلاعات تقریباً نامعلوم باشند [۳۵]. سیستم‌های خاکستری دنیای واقعی را بهتر نشان می‌دهد [۳۶]. اعداد خاکستری مفهومی از تئوری خاکستری است که توسط دنگ معرفی شدند [۴۱،۴۰]. در ادامه برخی از عملگرهای اعداد خاکستری بررسی می‌شود.

تعریف ۱: یک سیستم شامل داده‌های مبهم، یک سیستم خاکستری نامیده می‌شود و با متغیرها و اعداد خاکستری نمایش داده می‌شود.

تعریف ۲:  $X$  را به‌عنوان مجموعه جهانی در نظر بگیرید. مجموعه خاکستری  $A$  به دو صورت  $\underline{\mu}_A(x)$  و  $\overline{\mu}_A(x)$  نشان داده می‌شود.

است. در نهایت با استفاده از روش‌های فراابتکاری ارائه شده مدل حل شده و با روش‌های موجود در ادبیات موضوع مقایسه شده است. فاروقی و اشرفی [۲۸] طراحی یک شبکه زنجیره‌ی تأمین چند سطحی را در نظر گرفتن راهبردهای پایای چندگانه در سطح مراکز توزیع را بررسی کردند.

علی و همکاران [۲۹] نیز در مطالعه‌ای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار با رویکرد تئوری خاکستری را در صنعت فولاد مورد بررسی قرار داده و به‌خوبی عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند انتخاب تأمین‌کنندگان را با تئوری خاکستری پوشش دادند.

همان‌طور که در مرور ادبیات مشاهده می‌شود، خیرخواه و رضایی [۲] فقط بازیافت محصولات را در نظر گرفته‌اند و تصمیم‌گیری در مورد اسقاط یا تجاری‌سازی دوباره این محصولات را بررسی نکرده‌اند. همچنین زولگا [۱۵] تجاری‌سازی مجدد محصولات فروخته نشده را بررسی کرده و اگر امکان تجاری‌سازی مجدد محصولات وجود نداشته باشد، آن‌ها را در انبار نگهداری می‌کنند. در مقالات [۱۵،۱۶،۱۷] زمان‌بندی عملیات لجستیک معکوس در نظر گرفته نشده است و فقط جنبه عملیاتی محصولات را بررسی کرده‌اند. یکی از موضوعات مهمی که در هیچ‌کدام از مقالات مرور شده در ادبیات موضوع بررسی نشده است، عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله است. از آنجایی که در یک مدل ریاضی بهینه‌سازی در شرایط واقعی، برخی از پارامترها ماهیت غیرقطعی و غیردقیق دارند؛ برای تحلیل اثرات این پارامترها و به دست آوردن نتایج بهتر می‌توان از تئوری عدم قطعیت بهره برد [۳۰،۳۱،۳۲]. تئوری فازی، برنامه‌ریزی استوار، تئوری خاکستری، برنامه‌ریزی بازه‌ای از جمله روش‌های اصلی برای بررسی اثرات عدم قطعیت هستند.

جدول (۱): فعالیت‌های اصلی در سیستم انبار متقاطع [۱۵]

فعالیت	نقش	توصیف
سفارش	فروشگاه	مسئول خرید فروشگاه مطابق اطلاعات قبلی، سفارش می‌دهد.
ثبت سفارش	دپارتمان فروش	سفارش‌ها ثبت شده و برای تأمین‌کنندگان اطلاعات مرتبط با مقدار محصولات و زمان تحویل آن‌ها فرستاده می‌شود.
تهیه سفارش و حمل‌ونقل	تأمین‌کننده	تأمین‌کننده مطابق با سفارشات محصولات را درون جعبه‌ها قرار داده و آن‌ها را به انبار متقاطع ارسال می‌کنند.
انبار متقاطع	انبار متقاطع	سفارشات مختلف وارد انبار متقاطع شده و براساس نیاز مشتریان درون جعبه‌های جدید قرار می‌گیرند و برای آن‌ها ارسال می‌شوند.
تأیید سفارش	فروشگاه	مسئول فروشگاه جعبه‌ها را دریافت می‌کند و محصولات را تأیید می‌کند.

در لجستیک معکوس کیفیت غیر یکسان محصولات مختلف و تعداد متفاوت محصولات که از فروشگاه‌های مختلفی جمع‌آوری می‌شوند و

پارامتر  $b \otimes$  بردار منابع خاکستری و متغیر  $X$  متغیر تصمیم خاکستری نامیده می‌شود.

رویکردهای مختلفی برای حل یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری در ادبیات موضوع پیشنهاد شده است، به‌عنوان نمونه در روش پیشنهادی لو و همکاران [۳۷] داریم:

$$C = \rho \bar{C} + (1 - \rho) \underline{C} \quad (10)$$

$$b = \beta \bar{b} + (1 - \beta) \underline{b} \quad (11)$$

$$a_{ij} = \delta_{ij} \bar{a}_{ij} + (1 - \delta_{ij}) \underline{a}_{ij}; \quad (12)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

که پارامترهای  $C$ ،  $b$  و  $a_{ij}$  به ترتیب معادل قطعی پارامترهای پارامتر  $C \otimes$ ،  $A \otimes$  و  $b \otimes$  می‌باشند. همچنین  $\rho$  ضریب موقعیت بردار سود،  $\beta$  ضریب موقعیت بردار ضرایب محدودیت‌ها و  $\delta_{ij}$  ضریب موقعیت بردار منابع می‌باشند.

از مزایای بهره‌گیری از مفهوم اعداد خاکستری می‌توان به برطرف کردن ابهامات ناشی از تصمیمات نادرست انسانی [۳۸]، بهبود کیفیت داوری خبرگان و مدیران [۳۹] و خروجی‌های بهتر با استفاده از داده‌های کم‌تر را می‌توان نام برد [۴۰]. بنابراین با بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری می‌توان عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مدل را به‌خوبی در نظر گرفت و نتایج قابل اتکایی از حل مدل با مقادیر خوش‌بینانه و بدبینانه پارامترها به دست آورد.

### ۳- تعریف مسئله

همواره در فروشگاه‌ها کالاهایی وجود دارند که با وجود سالم بودن، به دلایل مختلف فروش نرفته و در فروشگاه باقی می‌مانند. معمولاً دو راهکار در پیش روی مدیران در برخورد با این کالاها وجود دارد، اسقاط کالاها یا فروش نرفته در محل فروشگاه‌های اولیه و یا ارسال آن‌ها به فروشگاه‌های حراجی. در صورت اسقاط کالاها در محل، ارزش اسقاط این کالاها به مراتب پایین‌تر از قیمت این کالاها بوده و منجر به عایدی حداقلی خواهد شد و در مقابل ارسال این کالاها به فروشگاه‌های حراجی می‌تواند منجر به فروش کالاها با قیمت‌های بالاتر شود، اما انتقال فرآیند هزینه‌زاست و در صورت عدم تطابق این کالاها با نیاز فروشگاه‌های حراجی و دیرکرد در ارسال می‌تواند منجر به ضرر شود. علاوه بر این برای جلوگیری از تأخیر یا تعجیل در ارسال محصولات به فروشگاه‌های حراجی، زمان‌بندی در عملیات لجستیک معکوس اهمیت بسزایی دارد.

در این مقاله، مسئله تصمیم‌گیری در مورد اسقاط و یا تجاری‌سازی مجدد کالاها فروخته نشده با هدف حداکثر سازی سود حاصل از ساماندهی این محصولات در یک سیستم لجستیک معکوس با در نظر گرفتن انبارهای متقاطع مورد بررسی قرار گرفته است. تمامی محصولات موجود در فروشگاه‌های اولیه بدون در نظر گرفتن سفارشات درون جعبه قرار می‌گیرند و پس از جمع‌آوری تمام جعبه‌ها از همه فروشندگان وارد انبار متقاطع می‌شوند. سپس درون جعبه‌های جدید

$$\begin{cases} \underline{\mu}_A(x): x \rightarrow [0,1] \\ \bar{\mu}_A(x): x \rightarrow [0,1] \end{cases} \quad (1)$$

$\underline{\mu}_A(x)$  و  $\bar{\mu}_A(x)$  به ترتیب حد پایین و بالا مجموعه  $A$  گفته می‌شوند.

تعریف ۳: ممکن است عدد خاکستری به صورت یک عدد مبهم تعریف شود. برای مثال می‌توان به متغیرهای زبانی اشاره کرد که به صورت اعداد بازه‌ای بیان می‌شوند. این اعداد بازه‌ای عدد مبهم نامیده می‌شوند. در این صورت عدد خاکستری  $A$  به شکل زیر نشان داده می‌شود:

$$\otimes A, (\otimes A = A \left[ \begin{array}{c} \bar{\mu} \\ \underline{\mu} \end{array} \right]) \quad (2)$$

تعریف ۴: اگر عدد خاکستری  $A$  به صورت حد پایینی از  $A$  تخمین زده شود، به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\otimes A = [A, \infty) \quad (3)$$

تعریف ۵: اگر عدد خاکستری  $A$  به صورت حد بالایی از  $A$  تخمین زده شود، به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\otimes A = (\infty, \bar{A}] \quad (4)$$

تعریف ۶: اگر عدد خاکستری  $A$  به صورت حد بالا و پایینی از  $A$  تخمین زده شود به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\otimes A = [A, \bar{A}] \quad (5)$$

تعریف ۷: عملگرهای جبری دو عدد خاکستری  $\otimes A_1 = [A_1, \bar{A}_1]$  و  $\otimes A_2 = [A_2, \bar{A}_2]$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\otimes A_1 + \otimes A_2 = [A_1 + A_2, \bar{A}_1 + \bar{A}_2] \quad (6)$$

$$\otimes A_1 - \otimes A_2 = \otimes A_1 + (-\otimes A_2) = [A_1 - \bar{A}_2, \bar{A}_1 - A_2] \quad (7)$$

$$\otimes A_1 \times \otimes A_2 = [\min(A_1 A_2, A_1 \bar{A}_2, \bar{A}_1 A_2, \bar{A}_1 \bar{A}_2), \max(A_1 A_2, A_1 \bar{A}_2, \bar{A}_1 A_2, \bar{A}_1 \bar{A}_2)] \quad (8)$$

برخی پارامترها در مدل پیشنهادی دارای عدم قطعیت می‌باشند و تحت شرایط مختلف مقادیر متفاوتی خواهند داشت. با وجود نامعلوم بودن مقدار این پارامترها، مقادیر آن‌ها در حالت بدبینانه و خوش‌بینانه معین بوده و می‌توان گفت مقدار نهایی آن‌ها همواره در بازه بین مقدار بدبینانه تا خوش‌بینانه قرار دارد. لذا با توجه به تعریف اعداد خاکستری، می‌توان از این اعداد جهت مدل‌سازی عدم قطعیت در پارامترها استفاده کرد.

تعریف ۹: یک مدل برنامه‌ریزی زیر که در آن پارامتر و یا متغیرهای مدل به صورت خاکستری تعریف شده باشند، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری را تشکیل می‌دهد:

$$\begin{aligned} \max z &= \otimes CX \\ \text{s.t:} \\ \otimes AX &\geq \otimes b \\ X &\geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

در این مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری، پارامتر  $C \otimes$  بردار سود خاکستری، پارامتر  $A \otimes$  بردار ضرایب محدودیت‌های خاکستری،

**نمادها**

$a$ : نماد برای محصولات  $\{I, \dots, A\}$

$i$ : نماد برای خرده‌فروشان  $\{I, \dots, I\}$

$b$ : نماد برای جعبه‌ها  $\{I, \dots, B\}$

$j$ : نماد برای فروشگاه‌های حراجی  $\{I, \dots, J\}$

**پارامترها**

$TP$ : درصد تلورانس.

$M$ : یک عدد بزرگ

$CDC_{ib}$ : هزینه انبار متقاطع برای جعبه  $b$  خرده‌فروش  $i$ ام.

$OA_{aj}$ : تعداد واحد محصول  $a$  که فروشگاه حراجی  $j$ ام سفارش داده است.

$d_j$ : مسافت جابجایی از انبار متقاطع تا فروشگاه حراجی  $j$ ام.

$d_i$ : مسافت جابجایی از خرده‌فروش  $i$ ام تا انبار متقاطع.

$SP_{aj}$ : قیمت فروش محصول  $a$  در فروشگاه حراجی  $j$ ام.

$DP_{ai}$ : قیمت اسقاط محصول  $a$  در خرده‌فروش  $i$ ام.

$NA_{aib}$ : تعداد واحد محصول  $a$  در جعبه  $b$  خرده‌فروش  $i$ ام.

$RC_{ib}$ : هزینه بازگشت جعبه  $b$  خرده‌فروش  $i$ ام.

$Rt_{ib}$ : زمان آماده بودن جعبه  $b$  خرده‌فروش  $i$ ام.

$du_{ib}$ : زمان تحویل مقرر جعبه  $b$  خرده‌فروش  $i$ ام.

$tt_i$ : زمان جابجایی از خرده‌فروش  $i$ ام به انبار متقاطع.

$tt_j$ : زمان جابجایی از انبار متقاطع به فروشگاه حراجی  $j$ ام.

$Pt_{ib}$ : زمان پردازش جعبه  $b$  خرده‌فروش  $i$ ام در انبار متقاطع.

$W$ : دیرترین زمان تحویل ممکن

$$w = \sum_{i=1}^I tt_i + \sum_{j=1}^J tt_j + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B Pt_{ib} \quad (۱۳)$$

**متغیرهای تصمیم‌باینری**

$BA_{ibj}$ :

1 : اگر جعبه  $b$  خرده‌فروش  $i$ ام به فروشگاه حراجی  $j$ ام تعلق یابد  
0 : در غیر این صورت

$BT_{ib}$ :

1 : اگر جعبه  $b$ ام خرده‌فروش  $i$  اسقاط شود  
0 : در غیر این صورت

$x_{ibibr}$ :

1 : اگر جعبه  $b$ ام خرده‌فروش  $i$  زودتر از جعبه‌های دیگر پردازش شود  
0 : در غیر این صورت

**متغیرهای تصمیم پیوسته**

$SA_{aj}$ : مقدار مازاد: تعدادی از محصول  $a$  درون جعبه  $i$ ام قرار دارد که بیشتر از مقدار سفارش فروشگاه حراجی  $j$ ام است.

$LA_{aj}$ : مقدار کمبود: مقداری از محصول  $a$  درون جعبه  $b$ ام که از

مقدار سفارش فروشگاه حراجی  $j$ ام کمتر است.

قرار می‌گیرند و بدون در نظر گرفتن سفارشات هر مشتری به فروشگاه‌های حراجی ارسال می‌شوند. به دلیل توجه نکردن به سفارشات هر فروشگاه، ممکن است محصولات هنگام تحویل در فروشگاه‌های حراجی کمتر، مطابق یا بیشتر از نیاز آن‌ها باشد. در صورتی که تعداد محصولات ارسالی بیشتر از مقدار سفارش هر فروشگاه بود، تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا عدم پذیرش محصولات بستگی به مطابقت زمان درخواستی فروشگاه حراجی دارد. از آنجایی که زمان تحویل محصولات مجدد اهمیت دارد، هر فروشنده زمان موردنیاز خود را اعلام می‌کند. در صورتی که محصولات دیرتر از موعد مقرر به فروشنده تحویل داده شود، فروشندگان محصولات را تحویل نمی‌گیرند و هزینه بازگشت نیز افزایش می‌یابد. به همین منظور برای کاهش هزینه‌ها و افزایش سود این فروشگاه‌ها از معیار تطابق برای تعداد محصولات ارسالی و تابع وابسته به زمان برای بیان احتمال بازگشت محصولات استفاده شده است.

نوآوری‌های مهم مدل ریاضی عبارتند از:

- تصمیم‌گیری در مورد تجاری‌سازی مجدد و یا اسقاط محصولات فروخته نشده در عملیات لجستیک معکوس
  - زمان‌بندی عملیات لجستیک معکوس با استفاده از انبار متقاطع
  - در نظر گرفتن عدم قطعیت در برخی از پارامترها
  - در نظر گرفتن احتمال بازگشت محصولات بر اساس زمان تحویل محصولات
- مهم‌ترین مفروضات مسئله تحت بررسی عبارت‌اند از:
- در مدل پیشنهادی، سود حاصل از فروش محصولات بازگشتی حداکثر می‌شود، برای این منظور درآمد حاصل از فروش محصولات در فروشگاه‌های حراجی و درآمد حاصل از اسقاط محصولات از هزینه جابجایی محصولات، هزینه انبار متقاطع و هزینه‌های بازگشت محصولات از فروشگاه‌های حراجی کم می‌شود و در مورد اسقاط یا فروش محصولات فروخته نشده در فروشگاه‌های اولیه تصمیم‌گیری می‌کند.
  - شبکه لجستیک معکوس شامل ۲ یا تعداد بیشتری از فروشگاه‌های حراجی است.
  - قیمت فروش محصولات مختلف متفاوت است و به اینکه از کدام فروشگاه اولیه برمی‌گردد، بستگی دارد.
  - چندین فروشگاه اولیه در نظر گرفته شده است.
  - اطلاعات عرضه از فروشگاه‌های اولیه و اطلاعات تقاضا از فروشگاه‌های حراجی در دسترس هستند.
  - اگر محصولات وارد انبار متقاطع نشوند، اسقاط می‌شوند.
  - درآمد حاصل از اسقاط محصولات مختلف، متفاوت است.
  - هزینه‌های انبار متقاطع برای هر جعبه متفاوت است.
  - هزینه‌های بازگشتی برای هر جعبه متفاوت است.
  - هزینه اسقاط محصولات ناچیز در نظر گرفته شده است.
- مهم‌ترین نمادهای مورد استفاده در مدل پیشنهادی عبارت‌اند از:

$$RP_{ib} = \frac{D_{ib}}{w - \otimes du_{ib}} \quad \forall i, b \quad (26)$$

$$BA_{ibj}, BT_{ib}, x_{ibib'} \in \{0,1\} \quad (27)$$

$$SA_{aj}, LA_{aj}, MP_{ibj}, Lt_{ib}, Dt_{ib}, RP_{ib}, D_{ib} \geq 0 \quad (28)$$

تابع هدف حداکثر کردن سود را حساب می‌کند، بدین منظور در تابع هدف درآمد حاصل از فروش محصولات و درآمد حاصل از اسقاط محصولات از هزینه‌های جابجایی، هزینه انبار متقاطع و هزینه بازگشت محصولات از فروشگاه حراجی کم می‌شود. در محدودیت ۱۶ مقدار مازاد یا کمبود محصول حساب می‌شود، اگر  $SA_{aj}$  یک مقدار مثبت بگیرد، محصول  $a$  در  $a$  سفارش نداده و اگر  $LA_{aj}$  یک مقدار مثبت بگیرد، محصول  $a$  توسط فروشگاه حراجی  $a$  سفارش داده شده است که در جعبه  $i$  موجود نیست. اگر  $SA_{aj}$  یک مقدار مثبت بگیرد  $LA_{aj}$  صفر می‌شود و برعکس. معادله ۱۷ درصد مطابقت جعبه  $a$  با سفارش فروشگاه حراجی  $a$  را محاسبه می‌کند. این محدودیت، تعداد محصولات درون جعبه  $a$  را لحاظ می‌کند که به دسته‌بندی ایده آل محصول فروشگاه حراجی  $a$  تعلق نمی‌گیرند. مطابقت محصولات از کم کردن این مقدار از عدد یک به دست می‌آید. محدودیت ۱۸ تضمین می‌کند که فقط جعبه‌هایی که کمتر از درصد تلورانس هستند می‌توانند به فروشگاه حراجی  $a$  تخصیص یابند. محدودیت ۱۹ نشان می‌دهد که محصولات یا وارد انبار متقاطع می‌شوند و سپس در فروشگاه حراجی فروخته می‌شوند یا اسقاط می‌شوند. در محدودیت ۲۰ زمان رسیدن جعبه‌ها به انبار متقاطع محاسبه می‌شود، این مقدار از مجموع زمان جابجایی و زمان آماده بودن جعبه‌ها به دست می‌آید. محدودیت‌های ۲۱، ۲۲ و ۲۳ زمان خروج هر جعبه از انبار متقاطع را نشان می‌دهند. همچنین در محدودیت‌های ۲۲ و ۲۳ اولویت پردازش جعبه‌ها حساب می‌شود. در محدودیت ۲۴، زمان رسیدن هر جعبه به فروشگاه حراجی مربوط به آن محاسبه شده است. محدودیت ۲۵ میزان دیرکرد جعبه‌ها را حساب می‌کند. در محدودیت ۲۶ درصد بازگشت جعبه‌ها محاسبه می‌شود. محدودیت ۲۷ متغیرهای باینری را معرفی می‌کند و محدودیت آخر محدودیت‌های نامنفی بودن را نشان می‌دهد.

#### ۴- رویکرد حل

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، در مدل پیشنهادی جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در برخی پارامترها از اعداد خاکستری استفاده شده است که همواره مقداری در طیف خوش‌بینانه و بدبینانه به خود می‌گیرند. رویکرد خوش‌بینانه نسبت به وقایع دیدگاهی مثبت دارد و همچنین در این دیدگاه نتایج مطلوب، مورد انتظار است، اما رویکرد بدبینانه نسبت به وقایع دیدگاهی منفی دارد و نتایج نامطلوب به دست می‌آید [۴۳].

مدل برنامه‌ریزی خاکستری زیر را در نظر بگیرید:

$MP_{ibj}$ : درصد مطابقت جعبه  $a$  با سفارش فروشگاه حراجی  $a$ .

$$MP_{ibj} = 1 - \frac{\sum_{a=1}^A SP_{aj}}{\sum_{a=1}^A NA_{aib}} \quad \forall i, j, b \quad (14)$$

$At_{ib}$ : زمان رسیدن جعبه  $b$  خرده‌فروش  $a$  به انبار متقاطع.

$Lt_{ib}$ : زمان خروج جعبه  $b$  خرده‌فروش  $a$  از انبار متقاطع.

$Dt_{ib}$ : زمان رسیدن جعبه  $b$  به فروشگاه حراجی  $a$ .

$D_{ib}$ : میزان تأخیر در تحویل جعبه  $b$  خرده‌فروش  $a$ .

$RP_{ib}$ : درصد بازگشت جعبه  $b$  خرده‌فروش  $a$ .

مدل ریاضی:

$$\begin{aligned} \max z &= \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J \otimes SP_{aj} \times \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B BA_{ibj} \\ &+ \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B NA_{aib} \times \otimes DP_{ai} \\ &- \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (\otimes d_i \times \otimes tt_i + \otimes d_j \\ &\quad \times \otimes tt_j) \times BA_{ibj} \quad (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &- \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \otimes CDC_{ib} \\ &\quad \times \sum_{j=1}^J BA_{ibj} \\ &- \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B RP_{ib} \\ &\quad \times \otimes RC_{ib} \end{aligned}$$

$$\left( \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B NA_{aib} \times BA_{ibj} \right) - O_{aj} = SP_{aj} - LP_{aj} \quad \forall a, j \quad (16)$$

$$MP_{ibj} = 1 - \frac{\sum_{a=1}^A SP_{aj}}{\sum_{a=1}^A NA_{aib}} \quad \forall i, j, b \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^J BA_{ibj} + BT_{ib} = 1 \quad \forall i, b \quad (18)$$

$$BA_{ibj} \leq TP + MP_{ibj} \quad \forall i, b, j \quad (19)$$

$$\otimes At_{ib} \geq \otimes Rt_{ib} + \otimes tt_i - MBT_{ib} \quad \forall i, b \quad (20)$$

$$\otimes Lt_{ib} \geq \otimes At_{ib} + \otimes Pt_{ib} \quad \forall i, b \quad (21)$$

$$\otimes Lt_{ib} \geq \otimes Lt_{i'b'} + \otimes Pt_{ib} - M(1 - x_{ibib'}) \quad (22)$$

$$\forall i, b, i', b', i = i' \rightarrow b \neq b'$$

$$\otimes Lt_{i'b'} \geq \otimes Lt_{ib} + \otimes Pt_{i'b'} - Mx_{ibib'} \quad (23)$$

$$\forall i, b, i', b', i \neq i'$$

$$\otimes Dt_{ib} \geq \otimes Lt_{ib} + \otimes tt_j - MBT_{ib} \quad (24)$$

$$\forall i, b, j$$

$$\otimes D_{ib} \geq \otimes Dt_{ib} - \otimes du_{ib} \quad (25)$$

$$\forall i, b$$

در رویکرد بدبینانه، با در نظر گرفتن بدترین سناریوها جواب نهایی مسئله تحت بررسی به دست می‌آید و تصمیم‌گیرندگان با رویکرد محافظه‌کارانه از این روش استفاده می‌کنند، اما در مقابل، در رویکرد خوش‌بینانه بهترین سناریوها در رویکردی تهاجمی جهت رسیدن به پاسخ در دستور کار قرار می‌گیرند. در این مقاله با توجه به ترجیحات تصمیم‌گیرندگان در مطالعه موردی، در ابتدا با در نظر گرفتن رویکرد بدبینانه تلاش شده است، برنامه‌ریزی حاصل از حل مدل، در بدترین سناریوها کارا باشد. در ادامه با بهره‌گیری از رویکرد خوش‌بینانه تلاش شده است نتایج حاصل تا حد امکان با حفظ رویکرد محافظه‌کارانه بهبود یابد. بنابراین در ابتدا مدل معادل بدبینانه حل شده و سپس با استفاده از نتایج آن، مدل معادل خوش‌بینانه به‌قرار زیر نوشته و حل می‌شود.

مدل معادل بدبینانه:

$$\begin{aligned} \max z = & \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J \frac{SP_{aj}}{NA_{aib}} \times \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B BA_{ibj} \times NA_{aib} \\ & + \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B NA_{aib} \times \frac{DP_{ai}}{BT_{ib}} \times BT_{ib} \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (\underline{d}_i \times \underline{tt}_i + \underline{d}_j \times \underline{tt}_j) \\ & \quad \times BA_{ibj} \quad (35) \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \frac{CDC_{ib}}{BA_{ibj}} \times \sum_{j=1}^J BA_{ibj} \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B RP_{ib} \times \frac{RC_{ib}}{BA_{ibj}} \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B NA_{aib} \times BA_{ibj} - O_{aj} = SP_{aj} - LP_{aj} \quad \forall a, j \quad (36)$$

$$MP_{ibj} = 1 - \frac{\sum_{a=1}^A SP_{aj}}{\sum_{a=1}^A NA_{aib}} \quad \forall i, j, b \quad (37)$$

$$\sum_{j=1}^J BA_{ibj} + BT_{ib} = 1 \quad \forall i, b \quad (38)$$

$$BA_{ibj} \leq TP + MP_{ibj} \quad \forall i, b, j \quad (39)$$

$$At_{ib} \geq \overline{Rt}_{ib} + \overline{tt}_i - MBT_{ib} \quad \forall i, b \quad (40)$$

$$Lt_{ib} \geq At_{ib} + \overline{Pt}_{ib} \quad \forall i, b \quad (41)$$

$$Lt_{ib} \geq Lt'_{ib'} + \overline{Pt}_{ib} - M(1 - x_{ib'ib'}) \quad \forall i, b, i', b', i = i' \rightarrow b \neq b' \quad (42)$$

$$Lt'_{ib'} \geq Lt_{ib} + \overline{Pt}_{ib'} - Mx_{ib'ib'} \quad \forall i, b, i', b', i \neq i' \quad (43)$$

$$Dt_{ib} \geq Lt_{ib} + \overline{tt}_j - MBT_{ib} \quad \forall i, b, j \quad (44)$$

$$\begin{aligned} \max z = & \otimes CX \\ \text{s.t:} & \\ & \otimes AX \geq \otimes b \\ & X \geq 0 \end{aligned} \quad (29)$$

در این مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری، پارامتر  $\otimes C$  اصطلاحاً بردار سود خاکستری، پارامتر  $\otimes A$  بردار ضرایب محدودیت‌های خاکستری، پارامتر  $\otimes b$  بردار منابع خاکستری و متغیر  $X$  متغیر تصمیم خاکستری نامیده می‌شود.

طبق روش پیشنهادی لو و همکاران [۴۲] داریم:

$$C = \rho \overline{C} + (1-\rho) \underline{C} \quad (30)$$

$$b = \beta \overline{b} + (1-\beta) \underline{b} \quad (31)$$

$$a_{ij} = \delta_{ij} \overline{a}_{ij} + (1-\delta_{ij}) \underline{a}_{ij}; \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n. \quad (32)$$

که پارامترهای  $C$ ،  $b$  و  $a_{ij}$  به ترتیب معادل قطعی پارامترهای  $\otimes C$ ،  $\otimes b$  و  $\otimes A$  می‌باشند. همچنین  $\rho$  ضریب موقعیت بردار سود،  $\beta$  ضریب موقعیت بردار ضرایب محدودیت‌ها و  $\delta_{ij}$  ضریب موقعیت بردار منابع می‌باشند.

در این مقاله دو رویکرد خوش‌بینانه و بدبینانه برای حل مسئله در نظر گرفته شده است. در رویکرد بدبینانه، هدف در نظر گرفتن بدترین حالت در تابع هدف و کوچک کردن فضای جواب مسئله است و برای این منظور برای معادل‌سازی مدل غیرقطعی می‌بایست پارامترهای تابع هدف و مقادیر سمت راست در حد پایین خود و ضرایب محدودیت‌ها را در حد بالای خود قرارداد که در این صورت خواهیم داشت  $(\rho, \beta, \delta) = (0, 0, 1)$ . بنابراین مدل معادل بدبینانه مدل خاکستری به‌صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \max z = & \underline{C}X \\ \text{s.t:} & \\ & \underline{A}x \geq \underline{b} \\ & X \geq 0 \end{aligned} \quad (33)$$

به همین ترتیب در رویکرد خوش‌بینانه پارامترهای سمت راست و تابع هدف بزرگ و ضرایب محدودیت‌ها را کوچک کرده تا با بزرگ کردن فضای جواب در خوش‌بینانه‌ترین حالت قرار گیرد و بهترین مقدار برای تابع هدف نیز فرض می‌شود. در این صورت خواهیم داشت  $(\rho, \beta, \delta) = (1, 1, 0)$ .

در این حالت مدل خاکستری به‌صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \max z = & \overline{C}X \\ \text{s.t:} & \\ & \overline{A}x \geq \overline{b} \\ & X \geq 0 \\ & x \geq x_p^* \end{aligned} \quad (34)$$



$$Lt_{i'b'} \geq Lt_{ib} + \frac{Pt_{i'b'}}{w} - Mx_{i'b'ib} \quad \forall i, b, i', b', i \neq i' \quad (57)$$

$$Dt_{ib} \geq Lt_{ib} + \underline{tt}_j - MBT_{ib} \quad \forall i, b, j \quad (58)$$

$$D_{ib} \geq Dt_{ib} - \underline{du}_{ib} \quad \forall i, b \quad (59)$$

$$RP_{ib} = \frac{D_{ib}}{w - \underline{du}_{ib}} \quad \forall i, b \quad (60)$$

$$BA_{ibj} \geq BA_{ibjp}^* \quad (61)$$

$$BT_{ib} \geq BT_{ibp}^* \quad (62)$$

$$x_{ibib'p} \geq x_{ibib'p}^* \quad (63)$$

$$BA_{ibj}, BT_{ib}, x_{ibib'p} \in \{0,1\} \quad (64)$$

$$SA_{aj}, LA_{aj}, MP_{ibj}, Lt_{ib}, Dt_{ib}, RP_{ib}, D_{ib} \geq 0 \quad (65)$$

مقادیر  $BA_{ibj}^*$ ،  $BT_{ibp}^*$  و  $x_{ibib'p}^*$  نشان‌دهنده مقدار بهینه متغیرها در حل مدل بدبینانه می‌باشد و سایر محدودیت‌ها در هر دو مدل بدبینانه و خوش‌بینانه، همان محدودیت‌های ۱۵ تا ۲۸ می‌باشند. تجاری‌سازی مجدد را دارند. مدیران این فروشگاه ۱۳ نوع محصول را جهت تجاری‌سازی مجدد در ۱۵ جعبه تعبیه کرده‌اند. همچنین ۱۲ فروشگاه حراجی برای ارسال محصولات به این فروشگاه‌ها شناسایی شده است. مدیران با یک مسئله تصمیم‌گیری مواجه هستند که این تصمیم‌گیری در مورد فروش محصولات یا اسقاط آن‌ها است. در شکل یک، مختصات جغرافیایی فروشگاه‌های اولیه، انبار متقاطع و فروشگاه‌های حراجی نشان داده شده است. همچنین در این شکل فروشگاه‌های اولیه با نماد ۱، فروشگاه‌های حراجی با نماد ۱ و انبار و متقاطع با نماد ۰ نشان داده شده است.

$$D_{ib} \geq Dt_{ib} - \overline{du}_{ib} \quad \forall i, b \quad (45)$$

$$RP_{ib} = \frac{D_{ib}}{w - \overline{du}_{ib}} \quad \forall i, b \quad (46)$$

$$BA_{ibj}, BT_{ib}, x_{ibib'p} \in \{0,1\} \quad (47)$$

$$SA_{aj}, LA_{aj}, MP_{ibj}, Lt_{ib}, Dt_{ib}, RP_{ib}, D_{ib} \geq 0 \quad (48)$$

مدل معادل خوش‌بینانه:

$$\begin{aligned} \max z = & \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J \overline{SP}_{aj} \times \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B BA_{ibj} \times NA_{aib} \\ & + \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B NA_{aib} \times \overline{DP}_{ai} \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (\overline{d}_i \times \overline{tt}_i + \overline{d}_j \\ & \quad \times \overline{tt}_j) \times BA_{ibj} \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \overline{CDC}_{ib} \times \sum_{j=1}^J BA_{ibj} \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B RP_{ib} \times \overline{RC}_{ib} \end{aligned} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B NA_{aib} \times BA_{ibj} - O_{aj} \\ & = SP_{aj} - LP_{aj} \quad \forall a, j \end{aligned} \quad (50)$$

$$MP_{ibj} = 1 - \frac{\sum_{a=1}^A SP_{aj}}{\sum_{a=1}^A NA_{aib}} \quad \forall i, j, b \quad (51)$$

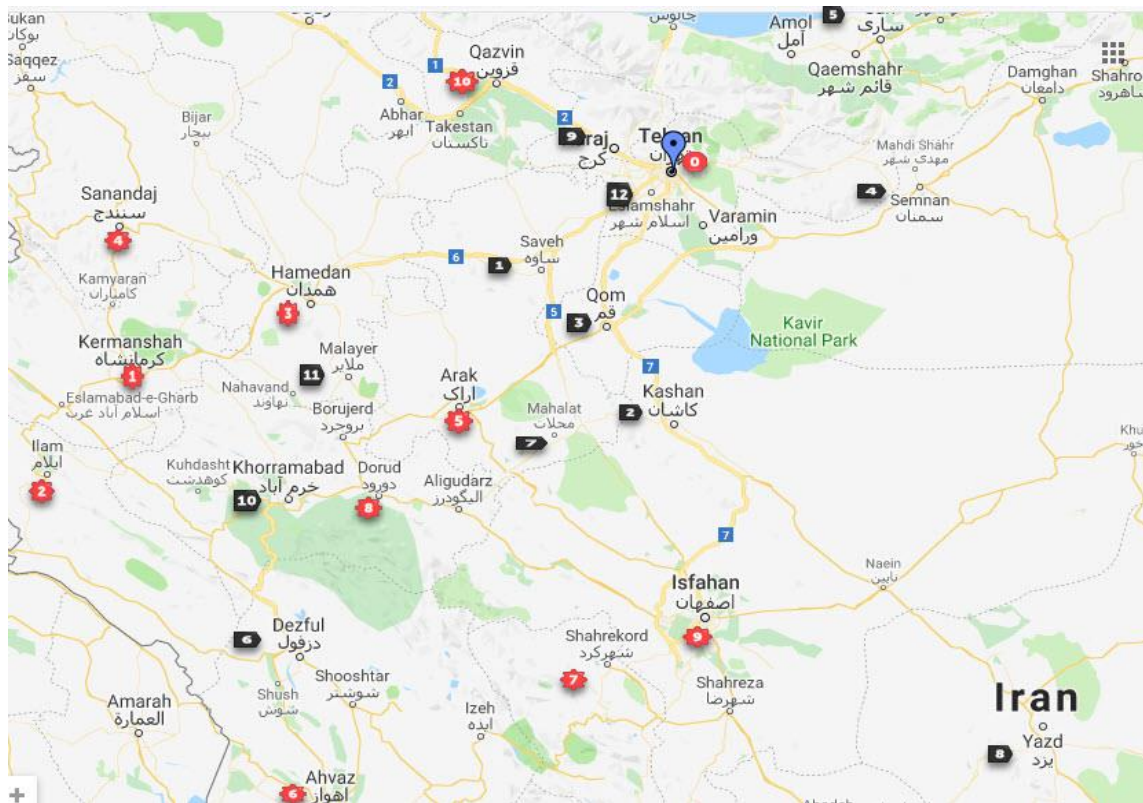
$$\sum_{j=1}^J BA_{ibj} + BT_{ib} = 1 \quad \forall i, b \quad (52)$$

$$BA_{ibj} \leq TP + MP_{ibj} \quad \forall i, b, j \quad (53)$$

$$At_{ib} \geq Rt_{ib} + \underline{tt}_i - MBT_{ib} \quad \forall i, b \quad (54)$$

$$Lt_{ib} \geq At_{ib} + \underline{Pt}_{ib} \quad \forall i, b \quad (55)$$

$$Lt_{ib} \geq Lt_{i'b'} + \underline{Pt}_{ib} - M(1 - x_{i'b'ib}) \quad \forall i, b, i', b', i \rightarrow b \neq b' \quad (56)$$



شکل (۱): مختصات جغرافیایی

جدول (۲): نتایج عددی

تعداد محصولات	تعداد جعبه‌ها	تعداد فروشگاه‌های
۱۳	۱۵	حراجی
تعداد جعبه‌های فروخته‌شده	تعداد جعبه‌های اسقاط شده	سود کل
۶۷	۸۳	۱۴۲۷۰۶۲۰۹۱
درآمد حاصل از فروش محصولات	درآمد حاصل از اسقاط محصولات	هزینه کل
۹۴۲۳۵۰۶۲۰	۷۳۷۴۸۵۶۲۰	۲۵۲۷۷۴۱۴۹

مدل ارائه‌شده تعداد جعبه‌های ارسال شده به هر فروشگاه حراجی را به‌طور مستقل نشان می‌دهد. برای نمونه فروشگاه ۳ در نظر گرفته شده است. از ۱۵ جعبه تعبیه شده در این فروشگاه ۴ جعبه اسقاط شده و ۱۱ جعبه دیگر به انبار متقاطع ارسال می‌شود. از این تعداد، ۲ جعبه به فروشگاه حراجی ۱۱، تعداد ۳ جعبه به فروشگاه حراجی ۱۰، تعداد ۴ جعبه به فروشگاه حراجی ۱ و ۲ جعبه دیگر به فروشگاه حراجی ۳ ارسال می‌شوند.

یکی از تمایزات مسئله ارائه‌شده در این مقاله نسبت به ادبیات موضوع، در نظر گرفتن امکان اسقاط محصولات فروخته نشده است. بنابراین جهت بررسی کارایی مفروض در نظر گرفته شده، مطالعه موردی بدون در نظر گرفتن امکان اسقاط محصولات حل شده و نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.

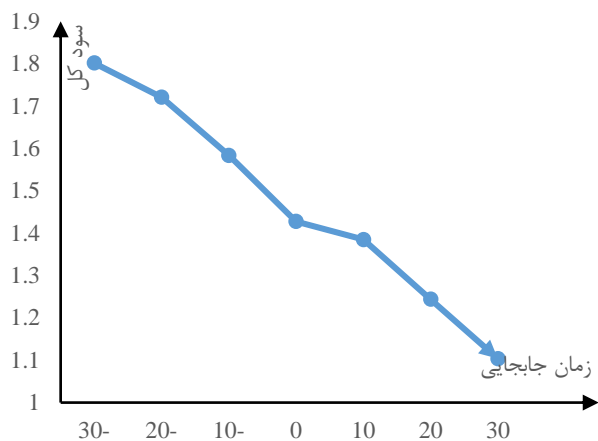
همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، بدون در نظر گرفتن امکان اسقاط کالاهای فروخته نشده در فروشگاه‌های اولیه، تمام ۱۵۰ جعبه

## ۵- مطالعه موردی

در این بخش، جهت تصمیم‌گیری در مورد محصولات فروخته نشده در یک فروشگاه زنجیره‌ای، از مدل پیشنهادی استفاده شده است. این فروشگاه زنجیره‌ای دارای ۵۷ شعبه در ۱۰ استان است. برای بررسی مسئله در هر استان یک شعبه در نظر گرفته شده است که محصولات آن‌ها قابلیت تجاری‌سازی مجدد را دارد. در این فروشگاه‌ها محصولات مختلفی از جمله مواد خوراکی، لوازم خانگی، لوازم چوبی، پوشاک و شوینده‌ها وجود دارد که بعضی از این محصولات قابلیت

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است ده فروشگاه از ۵۷ شعبه این فروشگاه زنجیره‌ای به‌عنوان فروشگاه اولیه انتخاب شده است که در هر یک ۱۵ جعبه و در مجموع ۱۵۰ جعبه در فروشگاه‌های اولیه جهت تعیین تکلیف وجود دارد. انبار متقاطع نیز در شهر تهران قرار دارد و دوازده فروشگاه حراجی نیز در شهرهای مختلف انتخاب شده‌اند. تعداد جعبه‌های ارسالی در هر فروشگاه متفاوت بوده و به میزان موجودی محصولات ممکن است کمتر یا بیشتر از سفارش فروشگاه‌های حراجی یا مطابق با سفارشات آن‌ها باشد. همچنین زمان تحویل محصولات در فروشگاه‌های حراجی توسط هر فروشگاه مشخص شده است و در اختیار تأمین‌کنندگان قرار دارد. در صورت تأخیر در تحویل امکان بازگشت محصولات بالاتر می‌رود. در جدول ۲ تعداد جعبه‌های فروخته‌شده، تعداد جعبه‌های اسقاط شده و سود کل نشان داده شده است. همچنین درآمد حاصل از فروش محصولات، اسقاط محصولات و هزینه کل نیز نشان داده شده است.

یکی از پارامترهای زمانی که می‌تواند عملکرد مدل را نشان دهد، زمان جابجایی جعبه‌ها می‌باشد. در شکل ۳ نتایج تحلیل حساسیت انجام شده، نشان داده شده است. در این نمودار محور افقی نشان‌دهنده زمان جابجایی محصولات از فروشگاه‌های اولیه تا انبار متقاطع و انبار متقاطع تا فروشگاه‌های حراجی و محور عمودی سود کل را نشان می‌دهد. در محور افقی منظور از زمان صفر زمان پایه‌ای است که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است و بقیه زمان‌ها نسبت به زمان پایه کم‌وزیاد شده است. همان‌طور که در نمودار ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان جابجایی محصولات از فروشگاه‌های اولیه تا انبار متقاطع و از انبار متقاطع تا فروشگاه‌های حراجی، به دلیل افزایش هزینه‌ی جابجایی، سود کل کمتر شده و همچنین تعداد جعبه‌های فروخته شده کمتر و تعداد جعبه‌های اسقاطی نیز بیشتر می‌شود و با کاهش زمان جابجایی به دلیل کاهش هزینه‌ی جابجایی، سود کل بیشتر، تعداد جعبه‌های فروخته شده بیشتر و در نتیجه سود حاصل نیز بیشتر می‌شود. مدیران با استفاده از اطلاعات حمل‌ونقل و نقشه‌ها، می‌توانند زمان جابجایی‌ها را طوری برنامه‌ریزی و زمان‌بندی کنند که با ترافیک کمتر مواجه شده و در نتیجه سود بیشتری را کسب کنند.



شکل (۳): تحلیل حساسیت زمان جابجایی

#### ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مسئله برنامه‌ریزی لجستیک معکوس با در نظر گرفتن انبار متقاطع، با هدف تصمیم‌گیری در مورد اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد محصولات بازگشتی از فروشگاه‌های اولیه بررسی شد. در نظر گرفتن زمان حمل محصولات بازگشتی و درصد تطبیق کالاهای ارسالی به فروشگاه‌های حراجی با هدف حداکثر کردن سود از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل پیشنهادی این مقاله بود. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای زمان و هزینه، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری برای حل مسئله تحت بررسی توسعه داده شد و برای حل مدل پیشنهادی از رویکرد خوش‌بینانه و بدبینانه با در نظر گرفتن ملاحظات مدیران در تصمیم‌گیری استفاده شد.

نتایج این پژوهش می‌تواند یکی از دغدغه‌های مدیران در تصمیم‌گیری در مورد اسقاط یا تجاری‌سازی مجدد محصولات را با در نظر گرفتن هزینه‌های انتقال محصولات فروخته نشده به فروشگاه‌های

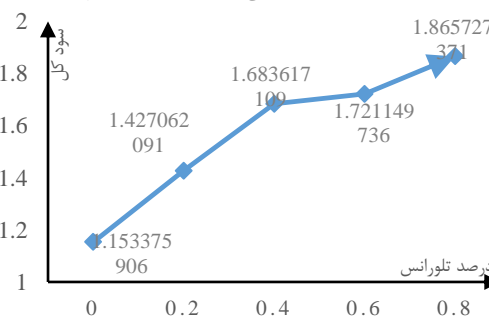
از طریق انبار متقاطع به فروشگاه‌های حراجی ارسال شده و به علت عدم تطابق با نیاز موجود، تنها تعداد ۹۶ جعبه فروخته شده و ۵۴ جعبه باقی‌مانده در این فروشگاه‌ها نیز مازاد بوده و می‌بایست در انبار نگهداری شوند. در این حالت اگرچه تعداد جعبه‌های فروخته شده نسبت به حالت قبل افزایش پیدا کرده است، اما به دلیل افزایش هزینه‌های ناشی از ارسال کالاهای مازاد بر نیاز فروشگاه‌های حراجی و هزینه‌های انبارداری و همچنین با حذف درآمد حاصل از اسقاط، سود کل به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

همچنین جهت اعتبارسنجی مدل و نتایج پیشنهادی، حساسیت مدل نسبت به تغییرات پارامترهای درصد تلورانس و زمان جابجایی در ادامه بررسی شده است.

جدول (۳): نتایج عددی بدون در نظر گرفتن اسقاط

تعداد محصولات	تعداد جعبه‌ها	تعداد فروشگاه‌های حراجی
۱۳	۱۵	۱۲
تعداد جعبه‌های فروخته شده	تعداد جعبه‌های اسقاط شده	سود کل
۹۶	۰	۷۰۳۴۵۳۹۵۳
درآمد حاصل از فروش محصولات	درآمد حاصل از اسقاط محصولات	هزینه کل
۱۱۲۸۷۳۱۳۶۷	۰	۴۲۵۲۷۷۴۱۴

در شکل ۲ حساسیت میزان سود کل (محور عمودی) حاصل نسبت به تغییرات درصد تلورانس (محور افقی) نشان داده شده است. با افزایش درصد تلورانس، تعداد جعبه‌های فروخته شده و متعاقباً سود کل نیز بیشتر می‌شود. وقتی که درصد تلورانس صفر است تنها جعبه‌هایی که مطابقت کامل دارند به فروشگاه‌های حراجی فرستاده می‌شوند و قابلیت دوباره تجاری شدن را دارند. مقدار دقیق درصد تلورانس را می‌توان در حین مذاکره با مشتری تعیین کرد. در صورتی که درصد تلورانس پایین باشد، تعداد زیادی از جعبه‌ها اسقاط می‌شوند، مدیران برای جبران فروش از دست رفته می‌توانند قیمت محصولات در فروشگاه‌های حراجی را بیشتر کنند. اگر مشتریان درصد تلورانس بالاتری را انتخاب کنند، مقدار زیادی از هزینه‌ها به‌خصوص هزینه بازگشت محصولات کم می‌شود؛ در نتیجه این کاهش هزینه می‌تواند به خود مشتریان کمک کند. بدین صورت که محصولاتی که در لیست سفارش آن‌ها نبوده ولی برای آن‌ها فرستاده شده را می‌توانند با قیمت کم‌تری خریداری کنند.



شکل (۲): تحلیل حساسیت درصد تلورانس

- [5] Jayaraman, V., Luo, Y. (2007). Creating competitive advantages through new value creation: a reverse logistics perspective. *Academy of management perspectives*, 21(2): 56-73.
- [6] Rogers, D. S., Tibben-Lembke, R. S. (1999). *Going backwards: reverse logistics trends and practices* (Vol. 2). Pittsburgh, PA: Reverse Logistics Executive Council.
- [7] Lambert, S., Riopel, D., Abdul-Kader, W. (2011). A reverse logistics decisions conceptual framework. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3): 561-58.
- [8] Guide Jr, V. D. R., Souza, G. C., Van Wassenhove, L. N., & Blackburn, J. D. (2006). Time value of commercial product returns. *Management Science*, 52(8): 1200-1214.
- [9] Boysen, N., Fliedner, M. (2010). Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. *Omega*, 38(6): 413-422.
- [10] Ladier, A. L., Alpan, G. (2016). Cross-docking operations: Current research versus industry practice. *Omega*, 62(1): 145-162.
- [11] Stalk, G., Evans, P., Shulman, L. E. (1992). Competing on capabilities: The new rules of corporate strategy. *Harvard business review*, 70(2): 57-69.
- [12] Forger, G. (1995). UPS starts world's premiere cross-docking operation. *Modern material handling*, 36(8): 36-38.
- [13] Witt, C. E. (1998). Crossdocking: Concepts demand choice. *Material Handling Engineering*, 53(7): 44-49.
- [14] 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.
- [15] Zuluaga, J. P. S., Thiel, M., Perales, R. C. (2017). Reverse cross-docking. *Omega*, 66(1): 48-57.
- [16] Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J., Van Wassenhove, L. N. (2003). Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *International journal of production research*, 41(16): 3689-3719.
- [17] Chandoul, A., Cung, V. D., Mangione, F. (2007). Reusable containers within reverse logistic context.
- [18] Agrawal, S., Singh, R. K., Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97: 76-92.
- [19] Maknoon, M.Y., Kone, O., Baptiste, P. (2014). A sequential priority-based heuristic for scheduling material handling in a satellite cross-dock. *Computers & Industrial Engineering*, 72(1): 43-49.
- [20] Fanti, M.P., Stecco, G., Ukovich, W. (2016). Scheduling Internal Operations in Post-Distribution Cross Docking Systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 296-312.
- [21] Rezaei, S., Kheirah, A. (2017). Applying forward and reverse cross-docking in a multi-product integrated supply chain network. *Production Engineering*, 11(4-5): 495-509.
- [22] Kaboudani, Y., Ghodsypour, S. H., Kia, H., & Shahmardan, A. (2018). Vehicle routing and scheduling in cross docks with forward and reverse
- حراجی، قیمت فروش کالاها در این فروشگاهها و ارزش اسقاط کالاها در فروشگاه‌های اولیه را مرتفع سازد. علاوه بر آن استفاده از انبار متقاطع در این سیستم، می‌تواند کارایی سیستم را لجستیک معکوس را ارتقا دهد.
- در مجموع پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی در مطالعه موردی تحقیق و مقایسه آن با رویکرد موجود نشان داد، در نظر گرفتن امکان اسقاط مستقیم کالاهای فروش نرفته می‌تواند منجر به افزایش ۵۰ درصدی سود کل حاصل از تعیین تکلیف کالاهای فروخته نشده شود.
- علاوه بر آن در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در پارامترهای زمان و هزینه باعث شد تصمیمات حاصل در شرایط مختلف استوار و قابل اتکا باشند.
- مدیران و تصمیم‌گیرندگان فرآیند لجستیک معکوس با استفاده از نتایج این پژوهش قادرند درصد تطابق کالا با نیاز فروشگاه‌های حراجی را در تصمیم‌گیری خود لحاظ کرده و حجم کالای تخصیص‌یافته به هر یک از فروشگاه‌های حراجی را با توجه به آن تعیین کنند. رویکرد پیشنهادی متضمن حداکثر سازی سود و ارتقای اثربخشی در مدیریت فرآیند لجستیک معکوس در فروشگاه‌های زنجیره‌ای خواهد شد.
- در نظر گرفتن چگونگی تخصیص و توالی وسایل حمل‌ونقل حامل محصولات بازگشتی به درهای ورودی و تخلیه بار در سکوی دریافت و همچنین زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل در بارگیری و خروج از انبارهای متقاطع در لجستیک معکوس یکی از موضوعاتی است که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین می‌توان احتمال بازگشت محصولات را براساس معیارهای دیگری مانند میزان تقاضا، میزان تخفیفات بیان کرد. علاوه بر این تصمیم‌گیری در مورد کالاهای معیوب تعمیر پذیر و تجاری‌سازی مجدد آن‌ها در فرآیند لجستیک معکوس از دیگر موضوعاتی است که جهت تحقیقات آتی توصیه می‌شود. همچنین ایجاد امکان انبارش موقت در داخل انبار متقاطع برای نگهداری موقت محصولات به‌منظور افزایش میزان مطابقت، نیز از دیگر مواردی است که می‌تواند در تحقیقات بعدی مورد توجه قرار گیرد.

## مراجع

- [1] De Brito, M. P., Dekker, R. (2004). A framework for reverse logistics. In *Reverse logistics* (pp. 3-27). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [2] Kheirah, A., Rezaei, S. (2016). Using cross-docking operations in a reverse logistics network design: a new approach. *Production Engineering*, 10(2): 175-184.
- [3] Bernon, M., Rossi, S., Cullen, J. (2011). Retail reverse logistics: a call and grounding framework for research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(5): 484-510.
- [4] Pishvaei, M. S., Jolai, F., Razmi, J. (2009). A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems*, 28(4): 107-114.

- demand uncertainty. *Journal of Cleaner Production*.
- [35] Li, G. D., Yamaguchi, D., Nagai, M. (2007). A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem. *Mathematical and computer modelling*, 46(3-4): 573-581.
- [36] Lin, Y. H., Lee, P. C., Ting, H. I. (2008). Dynamic multi-attribute decision making model with grey number evaluations. *Expert Systems with Applications*, 35(4): 1638-1644.
- [37] Deng, J. L. (1982). Control problems of grey systems. *Sys. & Contr. Lett.*, 1(5): 288-294.
- [38] Pan, L.K., Wang, C.C., Wei, S.L., Sher, H.F., 2007. Optimizing multiple quality characteristics via Taguchi method-based grey analysis. *J. Mater. Process. Technol.* 182 (1): 107e116.
- [39] Tseng, M. L. (2009). A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach. *Expert systems with applications*, 36(4): 7738-7748.
- [40] Rajesh, R., Ravi, V. (2015). Supplier selection in resilient supply chains: a grey relational analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 86: 343-359.
- [41] Deng, J.L. (1989). Introduction to gray system theory, *Journal of Grey System.*, 1(1): 1-24.
- [42] Dang, S. L. Y., Forrest, J. (2009, October). On positioned solution of linear programming with grey parameters. In 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (pp. 751-756). IEEE.
- [43] Chen, T.Y. (2011). Optimistic and pessimistic decision making with dissonance reduction using interval-valued fuzzy sets. *Information Sciences*, 181(3): 479-5.
- [۲۸] فاروقی، هیوا، اشرفی فشی، محمد. (۱۳۹۶). "طراحی شبکه زنجیره‌ی تأمین چند سطحی با در نظر گرفتن راهبردهای پایای چندگانه در سطح مراکز توزیع"، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۵(۱۰)، ۶۷-۵۳.
- [۲۹] اردوان، علی، عالم تبریز، اکبر، ربیعه، مسعود، زندیه، مصطفی. (۱۳۹۷). "انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار با رویکرد تئوری خاکستری: مورد مطالعه صنعت فولاد". نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید. ۶(۱۳)، ۱۶۵-۱۷۷.
- logistics. *Operational Research*, 1-34.
- [23] Vahdani, B. (2019). Assignment and scheduling trucks in cross-docking system with energy consumption consideration and trucks queuing. *Journal of Cleaner Production*, 213(1): 21-41.
- [24] Mahmoudi, A., Liu, S., Javed, S. A., Abbasi, M. (2019). A novel method for solving linear programming with grey parameters. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (Preprint), 1-12.
- [25] Mousavi, S. M., Antuchevičienė, J., Zavadskas, E. K., Vahdani, B., Hashemi, H. (2019). A new decision model for cross-docking center location in logistics networks under interval-valued intuitionistic fuzzy uncertainty. *Transport*, 34(1): 30-40.
- [26] 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.
- [27] Heidari, F., Zegordi, S. H., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Modeling truck scheduling problem at a cross-dock facility through a bi-objective bi-level optimization approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(5): 1155-1170.
- [30] Jung, J. Y., Blau, G., Pekny, J. F., Reklaitis, G. V., Eversdyk, D. (2004). A simulation based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty. *Computers & chemical engineering*, 28(10): 2087-2106.
- [31] Mele, F. D., Guillén, G., Espuna, A., & Puigjaner, L. (2007). An agent-based approach for supply chain retrofitting under uncertainty. *Computers & chemical engineering*, 31(5-6): 722-735.
- [32] Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E., Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers & Operations Research*, 89: 337-347.
- [33] Daugherty, P. J., Myers, M. B., Richey, R. G. (2002). Information support for reverse logistics: the influence of relationship commitment. *Journal of business logistics*, 23(1): 85-106.
- [34] Kim, J., Do Chung, B., Kang, Y., Jeong, B. (2018). Robust optimization model for closed-loop supply chain planning under reverse logistics flow and





DOI: 10.22084/ier.2019.19811.1881

## A grey Mathematical Programming Model to Salvage or Re-Commercialize Commodities in Reverse Logistics Management With Consideration of Cross Dock

F. Azimi<sup>1</sup>, S. M. Mousavi<sup>2\*</sup>, M. Rajabzadeh<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

### ARTICLE INFO

#### *Article history:*

Received 7 August 2019

Accepted 12 October 2019

#### *Keywords:*

Reverse logistics management  
Cross-docking system  
Mathematical programming model  
Grey theory

### ABSTRACT

Competition among organizations to gain more market share and higher profit encourages managers to use new and cost-effective strategies. Returned and surplus goods are always a significant part of stores and company's inventory that deciding whether or not to re-commercialize these goods can have tangible effects on their profits and losses. In this paper, a mixed integer linear programming model for maximizing profit with the cross-docking system in unsold products redistribution process is proposed. This model also takes into account the new considerations of deciding whether or not to re-commercialize products in the reverse logistics operation scheduling. Given the uncertainties in factors such as sales revenue, costs and time, the parameters of the problem are considered in terms of gray numbers and an approach to solve the gray mathematical programming model is used to deal with uncertainties. Moreover, the reverse logistics process in one of the chain stores in Tehran is considered as a case study. Implementing the proposed approach and validating the results by a sensitivity analysis on important parameters indicated that the proposed method has a high performance in decision-making process of the studied company.

\* Corresponding author. S. M. Mousavi  
Tel.: 02151212091; E-mail address: [sm.mousavi@shahed.ac.ir](mailto:sm.mousavi@shahed.ac.ir)