

مکان‌یابی تسهیلات بازتولید و انبار در سیستم‌های یک‌پارچه لجستیک مستقیم و معکوس بر حالت تقاضای تصادفی با در نظر گرفتن کالاهای مرجوعی با محدودیت ظرفیت

مهیار کیان‌پور (دانشجوی کارشناسی ارشد)

زهرا جلیلی‌بال (دانشجوی کارشناسی ارشد)

فریبرز جولای* (استاد)

دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۶ (۹۷-۹۱)
دوری ۱، شماره ۱/۲، ص. ۹۱-۹۷

در این مطالعه، با بررسی مدل‌های مختلف مکان‌یابی در سیستم‌های لجستیک مستقیم و معکوس و مرور مقالات اخیر در این زمینه، مدل یک‌پارچه‌ی برای مکان‌یابی تسهیلات در سیستم لجستیک ارائه شده است که در آن جریان کالا به‌طور همزمان به‌صورت مستقیم و معکوس در نظر گرفته شده است. در این مدل، تسهیلاتی نظیر مراکز تولیدکننده، مراکز واسطه، مراکز بازتولید و انبار، با در نظر گرفتن ظرفیت محدود تسهیلات، مکان‌یابی شده است. برای مدل‌سازی در این مطالعه، یک مدل برنامه‌ریزی مختلط صفر و ۱ عدد صحیح ارائه شده است که در آن به‌طور همزمان جریان مستقیم و معکوس کالا لحاظ شده است. همچنین در این مدل تقاضا به‌صورت تصادفی در نظر گرفته شده و شامل دو دسته تقاضای کالای جدید و تقاضای کالای دسته دو است.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی تسهیلات، لجستیک معکوس و مستقیم، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، تقاضای تصادفی.

m.kianpour@ut.ac.ir
zjalili222@ut.ac.ir
fjolai@ut.ac.ir

۱. مقدمه

می‌گویند.^[۴] سیستم لجستیک معکوس کلیه فعالیت‌های مرتبط با بازگشت محصول را تا زمانی که به‌طور کامل بازیافت می‌شوند در بر دارد. این فعالیت‌ها عبارت‌اند از: جمع‌آوری، تمیزکاری، تفکیک‌سازی، آزمایش و تست محصول و مرتب‌سازی، ذخیره‌سازی و انتقال به سوی عملیات بازیابی.^[۵] یکی از مهمترین مسائل مکان‌یابی، مکان‌یابی انبار است که به دو صورت دارای محدودیت ظرفیت و بدون محدودیت ظرفیت در مقالات مورد مطالعه قرار می‌گیرد و هدف در این مسائل یافتن مناسب‌ترین و بهترین مکان استقرار انبار برای دریافت محصول و ارائه‌ی سرویس به مشتریان است. استقرار انبارها معمولاً به‌منظور کاهش سطح هزینه‌های استقرار تسهیلات و همچنین کاهش سطح هزینه‌های حمل و نقل مورد مطالعه قرار می‌گیرد.^[۶] تئو و شو^[۷] در مطالعه‌ی خود پیرامون موضوع طراحی شبکه‌ی لجستیک بر مکان‌یابی انبار تمرکز کرده‌اند. نوع شبکه‌ی بی‌که در مطالعه خود به آن اشاره کرده‌اند از نوع شبکه‌ی لجستیک مستقیم بوده است. تعیین تعداد و مکان بهینه‌ی انبار و چگونگی سرویس‌دهی انبارها موضوعاتی است که در شبکه‌ی لجستیک، به‌خصوص لجستیک معکوس مورد توجه قرار می‌گیرد. در این مطالعه مدلی برای مکان‌یابی سه‌سطحی در شبکه‌ی بازتولید (RMN)^۱ در سیستم لجستیک مستقیم و معکوس ارائه شده که در آن به‌طور همزمان تعاملات مراکز بازتولید و تولید و انبارهای مرکزی مورد توجه قرار

با توجه به تغییر قوانین و مقررات و بنا به دلایلی چون مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی و سطح سرویس‌دهی بسیاری از مراکز صنعتی و سازمان‌ها جریانات معکوس لجستیکی را در سیستم لجستیکی خود وارد کرده‌اند که رفته‌رفته به تعداد این مراکز افزوده می‌شود. منظور از جریانات معکوس لجستیکی، جریان یا حرکت محصولاتی است که مورد استفاده مشتریان قرار گرفته، مانند پسماندها و یا بازمانده‌هایی از محصولات که برای مشتری بی‌ارزش محسوب می‌شود و به سمت مراکز بازیابی فرستاده می‌شود.^[۸] جریان مستقیم لجستیک بیان‌کننده‌ی حالت متداول و رایج توزیع کالا است و جریان معکوس لجستیک بیان‌کننده جمع‌آوری محصولات مصرف‌شده یا پس فرستادن محصولات به مراکز بازیابی توسط مشتری است. لجستیک معکوس از سوی انجمن اجرایی لجستیک معکوس آمریکا چنین تعریف شده است:

«فرایند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی، کنترل کارآمدی هزینه، جریان مواد خام، موجودی در فرایند، محصولات نهایی و اطلاعات مربوط به آن‌ها را که از نقطه‌نظر مصرف به‌منظور بازیابی ارزش یا مصرف بهینه مورد بررسی قرار می‌گیرد» لجستیک معکوس

* نویسنده مستقر

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۳/۲۴، اصلاحیه ۱۳۹۴/۸/۱۳، پذیرش ۱۳۹۴/۱۱/۱۷.

گرفته شده است. شبکه‌ی بازتولید یکی از مهم‌ترین شبکه‌های لجستیک معکوس شناسایی شده و یک روش بازیابی است که محصولات استفاده شده یا معیوب را با همان کیفیت اول به محصولی جدید تبدیل می‌کند؛ می‌توان این محصول را به عنوان محصولی جدید و نو در بازار در معرض فروش قرار داد. معمولاً عمل به بازتولید توسط شرکت سازنده محصول انجام می‌شود چراکه دانش تخصصی ساخت این محصول در دست این شرکت است. چنین شبکه‌یی را شبکه‌ی حلقه‌بسته^۲ می‌نامند. ساختار مقاله‌ی پیش رو چنین است: بخش دوم به مرور مطالعاتی مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات با محدودیت ظرفیت اختصاص یافته است. در بخش سوم مدل مکان‌یابی تسهیلات در یک شبکه با لحاظ مراکز بازتولید و انبار پرداخته است و در بخش چهارم مدل‌سازی ریاضی مسئله ارائه شده است. بخش پنجم به روش حل و نرم‌افزار مورد استفاده برای حل مسئله اختصاص یافته، و در بخش ششم آزمایش‌های محاسباتی انجام شده و یک مثال عددی مورد بررسی قرار گرفته است. نهایتاً در بخش هشتم نتیجه‌گیری روی خروجی‌های به دست آمده انجام شده است.

۲. مرور ادبیات

فونتانا و همکاران^[۸] در سال ۲۰۱۴ با استفاده از رویکرد پرامیتی برای انبارهای ذخیره‌سازی مکان‌یابی کرده‌اند. روش پرامیتی یکی از روش‌های دقیق در زمینه‌ی رتبه‌بندی است که عملیات انتخاب را برای مدیران سهولت می‌بخشد. در واقع با استفاده از معیارهای مطرح شده در این مطالعه اولویت‌های ساخت انبار در مکان‌های مختلف مد نظر قرار می‌گیرد و با دقت نسبتاً خوبی محاسبه می‌شود. آسکین و همکاران^[۹] در سال ۲۰۱۳ با در نظر گرفتن موجودی مشخص به مکان‌یابی انبارهای چندکالایی پرداخته، و یک شبکه‌ی لجستیک برای تولیدکننده طراحی کرده‌اند، به طوری که پس از تولید چندین محصول باید به خرده‌فروشان عرضه و توزیع شود. در این مطالعه با استفاده از یک رویکرد ریاضی، مکان‌یابی تسهیلات انجام می‌شود؛ مکان‌یابی انبارها و تعیین ظرفیت هر یک برای تأسیس انبار جدید از جمله این مکان‌یابی‌هاست. برای حل این مسئله از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده شده است. در سال ۲۰۱۲ افشارزاده و همکاران^[۱۰] با در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی، و به طور همزمان با رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی تحت شرایط عدم قطعیت، به مکان‌یابی انبار پرداخته‌اند. در رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی ابتدا معیارها و زیرمعیارها وزن‌دهی شده و سپس طی محاسباتی محل مناسب برای انبار انتخاب شده است. در این مقاله مطالعه‌ی موردی روی یک کمپانی بزرگ در ایران صورت گرفته است. در همان سال، افشارزاده و همکاران^[۱۱] به مکان‌یابی برای انبارها با رویکرد تاپسیس فازی تحت شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند. به طور همزمان معیارهای کمی و کیفی برای مکان‌یابی انبارها در این تحقیق مد نظر قرار گرفته شده است. معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق برای اکثر کمپانی‌ها حائز اهمیت است و به همین دلیل این مدل قابل پیاده‌سازی برای اکثر کمپانی‌هاست. در این مقاله مطالعه‌ی موردی روی یک کمپانی بزرگ ایرانی صورت گرفته و داده‌ها از طریق خبره به دست آمده است. استفان رات و همکاران^[۱۲] در سال ۲۰۱۱ به مکان‌یابی - مسیر یابی انبار در شرایط بحران پرداخته‌اند. پس از رخداد بلایای طبیعی باید سیستم عرضه‌کننده‌ی در یک مکان مشخص مستقر شود تا مواد لازم را به افراد حادثه دیده ارسال کند. در این مطالعه با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه و روش تقویت‌شده‌ی حدی، انباری برای این سیستم عرضه‌کننده مکان‌یابی شده است. در نهایت برای به دست آوردن جواب بهینه و حل مدل از الگوریتم‌های ابتکاری استفاده شده است. در سال ۲۰۱۴ دای و وانگ^[۱۳] برای مکان‌یابی مراکزی برای انبار کالاهای

مرجوعی و دست دوم در لجستیک معکوس مدلی ارائه داده‌اند که در آن تقاضا تصادفی در نظر گرفته شده است. در نهایت مدل ارائه شده با استفاده از شبیه‌سازی تصادفی و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک حل شده است. شریف و همکاران^[۱۴] در سال ۲۰۱۴ مدل مکان‌یابی - مسیر یابی یک شبکه‌ی لجستیک معکوس چندمحصوله را ارائه داده‌اند. رضوانی و همکاران^[۱۵] در سال ۲۰۱۳ یک شبکه‌ی یک پارچه‌ی لجستیک مستقیم و معکوس با استفاده از مسئله‌ی چندهدفه‌ی تصادفی طراحی کرده‌اند. حسن‌زاده امین و ژانگ^[۱۶] در سال ۲۰۱۳، مدل چندهدفه‌ی برای مکان‌یابی یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته‌ی مستقیم و معکوس، با تقاضا و نرخ برگشت تصادفی، ارائه کرده‌اند. لین^[۱۷] در سال ۲۰۰۹، با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط، مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات با محدودیت ظرفیت و تقاضای احتمالی آن را مدل کرده و آن را با یک روش آژادسازی ابتکاری حل کرده است. سان^[۱۸] در سال ۲۰۱۲، مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات را با استفاده از یک روش فراابتکاری با وجود محدودیت ظرفیت توسعه داده است. همچنین او برای اثبات عملکرد روش خود، این روش را با سایر روش‌ها مقایسه کرده است. فرناندز و همکاران^[۱۹] در سال ۲۰۱۴ مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات با محدودیت ظرفیت را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک حل کردند و از مقایسه‌ی روش پیشنهادی خود با روش سیمپلکس، به این نتیجه رسیدند که روش آن‌ها ۱/۳ درصد با روش بهینه اختلاف دارد. ملک و دسکین^[۲۰] در سال ۲۰۰۱ مسئله‌ی مکان‌یابی و طراحی شبکه با محدودیت روی تقاضا را در نظر گرفته و حل کرده‌اند. هو^[۲۱] در سال ۲۰۱۴ مسئله‌ی مکان‌یابی با وجود محدودیت ظرفیت و با یک منبع را با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه حل کرده است. در این مطالعه یک مدل مکان‌یابی سه‌سطحی در شبکه‌ی بازتولید در سیستم لجستیک مستقیم و معکوس ارائه شده که در آن به طور همزمان تعاملات مراکز بازتولید و تولید و نیز انبارهای مرکزی مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه تقاضای مشتریان به صورت تقاضای تصادفی و سناریویی در نظر گرفته شده است. با توجه به مطالعات انجام شده در حوزه‌ی زنجیره‌ی تأمین، در مطالعات اندکی انبار با ظرفیت محدود در زنجیره‌ی تأمین مستقیم یا معکوس لحاظ شده است؛ این در حالی است که در این مطالعه به مکان‌یابی انبار در کنار سایر تسهیلات مراکز تولید، مراکز بازتولید، مراکز واسطه با محدودیت ظرفیت پرداخته شده است. در بسیاری از مقالات مطالعه شده در شبکه‌ی یک پارچه‌ی زنجیره‌ی تأمین مستقیم و معکوس جریان کالا در برگشت به صورت جریان کالای مستقیم یعنی از تولیدکننده یا مراکز بازتولید به مشتری یا مصرف‌کننده است؛ این در حالی است که در این مطالعات فقط کالاهای نو در نظر گرفته شده است. در این مقاله برای اولین بار، تقاضای کالاهای دست دوم، که در جریان کالای معکوس برای تأمین تقاضای مشتریان یا مصرف‌کنندگان در انبار ذخیره می‌شود، مطالعه شده است. همچنین در این مطالعه ضریب خطایی برای مراکز واسطه در رابطه با معدوم‌سازی کالا در نظر گرفته‌ایم به گونه‌ی که علاوه بر استقرار مراکز معدوم‌سازی در کنار مراکز واسطه و در میانه‌ی زنجیره‌ی تأمین، این مراکز در کنار مراکز بازتولید نیز استقرار یافته‌اند. بسیاری از شرکت‌های تولیدکننده‌ی قطعات الکترونیکی در سراسر جهان از این زنجیره‌ی تأمین استفاده می‌کنند.

۳. مدل مکان‌یابی تسهیلات در یک شبکه با لحاظ مراکز

بازتولید و انبار

ناتالی بوستل و ژیکیانگ لو^[۲۲] در سال ۲۰۰۷ در مطالعه‌ی خود شبکه‌ی بازتولید که یکی از روش‌های بازیابی است را در نظر گرفته‌اند. آن‌ها به ارائه‌ی یک مدل

مدل ارائه شده نمایش داده شده است. برای جلوگیری از پیچیدگی این شکل، تمامی روابط میان عناصر ارائه نشده است و فقط روابط نمادین ارائه شده تا صرفاً بیان مسئله را ساده تر کند.

در این مطالعه یک مدل یک پارچه‌ی سه سطحی از مکان‌یابی تسهیلات ارائه می‌شود که در آن جریان کالای مستقیم و معکوس به طور همزمان در نظر گرفته شده است. در جریان کالا به طور مستقیم، تقاضای مشتریان یا مصرف‌کنندگان از طریق مراکز تولیدکننده و یا مراکز بازتولید تأمین و برای انبارها ارسال می‌شود؛ مشتریان نیز به طور مستقیم کالاها را از انبارها دریافت می‌کنند. باید توجه داشته باشید که مراکز بازتولید تنها به بازتولید کالاها نمی‌پردازند، بلکه مراکز تولیدی هستند که قابلیت بازتولید کالاهای مرجوعی را دارند. در جریان کالا به طور معکوس، کالاهای مرجوعی ابتدا برای مراکز واسطه ارسال می‌شود و سپس از این مراکز به مراکز بازتولید فرستاده خواهد شد. تقاضای مشتریان یا مصرف‌کنندگان تحت سناریوهای مختلف تصادفی، احتمالی، یا نامشخص است؛ همچنین ظرفیت هر یک از مراکز نیز محدود است. در ادامه به معرفی مدل و پارامترها و متغیرها می‌پردازیم.

۴. مدل سازی ریاضی

چنان که اشاره شد، مدل ارائه شده به طور همزمان به مکان‌یابی چهار نوع تسهیلات (مراکز تولیدکننده، مراکز واسطه، مراکز بازتولید و انبار) با لحاظ ظرفیت محدود در شبکه‌ی بازتولید و انبار می‌پردازد. برای مدل‌سازی این مسئله یک مدل برنامه‌ریزی مختلط صفر و ۱ و عدد صحیح ارائه شده که در آن به طور همزمان جریان کالای مستقیم و معکوس و برهم‌کنش متقابل آنها در نظر گرفته شده است. مدل ریاضی ارائه شده جنبه‌های واقعی شبکه را نمایش می‌دهد که در آن مراکز با ظرفیت محدود فعالیت دارند و تقاضای کالا به صورت تصادفی و به دو صورت کالای جدید و کالای دسته دو توسط مشتری یا مصرف‌کننده ارائه می‌شود. در زیر اندیس‌ها، نمادها، پارامترها و متغیرهای مدل پیشنهادی ارائه شده است.

۴.۱. اندیس‌ها و نمادها

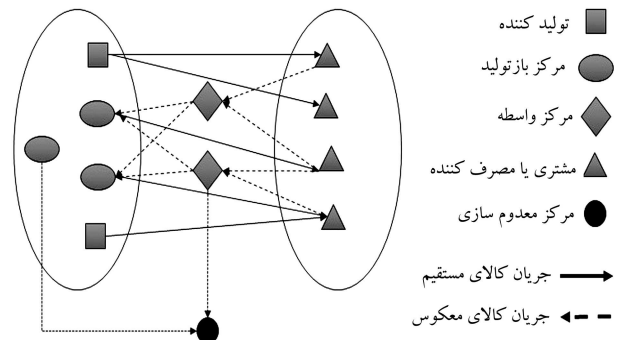
- i : مشتریان یا مصرف‌کننده‌ها؛
- j : مکان‌های بالقوه برای استقرار مراکز تولید و بازتولید؛
- k : مکان‌های بالقوه برای استقرار مراکز واسطه؛
- w : مکان‌های بالقوه برای استقرار مراکز انبار؛
- s : سناریوی تقاضا برای مشتریان.

۴.۲. پارامترها

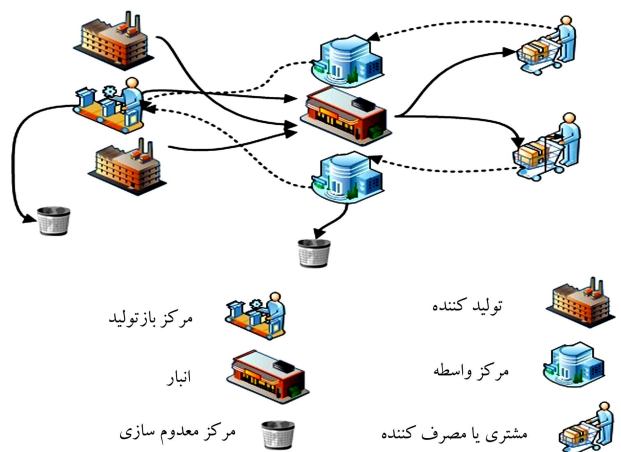
- f_j : هزینه ثابت استقرار تولیدکننده در مکان j ؛
- fr_j : هزینه ثابت استقرار مرکز بازتولید در مکان j ؛
- fc_k : هزینه ثابت استقرار مرکز واسطه در مکان k ؛
- fa_w : هزینه ثابت استقرار انبار در مکان w ؛
- hi : تقاضای مشتری یا مصرف‌کننده i ؛
- hr_i : میزان محصولات مرجوعی آماده بازتولید مشتری i ؛
- cap_w : ظرفیت انبار در مکان w ؛

دوسطحی یک پارچه در سیستم لجستیک معکوس پرداخته‌اند، که در آن تنها سه مرکز واسطه، بازتولید و مرکز ساخت اصلی مکان‌یابی شده است. مطابق شکل ۱، آن‌ها در مدل پیشنهادی خود چهار عنصر مشتری یا مصرف‌کننده، مراکز واسطه، مراکز بازتولید و مراکز ساخت اصلی را در نظر گرفته‌اند. در مدل ارائه شده تقاضای مشتریان ثابت در نظر گرفته شده و نیز هیچ‌گونه محدودیت ظرفیت برای آن قائل نشده‌اند.

ما در این مطالعه مدل مطرح شده توسط ناتالی بوستل و ژیکیانگ لوان^[۲۲] را توسعه داده، و آن را با مدل‌های مکان‌یابی انبار ترکیب کرده‌ایم. آن‌ها مدل خود را تنها با در نظر گرفتن یک شبکه‌ی یک پارچه از سیستم‌های لجستیک مستقیم و معکوس ارائه داده‌اند با این تفاوت که در این مطالعه ما با تعریف ظرفیت برای مراکز واسطه و مراکز تأمین‌کننده، ترکیب این شبکه با شبکه‌ی مراکز انبار، و نیز تعریف ظرفیت برای هر کدام از آن مراکز، به مدل‌سازی این مسئله پرداخته‌ایم. در این شبکه ما پنج قسمت مهم را در نظر گرفته‌ایم: مشتریان یا مصرف‌کنندگان، مراکز واسطه، مراکز بازتولید، مراکز تولیدکننده و مراکز انبار. در قسمت مشتریان یا مصرف‌کنندگان متغیر تقاضا به دو صورت تقاضای کالاهای جدید و نو و تقاضای کالای تعمیرشده ارائه می‌شود. مراکز واسطه تنها برای کانال‌های معکوس کالا مورد استفاده قرار می‌گیرند و بازرسی، تعمیرکاری، دمونتاژ کردن، توزیع کالاها میان مراکز بازتولید، دریافت کالاهای مرجوعی از سوی مشتریان، معدوم کردن برخی کالاهای غیر قابل بازتولید اهم فعالیت‌های آن‌ها را تشکیل می‌دهد. در شکل ۲ شمای کلی مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات و



شکل ۱. شمای کلی مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات در یک شبکه با در نظر گرفتن مراکز بازتولید.



شکل ۲. شمای کلی مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات در یک شبکه با در نظر گرفتن مراکز بازتولید و انبار.

$$s.t \quad \sum_j X_{wj} = 1 \quad \forall w \quad (1)$$

$$\sum_w X_{iw} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j \sum_k X R_{ikj} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_w cap_w X_{wj} \geq (1-\beta)(1-\gamma) \sum_i \sum_s \sum_k p'_{si} hr_i X R_{ikj} \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_w cap_w X_{wj} - (1-\beta)(1-\gamma) \sum_i \sum_s \sum_k p'_{si} hr_i X R_{ikj} \leq Y_j M \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{s=1}^n (1-\beta) p'_{si} hr_i X R_{ikj} \leq Y R_j M' \quad \forall i, j, k \quad (6)$$

$$X_{iw} \leq Y A_w \quad \forall i, w \quad (7)$$

$$X R_{ikj} \leq Y C_k \quad \forall i, j, k \quad (8)$$

$$Y_j, Y R_j, Y C_k, Y A_w = 0, 1 \quad \forall j, k, w \quad (9)$$

$$X_{ij}, X_{iw}, X R_{ikj}, X_{wj} \geq 0 \quad (10)$$

مدل ارائه شده یک مدل خطی و تک‌هدفه است که با استفاده از نرم‌افزار GAMS ۲۴.۱.۲ کدنویسی شده است. در این مدل با تعریف برخی متغیرها مانند c_{jw} , c_{wi} و c'_{rkj} برای ساده کردن و اختصار تابع هدف کوشیده‌ایم؛ این متغیرها چنین تعریف می‌شوند:

$$c_{jw} = cc_{jw} + ccp_j$$

$$c_{wi} = cw_{iw} + cp_w$$

$$c'_{rkj} = cc_{ik} + ct_k(1-\beta) + \beta ccd + cr_{kj}(1-\beta) + cm_j(1-\beta)(1-\gamma) + crd\gamma(1-\beta) - (1-\beta)(1-\gamma)cp_j$$

همچنین اعداد M و M' اعداد بزرگ تعریف شده‌اند. تابع هدف مدل کمینه‌کردن کل هزینه‌های سیستم -- شامل هزینه‌های ثابت ایجاد تسهیلات و هزینه‌های متغیر تسهیلات -- است؛ کل ظرفیت‌های انبار از میزان کالاهایی که از واحدهای بازتولید به دست می‌آید بیشتر فرض شده است:

$$\sum_w cap_w X_{wj} \geq (1-\beta)(1-\gamma) \sum_i \sum_s \sum_k p'_{si} hr_i X R_{ikj}$$

این فرض بیان می‌کند که کل تقاضاهای مشتریان را نمی‌توان از طریق مراکز بازتولید تأمین کرد. همچنین هزینه تولید واحد محصول بیشتر از هزینه بازتولید در نظر گرفته شده است. محدودیت ۴ به بیان این مطلب می‌پردازد که به‌ازای هر تولید Z میزان محصولاتی که تقاضای انبارها را پوشش می‌دهد بیشتر از محصولاتی است که توسط مراکز بازتولید و مراکز احیا می‌شوند. محدودیت ۵ به این نکته می‌پردازد که اگر تولیدکننده‌ی وجود نداشته باشد هیچ محصولی در جریان کالای مستقیم تولید نمی‌شود. محدودیت‌های ۱ تا ۳ بیان می‌دارند که میزان ظرفیت انبارها و تقاضای کالاها و کالاهای مرجوعی مشتری یا مصرف‌کننده‌ها باید توسط تولیدکننده‌ها و مراکز تعمیر و بازتولید به‌طور کامل تأمین شود. محدودیت ۷ نیز بیان‌گر این مطلب است که اگر انبار w وجود نداشته باشد پس نسبت تقاضای مشتری z که از انبار w باید

c_{jw} : هزینه ارسال محصول از تولیدکننده یا مرکز بازتولید Z ام به انبار w ام؛

cc_{jw} : هزینه حمل و نقل از تولیدکننده یا مرکز بازتولید Z ام به انبار w ام؛

ccp_j : هزینه تولید واحد کالا توسط تولیدکننده یا مرکز بازتولید Z ام؛

c_{wi} : هزینه ارسال محصول از انبار w ام به مشتری i ام؛

cc_{wi} : هزینه حمل و نقل واحد محصول از انبار w ام به مشتری i ام؛

cp_w : هزینه نگهداری محصول توسط انبار w ام؛

p_{si} : احتمال تقاضای مشتری i ام تحت سناریوی s ؛

p'_{si} : احتمال مقدار کالاهای مرجوعی مشتری i ام تحت سناریوی s ؛

c'_{rkj} : هزینه ارسال محصول مرجوعی مشتری i ام توسط مرکز واسطه k ام به مرکز بازتولید Z ام تحت سناریوی s ؛

cc_{ik} : هزینه ارسال محصول مرجوعی از مشتری i ام به مرکز واسطه k ام؛

ct_k : هزینه واحد پردازش در مرکز k ام؛

β : نرخ منسوخ شدن در مرکز واسطه k ام؛

ccd : هزینه منسوخ شدن در مرکز واسطه k ام؛

cr_{kj} : هزینه ارسال محصول بازرسی شده از مرکز k ام به مرکز بازتولید Z ام؛

cm_j : هزینه بازتولید در مرکز Z ام؛

γ : نرخ منسوخ شدن در مرکز بازتولید Z ام؛

crd : هزینه منسوخ شدن در مرکز بازتولید Z ام؛

cp_j : هزینه تولید در تولیدکننده Z ام.

۳.۴. متغیرهای تصمیم‌گیری

Y_j : اگر تولیدکننده در مکان Z ام قرار بگیرد ۱ و در غیر این صورت صفر؛

$Y R_j$: اگر مرکز بازتولید در مکان Z ام قرار بگیرد ۱ و در غیر این صورت صفر؛

$Y C_k$: اگر مرکز واسطه در مکان k ام قرار بگیرد ۱ و در غیر این صورت صفر؛

$Y A_w$: اگر انبار در مکان w ام قرار بگیرد ۱ و در غیر این صورت صفر؛

X_{wj} : سهمی از انبار w ام که توسط تولیدکننده یا مراکز بازتولید Z ام تأمین می‌شود؛

X_{iw} : سهمی از تقاضای مشتری i ام که توسط انبار w ام تأمین می‌شود؛

$X R_{ikj}$: سهمی از کالاهای مرجوعی مشتری i ام که توسط مرکز واسطه k ام به

مرکز بازتولید Z ام ارسال می‌شود؛

M, M' : اعداد بزرگ هستند.

با توجه به پارامترها و متغیرهای تصمیم تعریف شده، مسئله را با در نظر گرفتن ظرفیت برای هریک از واحدها و مراکز تولیدکننده، واسطه، بازتولید و انبار به‌صورت یک پارچه مدل‌سازی می‌کنیم.

۵. مدل ریاضی مسئله

$$\begin{aligned} \min z = & \sum_j f_j Y_j + \sum_j f r_j Y R_j + \sum_k f c_k Y C_k + \sum_w f a_w Y A_w \\ & + \sum_j \sum_w cap_w X_{wj} c_{jw} + \sum_w \sum_i \sum_s c_{wi} p_{si} h_i X_{iw} \\ & + \sum_i \sum_s \sum_k \sum_j c'_{rkj} p'_{si} h r_i X R_{ikj} \end{aligned}$$

جدول ۱. نتایج بهینه حاصل از حل مسئله در مدل یک پارچه - جریان مستقیم.

مشتری	تقاضا	سهم ارضاء تقاضا از هر		
		یک از تولیدکننده‌ها	۹	۱۱
۱	۱۵	۱۵	۰	۰
۲	۱۰	۰	۱۰	۰
۳	۱۲	۹	۳	۰
۴	۱۸	۳	۱۵	۰
۵	۵	۵	۰	۰
۶	۲۴	۵	۱۹	۰
۷	۱۱	۶	۱	۴
۸	۱۶	۰	۱	۱۵
۹	۱۳	۰	۸	۵
۱۰	۲۲	۰	۰	۲۲
۱۱	۱۹	۰	۰	۱۹
۱۲	۲۰	۰	۰	۲۰
کل	۱۸۵	۴۳	۵۷	۸۵
ظرفیت		۵۰	۶۰	۲۰۰

یا مصرف‌کنندگان یا مشتریان در لجستیک معکوس جمع‌آوری شده است. اطلاعات مسئله را می‌توانیم به صورت شبکه (شکل ۳) نمایش دهیم.

در شکل ۳ اعداد نمایش داده شده در بالای هر یک از مستطیل‌ها، هزینه‌های ثابت چهار نوع تسهیل را بیان می‌دارند. اعداد درون هر یک از مستطیل‌ها نیز سطح تقاضای محصولات و میزان محصولات مرجوعی را نشان می‌دهد که به طور تصادفی مقدار گرفته‌اند. برای مثال در مکان ۱ تقاضای محصول ۱۵ است و میزان محصولات مرجوعی ۲۰ است. اعداد بالای خطوط، فاصله‌ی میان هر یک از مکان‌ها را نشان می‌دهد. اعداد درون دایره‌های مشکی نشان‌گر مکان‌های بالقوه برای استقرار ۴ نوع تسهیل‌اند. هزینه‌ی در نظر گرفته شده برای ارضای تقاضا با توجه به واحد مسافت و واحد تقاضا در جریان مستقیم ۰/۱ و در جریان معکوس ۰/۸ است. هزینه‌ی واحد محصول ۲۰، هزینه‌ی واحد بازتولید محصول ۷، هزینه‌ی واحد نگهداری محصول ۴، و هزینه‌ی پردازش در مراکز واسطه ۲ در نظر گرفته شده است؛ هزینه‌ی معدوم‌سازی هر یک از تسهیلات در جریان معکوس نیز ۰/۲ است. همچنین $\beta = 0.6$ ، $\gamma = 0.3$ منظور شده است.

نتایج نشان می‌دهد که اگر یک تولیدکننده در مکان ۱۱ استقرار یابد و دو مرکز بازتولید در مکان‌های ۵ و ۹ مستقر شوند و همچنین دو مرکز واسطه در مکان‌های ۶ و ۷ و دو مرکز انبار نیز در مکان‌های ۱ و ۳ مستقر شوند، جدول ۱ جریان کالا و تقاضا را میان مراکز تولیدکننده و مراکز بازتولید و مشتریان یا مصرف‌کنندگان را در لجستیک مستقیم و جدول ۲ جریان کالا را میان مراکز تعمیر و مشتریان یا مصرف‌کنندگان نشان می‌دهد.

میزان تولید محصول توسط تولیدکننده ۱۱ معادل ۸۵ واحد تقاضا است که نسبت به نتیجه ارائه شده توسط ناتالی بوستل و ژیکیانگ لو [۲۲] در سال ۲۰۰۷ حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است. همچنین مجموع حجم تولید شده در مراکز بازتولید ۵ و ۹ معادل ۱۰۰ واحد تقاضاست که نسبت به نتیجه‌ی ارائه شده توسط ناتالی بوستل و ژیکیانگ لو [۲۲] در سال ۲۰۰۷ معادل ۵۸ درصد افزایش داشته

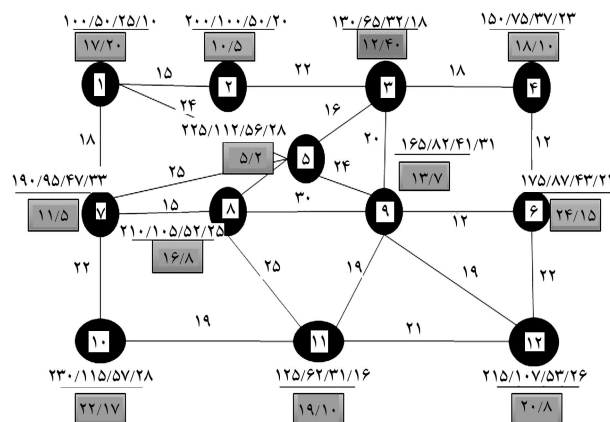
تأمین شود صفر می‌شود و اگر انبار وجود داشته باشد نسبت تقاضای مشتری نام می‌تواند از انبار w نام تأمین شود یا نشود. محدودیت ۸ نیز بیان می‌دارد که اگر مرکز واسطه‌ی وجود نداشته باشد پس مرکز بازتولید وجود ندارد، و اگر مرکز واسطه وجود داشته باشد جمع نسبت محصولات مرجوعی که باید توسط هر یک از این مراکز تأمین شود برابر ۱ خواهد بود. محدودیت ۶ به بیان این نکته می‌پردازد که اگر هر یک از مراکز بازتولید وجود نداشته باشند سهم آن‌ها در تأمین محصولات مرجوعی صفر است و در غیر این صورت این محدودیت اضافی است یعنی قادر است نسبتی از تقاضای محصولات مرجوعی را تأمین کند، به طوری که نمی‌توان حد بالایی برای آن در نظر گرفت. محدودیت‌های ۹ متغیرها را به صورت صفر و ۱ معرفی کرده است و محدودیت ۱۰ غیر منفی بودن متغیرها را بیان می‌کند.

۶. آزمایش‌های محاسباتی

برای ارزیابی عملکرد مدل برنامه‌ریزی مختلط صفر و ۱ و عدد صحیح ارائه شده، آزمایش‌های عددی و محاسباتی مختلفی با استفاده از نرم‌افزار GAMS۲۴.۱.۲ حل شده است. کلیه‌ی نتایج حاصل از آزمایش‌های محاسباتی انجام شده در ادامه آورده شده است.

۷. مدل مکان‌یابی تسهیلات با لحاظ مراکز بازتولید و انبار

برای نشان دادن کارایی مدل مکان‌یابی ارائه شده مسئله‌ی عددی را در نظر می‌گیریم که آقای دستکین [۲۲] در سال ۱۹۹۵ در رابطه با مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز تولیدکننده در شبکه‌ی لجستیک مستقیم مطرح کرده بود؛ بعدها ناتالی بوستل و ژیکیانگ لو [۲۲] در سال ۲۰۰۷ این مسئله را در شبکه‌ی یک پارچه‌ی لجستیک مستقیم و معکوس با در نظر گرفتن مراکز بازتولید در لجستیک معکوس مدل‌شان توسعه دادند و به حل آن پرداختند. در این مسئله ۱۲ مکان برای مشتریان در نظر گرفته شده است که مراکز تولیدکننده، مراکز بازتولید و مراکز واسطه را می‌توان به طور بالقوه برای استقرار در آنها در نظر گرفت. شمای کلی این مسئله را در شکل ۳ مشاهده می‌کنید. ما از این ۱۲ مکان بالقوه برای مکان‌یابی و استقرار ۴ نوع تسهیلات (مراکز تولیدکننده، مراکز بازتولید، مراکز واسطه و مراکز انبار) مفروض در مدل و شبکه‌ی ارائه شده استفاده می‌کنیم. اطلاعات لازم از قبیل اندازه کالاهای مرجوعی، هزینه‌های ثابت مراکز بازتولید و انبار، و هزینه‌های مراکز واسطه برای کالاهای مرجوعی از سوی مشتریان



شکل ۳. شبکه مساله نمونه حل شده.

جدول ۲. نتایج بهینه‌ی حاصل از حل مسئله در مدل یک‌پارچه - جریان معکوس.

مشتری	حجم کالاهای مرجوعی	سهم ارضاء کالاهای مرجوعی توسط هر یک از مراکز انبار	
		۵	۹
۱	۲۰	۲۰	۰
۲	۵	۵	۰
۳	۴۰	۰	۴۰
۴	۱۰	۰	۱۰
۵	۲	۲	۰
۶	۱۵	۰	۱۵
۷	۵	۵	۰
۸	۸	۸	۰
۹	۷	۳	۴
۱۰	۱۷	۱۵	۲
۱۱	۱۰	۱۰	۰
۱۲	۸	۳	۵
کل	۱۴۷	۷۱	۷۶
ظرفیت		۵۰	۱۰۰

معکوس و لجستیک مستقیم به صورت توأم و یک‌پارچه یکی از موضوعاتی است که در مدیریت سازمان‌هایی که همواره سیستم‌های لجستیک را به کار گرفته‌اند از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اهمیت این موضوع، انجام تحقیقات و مطالعات در زمینه‌ی لجستیک، به‌ویژه در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی سیستم‌های لجستیک با لحاظ لجستیک معکوس و مستقیم به صورت توأم و یک‌پارچه امری لازم و حائز اهمیت است. در این مطالعه مقدمه‌یی از مفاهیم لجستیک معکوس با توجه به اهمیت استقرار مراکز بازتولید و مراکز انبار ارائه شده است. مدل مکان‌یابی ارائه شده در این مطالعه یک مدل یک‌پارچه از لجستیک معکوس و مستقیم است که در آن جریان کالا به صورت مستقیم و معکوس به صورت همزمان در نظر گرفته شده است. مدل ریاضی ارائه شده در این مطالعه یک مدل مکان‌یابی سه‌سطحی در شبکه‌ی یک‌پارچه‌ی لجستیک معکوس و مستقیم است که به‌طور همزمان به مکان‌یابی و استقرار چهار نوع تسهیلات (مراکز تولیدکننده، مراکز واسطه، مراکز بازتولید و مراکز انبار) با لحاظ ظرفیت محدود می‌پردازد. برای مدل‌سازی این مسئله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مختلط صفر و ۱ و عدد صحیح ارائه شده است. مدل پیشنهادی شامل ۴ نوع تسهیلات است که به‌طور همزمان در شبکه‌ی یک‌پارچه‌ی لجستیک معکوس و مستقیم با لحاظ ظرفیت محدود استقرار می‌یابد و با استفاده از مدل ارائه شده بهترین حالت استقرار فراهم خواهد شد.

با مقایسه‌ی نتایج یک مسئله عددی از مدل ارائه شده توسط ناتالی بوستل و ژیکیانگ لو^[۲۲] نشان داده شده که استقرار مراکز تولید به‌گونه‌یی بوده است که میزان هزینه‌های تولیدی را تا ۴۰ درصد کاهش داده است؛ همچنین نشان داده شده که مراکز بازتولید در این مسئله با استقرار در مکان‌های مناسب به میزان ۵۸ درصد بازتولید را نسبت به نتایج ارائه شده در مقاله‌ی مذکور افزایش داده‌اند. با توجه به نتایج عددی حاصله و مقایسه‌ی نتایج استخراج شده از مدل ارائه شده و مدل مقاله‌ی مذکور نتایج مدل ارائه شده در این مطالعه دارای نتایج بهینه است. در مدل ارائه شده، ارضای تقاضا در جریان کالای معکوس بر مراکز بازتولید متمرکز شده است. در این مطالعه همچنین نشان داده شده که در نظر گرفتن استقرار تسهیلات به‌طور همزمان، ساختار شبکه‌ی لجستیک معکوس و مستقیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین هزینه‌های مختلف تولید، بازتولید بر هزینه‌ی شبکه تأثیر می‌گذارد به طوری که با افزایش درصد بازتولید به دلیل کاهش هزینه‌های تولید هزینه‌ی کل شبکه کاهش می‌یابد. بنابراین با اتخاذ تصمیم‌های مناسب و کسب اطلاعات صحیح درمورد انتخاب تسهیلات باز یابی (مراکز بازتولید) می‌توان کالاهای مرجوعی را تا حد امکان تعمیر و بازتولید کرده و از هزینه‌های معدوم‌سازی و تولید نابه‌جا اجتناب کرد.

است. از این ۱۰۰ واحد ۴۳ واحد آن مربوط به مرکز بازتولید پنجم و ۵۷ واحد آن مربوط به مرکز بازتولید نهم است. مشاهده می‌شود که با در نظر گرفتن توأم مدل لجستیک معکوس و مستقیم در حالت استقرار مراکز انبار، طرح و ساختار شبکه و مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مدل مکان‌یابی در لجستیک مستقیم تقاضای هریک از مشتریان باید توسط یک تسهیل مشخص پاسخ داده شود، اما این موضوع در لجستیک معکوس همیشه برقرار نیست. علاوه بر این مکان تسهیلات تولیدکننده وابسته به رابطه‌ی کمی میان جریان مستقیم و معکوس کالا است. توجه به جداول ۱ و ۲ این موضوع را بیشتر روشن می‌سازد.

۸. نتیجه‌گیری

مفاهیم لجستیک معکوس مانند بازیافت محصولات در چند سال اخیر، بیشتر مورد توجه بوده و در عمل نیز بسیار به کار گرفته شده است. در نظر گرفتن لجستیک

پانوشته‌ها

1. Re-manufacturing network
2. close-loop network

منابع (References)

1. El-Sayed, M., Afia, N. and El-Kharbotly, A. "A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk", *Computers & Industrial Engineering*, **58**(3), pp. 423-431 (2010).
2. Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M. and Van Wassenhove, L.N. "The impact of product re-

- covery on logistics network design”, *Production and Operations Management*, **10**(2), pp. 156-173 (2001).
3. Diabat, A., Abdallah, T., Al-Refaie, A., Svetinovic, D. and Govindan, K. “Strategic closed-loop facility location problem with carbon market trading”, *Engineering Management, IEEE Transactions on*, **60**(2), pp. 398-408 (2013).
 4. Louwers, D., Kip, B.J., Peters, E., Souren, F. and Flapper, S.D.P. “A facility location allocation model for reusing carpet materials”, *Computers and Industrial Engineering*, **36**(4), pp. 855-869 (1999).
 5. Beaulieu, M., Martin, R. and Landry, S. “Logistique à rebours: Un portrait nord-américain”, *Logistique & Management*, **7**(2), pp. 5-14 (1999).
 6. Sharma, R.R.K. and Berry, V. “Developing new formulations and relaxations of single stage capacitated warehouse location problem (SSCWLP): Empirical investigation for assessing relative strengths and computational effort”, *European Journal of Operational Research*, **177**(2), pp. 823-812 (2007).
 7. Teo, C.P. and Shu, J. “Warehouse-retailer network design problem”, *Operations Research*, **52**(3), pp. 396-408 (2004).
 8. Fontana, M.E. and Cavalcante, C.A.V. “Use of promethee method to determine the best alternative for warehouse storage location assignment”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **70**, pp. 1615-1624 (2014).
 9. Askin, R.G., Baffo, I. and Xia, M. “Multi-commodity warehouse location and distribution planning with inventory consideration”, *International Journal of Production Research*, **52**, pp. 1897-1910 (2013).
 10. Afsharzadeh M., MokhatabRafiei, F. and Zare, Z. “The application of fuzzy analytic hierarchy process approach for the selection of warehouse location: A case study”, *International Journal of Business and Social Science*, **3**(4), pp.112-125 (2012).
 11. Afsharzadeh, M., Mokhatab Rafiei, F., Mollaverdi Isfahani, N., Zare, Z. “Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of warehouse location: A case study”, *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*, **3**(9), pp. 655-671 (2012).
 12. Rath, S. and Gutjahr, W.J. “A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief”, *Computers & Operations Research*, **42**, pp. 25-39 (2014).
 13. Dai, L.F. and Wang, X.F. “Research on mixed intelligent arithmetic of reuse reverse logistics centers’ location model”, *Advanced Materials Research*, **945-949**, pp. 3246-3251 (2014).
 14. Sheriff, K.M.M., Subramanian, N. and Min, H. “Combined location and routing problems for designing the quality-dependent and multi-product reverse logistics network”, *Journal of the Operational Research Society*, **65**, pp. 873-887 (2014).
 15. Ramezani, M., Bashiri, M. and Tavakkoli-Moghaddam, R. “A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level”, *Applied Mathematical Modelling*, **37**(1-2), pp. 328-344 (2013).
 16. Hassanzadeh Amin, S. and Zhang, G. “A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return”, *Applied Mathematical Modelling*, **37**(6), pp. 4165-4176 (2013).
 17. Lin, C.K.Y. “Stochastic single-source capacitated facility location model with service level requirements”, *Int. J. Production Economics*, **117**, pp. 439-451 (2009).
 18. Sun, M. “A tabu search heuristic procedure for the capacitated facility location problem”, *J Heuristics*, **18**, pp. 91-118 (2012).
 19. Fernandes, D., Rocha, C., Aloise, D., Ribeiro, G.M., Santos, E. and Silva, A. “A simple and effective genetic algorithm for the two-stage capacitated facility location problem”, *Computers & Industrial Engineering*, **75**, pp. 222-228 (2014).
 20. Melkote, S. and Daskin, M.S. “Capacitated facility location/network design problems”, *European Journal of Operational Research*, **129**, pp. 481-495 (2001).
 21. Ho, S.C. “An iterated tabu search heuristic for the single source capacitated facility location problem”, *Applied Soft Computing*, **27**, pp. 169-178 (2014).
 22. Lu, Z., Bostel, N. and Dejax, P. “Planification hiérarchisée des systèmes logistiques incluant la logistique inverse: Problématique et modèles stratégiques”, *Actes du 4e Congrès International de Génie Industriel (GI2001), Aix-en-Provence-Marseille, France*, pp. 1141-1151 (2001).
 23. Daskin, M.S., *Network and Discrete Location, Models, Algorithms, and Application*, Wiley: Wiley-Interscience Publication (1995).