

مدل کلی بهینه‌سازی طراحی شبکه لجستیک معکوس تحت عدم قطعیت

محمدجعفر تارخ^{۱*}، مهسا اسمعیلی گوکه^۲ و شهره ترابی^۳

^۱ دانشیار دانشکده صنایع - دانشگاه خواجه نصیرالدین توسی

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد IT - دانشکده صنایع دانشگاه خواجه نصیرالدین توسی

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه پیام نور تهران

(تاریخ دریافت ۹۰/۱/۲۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده ۹۱/۲/۱۷، تاریخ تصویب ۹۱/۶/۴)

چکیده

در طی دهه گذشته، شبکه‌های لجستیک معکوس به دلیل قوانین زیست‌محیطی، افزایش اهمیت اقتصادی و آگاهی‌های مشتریان، مورد توجه روزافزونی قرار گرفته‌اند. یکپارچه‌سازی شبکه لجستیک پیشرو و معکوس هنگام طراحی شبکه لجستیکی، یکی از عوامل بسیار مهم در زنجیره تأمین است. یک موضوع ضروری برای مدل‌سازی مسئله طراحی سیستم‌های لجستیک معکوس، در نظر گرفتن تعداد بیشتری از گزینه‌های بازیابی است. در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MILP) برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه پیشرو/معکوس چندلایه، چندمحصولی، تک‌دوره‌ای به همراه ظرفیت‌های محدود شده و با شرایط نبود قطعیت ارائه می‌شود که به طور همزمان گزینه‌های بازیابی، تعمیر، تولید دوباره و همچنین گزینه دفع ضایعات را در برمی‌گیرد. هدف کمینه‌سازی هزینه کل شبکه است.

واژه‌های کلیدی: لجستیک معکوس، تعمیر، تولید مجدد، شبکه لجستیک یکپارچه، نبود قطعیت، بازیابی محصول

مقدمه

زنجیره تأمین سنتی با هدف بازیابی ارزش یا دفع مناسب است [۴]. در این تعریف، محصولات برگشتی مجبور به بازگشت به مبدا خود نیستند، بلکه می‌توانند به همان زنجیره تأمین یا یک زنجیره تأمین دیگر برگردند. مفهوم محصولات دست دوم ذکر شده در اینجا، شامل محصولات استفاده‌نشده برگشتی، به دلایلی، از جمله نارضایتی مشتری و یا شرایط ضمانت نیز هست. محصولات می‌توانند برای استفاده دوباره^۱، تعمیر^۲، بازیافت^۳، تولید دوباره^۴ و دفع^۵ طبقه‌بندی شوند. محصولات و مواد به دلایل گوناگونی برمی‌گردند: محصولات خراب‌شده که می‌توانند بار دیگر تعمیر یا استفاده شوند، محصولات در مرحله پایانی چرخه عمرشان که هنوز ارزش دارند، محصولات فروش‌نرفته و یا ناخواسته موجود در قفسه‌های خرده‌فروشان، محصولات پس داده شده و ضایعات و مواد خطرناک [۵]. همچنین محصولات در پایان اجاره، با ضمانت و آسیب‌دیده در حمل یا ارسال نیز جزو محصولات برگشتی هستند. اگر این محصولات برگشتی به صورت کارآمد اداره و کنترل نشوند، آنگاه تولیدکنندگان تجهیزات اصلی، متحمل هزینه‌های بیشتری می‌شوند [۶]. در اکثر تحقیقات پیشین، طراحی شبکه‌های لجستیک پیشرو^۶ و معکوس به طور جداگانه در نظر گرفته شده است، اما

لجستیک معکوس به دلیل توانایی بازیابی ارزش از محصولات برگشتی و استفاده‌شده، توجه بسیاری دریافت کرده و به عنصری کلیدی در زنجیره تأمین تبدیل شده است. الزامات قانونی، مسئولیت‌های اجتماعی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، منافع اقتصادی و آگاهی مشتریان، تولیدکنندگان را نه تنها به تولید محصولات سازگار با محیط زیست، بلکه به پس گرفتن و جمع‌آوری محصولات برگشتی و استفاده شده وادار کرده است [۱]. مسائل بازاریابی، رقابتی و استراتژیکی [۲] و بهبود وفاداری مشتریان و فروش‌های بعدی [۳] نیز از انگیزه‌های فعالیت در زمینه لجستیک معکوس هستند. از این رو بخش‌های مختلف صنعتی برای رویارویی با این چالش‌ها مستلزم بهبود ساختارها و فعالیت‌هایشان هستند.

از آنجا که به دلایل مختلف، جریان مواد و محصولات در جهت عکس زنجیره تأمین، موضوعی اجتناب‌ناپذیر است، طراحی شبکه لجستیک معکوس کاری ضروری است. تعاریف مختلفی از لجستیک معکوس وجود دارد، "لجستیک معکوس فرآیند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و کنترل کاراً و مؤثر جریان ورودی و ذخیره‌سازی کالاها را دست دوم و اطلاعات مربوط به آنها در خلاف جهت

گزینه دفع ضایعات را با در نظر گرفتن حالت چندمحصولی و محدودیت‌های ظرفیت و غلبه بر نبود قطعیت در مقدار محصولات برگشتی و تقاضا در برمی‌گیرد. در ادامه به مرور ادبیات موضوع، تعریف مسئله، مدل‌سازی ریاضی و نتایج محاسباتی پرداخته و در پایان نتیجه‌گیری کرده و پیشنهادهایی برای تحقیقات بعدی ارائه می‌دهیم.

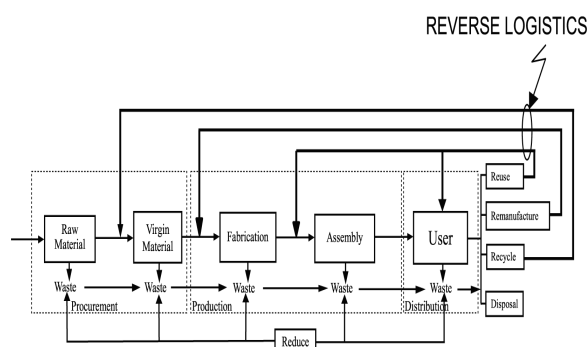
مرور ادبیات

اگرچه محصولات از زمان روزهای آغازین تجارت بازگردانده شده‌اند، اما لجستیک معکوس توجه علمی را از اوایل دهه ۱۹۹۰ به خود جلب کرده است. در دهه گذشته، مدل‌های بسیاری برای طراحی شبکه لجستیکی بر اساس تئوری مکان‌یابی تسهیلات توسعه یافته‌اند [۱۱]. این مدل‌ها از مدل‌های ساده مکان‌یابی تسهیلات بدون ظرفیت تا مدل‌های پیچیده چندهدفه متغیرند [۶]. با نگاهی به ادبیات زنجیره تأمین در می‌یابیم که بخش عظیمی از آن در زمینه طراحی شبکه لجستیک پیشرو است و بخش اندکی به طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف بهینه‌سازی جریان معکوس از مشتریان به مراکز بازیابی و دفع مناسب، تعیین تعداد مراکز جمع‌آوری، بازیابی و دفع، مکان‌های آنها و ظرفیت‌هایشان می‌پردازد. در این مقاله با مروری بر ادبیات لجستیک معکوس، نشان داده شد که پژوهش در این زمینه، چندوجهی است و به ویژه پس از سال ۲۰۰۵ به دلیل به رسمیت شناختن لجستیک معکوس به عنوان مشتقی از زنجیره تأمین و لجستیک افزایش یافته است [۱۲]. در اوایل سال ۲۰۰۱، یک مدل MILP برای تحلیل تأثیر بازیابی محصول بر طراحی شبکه لجستیک توسعه دادند و نشان دادند که رویکرد یکپارچه، یعنی بهینه‌سازی همزمان شبکه پیشرو و معکوس، در مقایسه با طراحی ترتیبی هر دو شبکه، صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه دارد [۴] که می‌تواند باعث جلوگیری از زیربهینگی ناشی از طراحی جداگانه لجستیک پیشرو و معکوس نیز بشود [۱۳]. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در سایر مسائل زنجیره تأمین نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴]. مدل کلی [۴] را به یک شبکه توزیع معکوس چندمحصولی ظرفیت‌دار با شرایط نبود قطعیت تقاضا گسترش دادند و دریافتند که اکثر مدل‌های پیشنهادی در این زمینه مورد

پیکره‌بندی شبکه لجستیک معکوس، تأثیری قوی روی شبکه لجستیک پیشرو و برعکس دارد. طراحی جداگانه، ممکن است سبب بروز زیر بهینگی شود، بنابراین طراحی شبکه لجستیک پیشرو و معکوس باید یکپارچه^۷ باشد [۶] و [۷] که این کار به تلاشی بیشتر برای تحلیل همزمان هر دو شبکه لجستیک پیشرو و معکوس نیاز است.

در تحقیقات پیشین فرض می‌شد که پارامترهای مهمی چون تقاضا و برگشتی قطعی هستند، در حالی که طراحی و استقرار شبکه لجستیکی، یک تصمیم‌گیری استراتژیکی است که تأثیر آن برای چندین سال طول خواهد کشید و پارامترهای تقاضا و برگشتی مشتریان در طی این مدت ممکن است تغییر کند [۶]. بنابراین یک شبکه لجستیکی کاراً باید به شیوه‌ای طراحی شود که بتواند به نبود قطعیت‌ها^۸ بپردازد.

نویسندگان، فرایند بازیابی را به روش‌های متفاوتی دسته‌بندی می‌کنند. گزینه‌های بازیابی بر حسب درجه مورد نیاز دمونتاز به صورت اوراق‌سازی^۹، تولید دوباره، مرمت و نوسازی^{۱۰}، تعمیر و فروش دوباره^{۱۱} فهرست می‌شوند [۸]. شکل (۱)، یک شبکه لجستیکی بازیابی محصول را نشان می‌دهد. تحقیقات انجام‌شده اغلب فقط یکی از گزینه‌های بازیابی محصول (تولید دوباره) را در نظر می‌گیرند [۹]. اجرای مؤثر لجستیک معکوس نیاز به طراحی یک شبکه مناسب لجستیکی برای انجام فعالیت‌های زنجیره تأمین معکوس از قبیل جمع‌آوری، بازرسی، ذخیره‌سازی، دمونتاز، بازیافت، تولید دوباره، مرمت و تازه‌سازی، تعمیر و دفع دارد [۱۰].



شکل ۱: جریان لجستیک معکوس در زنجیره تأمین

این مقاله یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط^{۱۲} (MILP) برای طراحی شبکه لجستیکی پیشرو/معکوس برای مدیریت برگشتی‌های محصول پیشنهاد می‌دهد که گزینه‌های تعمیر، تولید دوباره و

مقابله با نبود قطعیت در طی فرایند بازیابی به طراحی شبکه لجستیک معکوس در محیط فازی پرداخته‌اند و بر اساس معیارهای مختلف تصمیم‌گیری، سه نوع مدل بهینه‌سازی با رویکرد برنامه‌ریزی فازی فرموله می‌شود و برای حل مدل‌ها، یک الگوریتم هوشمند ترکیبی برای ادغام الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی را معرفی می‌کنند [۲۱]. در سال‌های اخیر مقالات اندکی به طراحی شبکه لجستیکی یکپارچه پرداخته‌اند. یک مدل MILP برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه برای محصولات کامپیوتری در انتهای اجاره را با توسعه یک مدل برنامه‌ریزی قطعی برای مدیریت سیستماتیک جریان‌های لجستیک پیشرو و معکوس پیشنهاد کردند. آنها یک شبکه ساده به همراه یک مرکز تولید منفرد و تعداد معلومی از تسهیلات ترکیبی توزیع-جمع‌آوری را در نظر گرفته و آن را با استفاده از الگوریتم هیوریستیک جستجوی ممنوع حل کردند [۷]. مدل ارائه‌شده در این مقاله، یکی از عمومی‌ترین مدل‌ها برای طراحی شبکه‌های لجستیک معکوس است. با یکپارچه‌سازی گزینه‌های بازیابی محصول، شامل تعمیر و تولید دوباره به طراحی یک شبکه کلی لجستیک معکوس برای تعمیم مدل پیشنهادی توسط [۴] می‌پردازد و یک مدل MILP برای حل ارائه می‌کند [۹]. یک مدل تصادفی برای طراحی شبکه لجستیک پیشرو-معکوس چندلایه‌ای، چنددوره‌ای با ریسک را با هدف حداکثرکردن کل سود مورد انتظار توسعه می‌دهند. در این مقاله، یک مدل تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی خطی مختلط تصادفی^{۱۶} (SMILP) به صورت یک برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای فرموله می‌شود [۲۲]. برای پرداختن به نبود قطعیت در طراحی شبکه لجستیک یکپارچه، یک مدل بهینه‌سازی تصادفی بر مبنای سناریو ارائه می‌کنند. شبکه مورد مطالعه، یک شبکه لجستیکی یکپارچه پیشرو/معکوس حلقه بسته با هدف کمینه‌سازی هزینه کل با استفاده از یک مدل SMILP است [۶]. برای طراحی یکپارچه شبکه‌های لجستیک پیشرو/معکوس، یک مدل MINLP دوهدفه برای کمینه‌سازی هزینه‌های کل و بیشینه‌سازی پاسخگویی شبکه لجستیکی را توسعه داده و برای حل مدل، یک هیوریستیک بر مبنای الگوریتم ممتیک پیشنهاد کردند [۲۳].

مبنا بوده و به همین دلیل، عمومیت ندارند. مدل طراحی شبکه کلی لجستیک معکوس را که در آن محدودیت‌های ظرفیت، مدیریت چندمحصولی و نبود قطعیت در مورد تقاضای محصول و برگشتی‌ها در نظر گرفته شده‌اند را بررسی می‌کند و یک فرمول عدد صحیح مختلط نیز توسعه داده شده می‌شود [۱۵]. مدلی برای بهینه‌سازی شبکه لجستیک معکوس و بازیابی ارزش و مفاهیم راه‌اندازی مراکز تولید دوباره، تعمیر و مرمت توسط تولیدکنندگان تجهیزات اصلی برای دسته‌های خاصی از محصولات را بررسی می‌کند. یک مدل بیشینه‌سازی سود است به صورت یک مسئله MILP فرموله می‌شود [۱۶]. به لجستیک معکوس از زاویه پیمانهای^{۱۳} بودن ساختار محصول نگاه کردند و یک مدل ریاضی جهت طراحی شبکه‌های استراتژیک برای لجستیک معکوس و تولید دوباره با استفاده از ماژول‌های قدیمی و جدید و با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه را بررسی کردند [۱۲].

یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی مختلط برای شبکه لجستیک قطعی به همراه بازیابی محصول پیشنهاد کردند و از الگوریتم ژنتیک^{۱۴} برای حل مدل طراحی‌شده، استفاده کردند [۱۷]. یک مدل ریاضی سیستم تولید دوباره را به صورت مدل شبکه لجستیک معکوس چندمرحله‌ای، چندمحصولی برای کمینه‌سازی کل هزینه‌های حمل و نقل لجستیک معکوس و هزینه ثابت احداث مراکز دمونتاژ و مراکز پردازش، فرموله می‌کنند. برای حل این مسئله، یک الگوریتم ژنتیک به همراه روش کدگذاری مبتنی بر اولویت پیشنهاد می‌شود [۱۸]. برای جمع‌آوری محصولات به صورت کارا در انتهای دوره عمرشان، یک مدل شبیه‌سازی شبکه لجستیک معکوس را طرح می‌کنند. در این مقاله برای ساخت مدل شبیه‌سازی از نرم‌افزار Arena استفاده می‌شود [۱۹]. یک مدل برنامه‌ریزی قطعی غیر خطی عدد صحیح مختلط^{۱۵} (MINLP) برای طراحی شبکه لجستیک معکوس تک‌سطحی، تک‌محصولی با زمان‌های انتظار تصادفی پیشنهاد می‌کنند. مدل با مطرح کردن تئوری صف برای پرداختن به برخی از جنبه‌های پویایی مانند زمان سیکل و موقعیت‌های موجودی و نیز پرداختن به درجه بالاتری از نبود قطعیت ذاتی لجستیک معکوس تعمیم می‌یابد و برای دستیابی به حل بهینه از الگوریتم ژنتیک بر اساس روش تکاملی تفاضلی استفاده می‌شود [۲۰]. برای

تعریف مسئله

شبکه لجستیکی مفروض، یک شبکه یکپارچه پیشرو/ معکوس چندلایه، چندمحصولی، تک دوره‌ای به همراه ظرفیت‌های محدود شده و نبود قطعیت در تقاضا و برگشتی است که به طور همزمان گزینه‌های بازبایی تعمیر، تولید دوباره و گزینه دفع را در نظر می‌گیرد. این شبکه دارای ۵ لایه مراکز تولید/تولید دوباره، مراکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری، مراکز CRC، مراکز دفع و مشتریان است. به طور کلی در شبکه لجستیکی یکپارچه، تسهیلات ترکیبی، مزایای بیشتری نسبت به مراکز جداگانه توزیع و جمع‌آوری دارند. گزینه دفع را به عنوان یکی از گزینه‌های بازبایی در نظر می‌گیریم، بنابراین مدل، یک وضعیت واقعی شبکه لجستیک معکوس را نمایش می‌دهد. همچنین طراحی شبکه لجستیک به طور یکپارچه از زیربهدنگی ناشی از طراحی ترتیبی شبکه‌های پیشرو و معکوس جلوگیری می‌کند. در مدل طراحی شده در حالت معکوس، محصولات برگشتی از جانب مشتریان، از طریق مراکز ترکیبی جمع‌آوری-توزیع، جمع‌آوری و به مراکز CRC منتقل می‌شوند. مدیریت همه جریان‌های معکوس در مراکز CRC متمرکز است. متمرکز کردن مدیریت جریان‌ها در یک مرکز، کنترل فرآیندهای مدیریت بازبایی محصول را بهبود می‌دهد [۹]. در این مرکز همه محصولات برگشتی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته و به سه گروه قابل تعمیر، قابل تولید دوباره و محصولات قراضه (قابل دفع) تقسیم می‌شوند. (i) محصولات قابل تعمیر در مرکز CRC، توسط متخصصان متبخر تعمیر و به عنوان کالاهای قابل فروش به مراکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری پس فرستاده می‌شوند. (ii) محصولات قابل تولید دوباره در مرکز CRC شناسایی می‌شوند و به کارخانه‌ها ارسال می‌شوند و به صورت همان محصولات اولیه یا ارتقاء یافته، تولید دوباره شده و به کالاهای قابل فروش مجدد تبدیل می‌شوند. (iii) محصولات برگشتی قابل دفع، بدون ارزش بازاری و غیر قابل تعمیر یا تولید دوباره بوده که از مراکز CRC به مکان‌های دفع ضایعات فرستاده می‌شود. در جریان پیشرو، محصولات ابتدا در کارخانه‌ها تولید، سپس به مراکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری ارسال و از آنجا به محل مشتریان حمل و تحویل داده می‌شوند. (از آنجا که محصولات تعمیر و تولید دوباره شده، بار دیگر در چرخه

با مروری بر ادبیات در می‌یابیم که بیشتر مدل‌های ارائه شده، فقط یک گزینه بازبایی محصول یعنی گزینه تولید دوباره را در نظر گرفته‌اند و مدل‌هایی که به طور همزمان گزینه‌های بیشتری را شامل می‌شوند، فقط به طراحی شبکه لجستیک معکوس بدون در نظر گرفتن شبکه لجستیک پیشرو می‌پردازند. در این میان، مدل [۹] به دلیل در نظر گرفتن گزینه‌های تعمیر و تولید دوباره به طور همزمان و یک شبکه لجستیکی یکپارچه، عمومی‌تر به نظر می‌رسد، اما این مدل نیز چند مشخصه مهم مسائل دنیای واقعی از جمله محدودیت‌های ظرفیت، تولید چندمحصولی و نبود قطعیت در جریان‌های برگشتی/تقاضا را در نظر نمی‌گیرد.

در این تحقیق تلاش می‌شود تا با ارائه یک مدل جدید، یک شبکه لجستیک چندلایه، چندمحصولی، به همراه ظرفیت‌های محدود شده و با شرایط نبود قطعیت که می‌تواند به طور همزمان فعالیت‌های بازبایی محصول شامل گزینه‌های تولید دوباره، تعمیر و گزینه دفع ضایعات را در بر بگیرد، ایجاد کنیم. در اینجا یک مدل MILP شامل مراکز تولید، توزیع و مشتریان در حالت پیشرو و مراکز جمع‌آوری، مراکز بازبایی مرکزی^{۱۷} (CRC)، مراکز تولید دوباره و دفع ضایعات در حالت معکوس ارائه می‌شود. در مدل پیشنهادی، تولید دوباره محصولات برگشتی در همان مراکز تولیدی در حالت پیشرو انجام شده و از تسهیل ترکیبی توزیع-جمع‌آوری برای توزیع محصولات جدید، جمع‌آوری محصولات برگشتی و توزیع دوباره محصولات تعمیر و تولید دوباره شده استفاده می‌شود که در نتیجه به اشتراک‌گذاری تجهیزات جابه‌جایی مواد، تولید، نیروی انسانی و زیربنای، صرفه‌جویی‌هایی در هزینه و کاهش آلودگی به وجود می‌آید [۶، ۷]. همچنین در مدل گزینه دفع ضایعات، به عنوان یکی از فعالیت‌های بازبایی محصول در نظر گرفته و بنابراین یک وضعیت واقعی از لجستیک معکوس نشان داده می‌شود. در اینجا تلاش می‌شود تا با در نظر گرفتن گزینه‌های بیشتر بازبایی در یک محیط چندمحصولی، به همراه ظرفیت‌های محدود شده و نبود قطعیت در جریان‌های برگشتی و تقاضا، طراحی آسان‌تر شبکه لجستیک معکوس برای مسائل دنیای واقعی بدون از دست‌دادن کلیت نشان داده شود.

ظرفیت و محصولات چندگانه در نظر گرفته می شود و در نهایت، نبود قطعیت به آن اضافه خواهد شد.

طراحی شبکه چندمحصولی ظرفیت دار

هنگام ایجاد یک شبکه لجستیکی، مدیران باید توجه داشته باشند که تسهیلات نمی توانند حجم نامحدودی از محصولات را پردازش کنند. گنجایش و ظرفیت آنها می تواند به علل گوناگونی از قبیل کمبود فضا، ماشین آلات و یا نیروی انسانی محدود باشد [۱۵]. در نتیجه محدودیت های ظرفیت باید هنگام مدل سازی برای کارخانه ها، مراکز ترکیبی توزیع جمع آوری، مراکز CRC و مراکز دفع در نظر گرفته شود. همچنین با توجه به اینکه وضعیت تک محصولی در یک شبکه لجستیکی واقعی، غیرمعمول است، هنگام مدل سازی، جنبه چندمحصولی نیز در نظر گرفته می شود و تقریباً همه متغیرها و پارامترها به محصول وابسته می شوند.

نمادهای زیر در مدل مورد استفاده قرار می گیرند:

مجموعه ها

$i \in I$ مجموعه نقاط بالقوه برای کارخانه ها $I = \{1, \dots, N_p\}$

$J = \{1, \dots, N_d\}$ مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز ترکیبی

توزیع جمع آوری $J \in$

$k \in K$ مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز (CRC)

$o \in O$ مجموعه نقاط بالقوه مراکز دفع $O = \{1, \dots, N_x\}$

$l \in L$ مجموعه نقاط ثابت مشتریان $L = \{1, \dots, N_c\}$

$m \in M$ مجموعه محصولات موجود $M = \{1, \dots, N_g\}$

هزینه ها

f_i^p : هزینه ثابت احداث کارخانه i

f_j^d : هزینه ثابت احداث مرکز ترکیبی توزیع جمع آوری j

f_k^f : هزینه ثابت احداث مرکز CRC k

f_o^x : هزینه ثابت احداث مرکز دفع o

C_{mij}^f : در جریان پیشرو- همه هزینه های متغیر یک واحد

برآوردن تقاضای مشتری l از محصول m توسط کارخانه i و

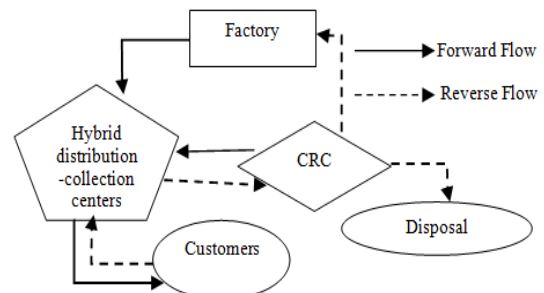
مرکز توزیع جمع j

C_{mkjl}^f : در جریان پیشرو- همه هزینه های متغیر یک واحد

برآوردن تقاضای مشتری l از محصول m توسط مرکز CRC k و

مرکز ترکیبی توزیع جمع آوری j

پیشرو به جریان در می آیند، شبکه مورد بررسی یک شبکه لجستیک حلقه بسته است. همانند شکل (۲)، هنگام طراحی شبکه لجستیکی، مراکز توزیع در جریان پیشرو و مراکز جمع آوری در جریان معکوس در یک محل مشترک مکان یابی می شوند و سبب بهره مندی از مزایای حاصل از صرفه جویی مالی ادغام هزینه های احداث، تجهیزات، نیروی انسانی و کاهش آلودگی را ممکن می کنند [۲۳، ۶]. همانند [۹] تقاضای محصول مشتریان، هم توسط کارخانه ها و از تولید یا تولید دوباره محصولات و هم توسط مراکز CRC و از محصولات تعمیر شده، می توانند برآورده شوند. بدان معنی که سطح محصولات تعمیر شده در مراکز CRC و محصولات تولید دوباره شده در کارخانه ها همانند محصولات جدید در کارخانه ها برای برآوردن تقاضای مشتریان در نظر گرفته می شود.



شکل ۲: ساختار شبکه لجستیک پیشرو/معکوس یکپارچه

با شرایط ذکر شده، مسئله طراحی شبکه لجستیک به صورت یک مسئله تخصیص-مکان یابی تسهیل تک دوره ای، چندلایه ای، چندمحصولی، ظرفیت دار و با شرایط نبود قطعیت در جریان های برگشتی و تقاضا تعریف می شود و به صورت یک مدل MILP برای انتخاب مکان و تعیین تعداد مراکز کارخانه ها، مراکز ترکیبی توزیع جمع آوری، مراکز CRC و مراکز دفع ضایعات، سطوح ظرفیت آنها و تعیین مقدار جریان بین تسهیلات در بخش بعدی ارائه خواهد شد.

مدل سازی ریاضی

همان طور که بحث شد، مدل [۹]، اگر چه بسیار کلی است، اما جنبه های مهمی از شبکه واقعی لجستیکی مانند محدودیت های ظرفیت، جریان های چندمحصولی و نبود قطعیت را در نظر نمی گیرد. در این تحقیق، برای توسعه این جنبه ها، ابتدا مدل شبکه به همراه محدودیت های

از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z و مرکز k CRC به کارخانه i

X_{mljko}^f : جریان معکوس-درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند دفع شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z و مرکز k CRC به مرکز دفع o

U_{ml} : درصد تقاضای برآورده نشده محصول m مشتری l

W_{ml} : درصد محصول جمع‌آوری نشده محصول m مشتری l

$Y_i^p = 1$: اگر کارخانه i احداث شود

$Y_j^d = 1$: اگر مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z احداث شود

$Y_k^r = 1$: اگر مرکز k CRC احداث شود

$Y_o^x = 1$: اگر مرکز دفع o احداث شود

نحوه محاسبه ضرایب مدل

c^{ab} : هزینه حمل و نقل بر اساس فاصله بین مراکز a و b

t_{ab} : فاصله بین مراکز a و b

CS_{rp} : هزینه صرفه‌جویی به ازای هر واحد محصول به خاطر تعمیر در مرکز بازیابی متمرکز

CS_{rm} : هزینه صرفه‌جویی به ازای هر واحد محصول به خاطر تولید دوباره در مرکز تولید/تولید دوباره

C_o : هزینه دفع در مرکز دفع

$$C_{mijl}^f = c^{pd} * t_{ij} + c^{dc} * t_{jl}$$

$$C_{mkjl}^f = c^{rd} * t_{kj} + c^{dc} * t_{jl} - CS_{rp}$$

$$C_{mljk}^r = c^{cd} * t_{lj} + c^{dr} * t_{jk}$$

$$C_{mljki}^r = c^{cd} * t_{lj} + c^{dr} * t_{jk} + c^{rp} * t_{ki} - CS_{rm}$$

$$C_{mljko}^r = c^{cd} * t_{lj} + c^{dr} * t_{jk} + c^{rx} * t_{ko} + C_o$$

با توجه به نمادگذاری ذکرشده، مسئله طراحی شبکه

لجستیک پیشرو/ معکوس یکپارچه با هدف کمینه‌سازی

هزینه کل به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\begin{aligned} \min & \sum_{i \in I} f_i^p Y_i^p + \sum_{j \in J} f_j^d Y_j^d + \sum_{k \in K} f_k^r Y_k^r + \sum_{o \in O} f_o^v Y_o^v \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} C_{mijl}^f d_{ml} X_{mijl}^f \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} C_{mkjl}^f d_{ml} X_{mkjl}^f \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{mljk}^r r_{ml} X_{mljk}^r \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} C_{mljki}^r r_{ml} X_{mljki}^r \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{o \in O} C_{mljko}^r r_{ml} X_{mljko}^r \end{aligned}$$

C_{mljk}^f : در جریان معکوس- همه هزینه‌های متغیر یک واحد محصول برگشتی m (قابل تعمیر) از مشتری l از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z به مرکز k CRC

C_{mljki}^f : در جریان معکوس- همه هزینه‌های متغیر یک واحد محصول برگشتی m (قابل تولید مجدد) از مشتری l ، از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z و مرکز k CRC به کارخانه i

C_{mljko}^f : همه هزینه‌های متغیر یک واحد محصول برگشتی m (برای دفع) از مشتری l از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z و مرکز k CRC به مرکز دفع o

C_{ml}^u : هزینه جریمه واحد تقاضای برآورده نشده از محصول m مشتری l

C_{ml}^w : هزینه جریمه واحد محصول جمع‌آوری نشده محصول m مشتری l

پارامترها

d_{ml} : تقاضای محصول m از جانب مشتری l

r_{ml} : برگشتی‌های محصول استفاده‌شده m از طرف مشتری l

β : حداکثر درصد تعمیر

γ : حداقل درصد دفع

cap_i^p : حداکثر ظرفیت تولید در کارخانه i

cap_j^d : حداکثر ظرفیت توزیع در مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z

cap_k^r : حداکثر ظرفیت مرکز k CRC

cap_o^x : حداکثر ظرفیت مرکز دفع o

cap_{ri}^p : حداکثر ظرفیت تولید مجدد در کارخانه i

cap_{rj}^d : حداکثر ظرفیت جمع‌آوری در مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z

متغیرها:

X_{mijl}^f : جریان پیشرو-درصدی از تقاضای محصول m از جانب مشتری l که از کارخانه i و مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z برآورده می‌شود.

X_{mkjl}^f : جریان پیشرو-درصدی از تقاضای محصول m از جانب مشتری l که از مرکز k CRC و مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z برآورده می‌شود.

X_{mljk}^r : جریان معکوس-درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند تعمیر شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری z به مرکز k CRC

X_{mljki}^r : جریان معکوس-درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند تولید دوباره شود، برگشته

برگشتی‌ها در نظر گرفته می‌شوند. نامساوی (۵) تضمین می‌کند که کل جریان‌های خروجی حداقل به بزرگی کل جریان‌های ورودی برای هر کارخانه (فاصله بیانگر مقدار اقلام جدید تولید شده) است. نامساوی (۶) حداقل درصد دفع برای هر جریان برگشت را اعمال می‌کند، در حالی که نامساوی (۷) حداکثر درصد تعمیر را، مطابق با شدنی بودن فنی تعمیر ارایه می‌کند. نامساوی‌های (۸)–(۱۳) شرایط معمول احداث تسهیلات و نبود تجاوز جریان بین تسهیلات از ظرفیت‌شان را تضمین می‌کنند. محدودیت (۱۴) قید غیرمنفی بودن را روی متغیرهای تصمیم باقی نگه می‌دارد و در نهایت، محدودیت (۱۵) ماهیت دوبه‌دویی متغیرهای مکان را تعیین می‌کند. در مدل پیشنهادی، محدودیت (۲) بحث هماهنگ‌سازی جریان‌های ورودی (کالای قابل تعمیر) و خروجی (کالایی که می‌تواند تقاضای مشتری را برآورده کند) مرکز GRC را منعکس می‌کند. علاوه بر این، متغیر X_{mljk}^r همراه با پارامترهای γ در محدودیت (۶) و α در محدودیت (۷)، نشان‌دهنده درجه بیشتر انعطاف‌پذیری در مورد مبحث تعمیر و دفع است. این مدل بسیار کلی است و می‌تواند موقعیت‌های بسیار مختلف بازیابی را منعکس کند. هر دو شبکه حلقه باز و بسته را می‌توان در نظر گرفت، برگشتی‌های محصول نیز، با انتخاب مناسب پارامترهای d_{ml} و r_{ml} می‌توانند در نظر گرفته شوند. برای حالت $d_{ml}r_{ml} > 0$ ، یعنی زمانی که هر دو پارامتر مثبت هستند، یک زنجیره تأمین حلقه بسته مدل می‌شود و در صورتی که $d_{ml}r_{ml} = 0$ باشد، زنجیره تأمین در یک حلقه باز عمل می‌کند. علاوه بر این، هم جمع‌آوری‌های فشاری‌گرا و هم کششی‌گرا می‌توانند بیان شوند. انتخاب یک مقدار بالا برای هزینه جریمه C_{ml}^w ، که بر مقدار پایین برای W_{ml} اشاره می‌کند، اجرای قانون و بر عکس، انتخاب یک هزینه جریمه C_{ml}^w پایین، آگاهی بازار برای گزینه‌های مختلف بازیابی را منعکس می‌کند. با قرار دادن $C_{ml}^w = 0$ تصمیم جمع‌آوری کاملاً اقتصادی‌گرا برای همه مشتریان l به دست می‌آید. به طور مشابه، از طریق مقدار C_{ml}^u ، هر دو نگرش فشاری و کششی به بازار نهایی برای محصولات تعمیر شده/تولید دوباره شده را می‌توان مدل کرد. در مدل پیشنهادی اگر $\beta = 0$ باشد، سیستم به زنجیره تولید دوباره محصول، شبیه به مسئله بحث شده توسط [۴]، ساده می‌شود.

$$+ \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} C_{ml}^u d_{ml} U_{ml} + \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} C_{ml}^w r_{ml} W_{ml} \quad (1)$$

$$s.t. \quad \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} X_{mljk}^r r_{ml} = \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} X_{mklj}^f d_{ml} \quad \forall m \in M, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{mijl}^f + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} X_{mkjl}^f + U_{ml} = 1 \quad \forall m \in M, \forall l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left(\sum_{i \in I} X_{mljki}^r + \sum_{o \in O} X_{mljko}^r + X_{mljk}^r \right) + W_{ml} = 1, \quad \forall m \in M, \forall l \in L \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mljki}^r r_{ml} \leq \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} X_{mijl}^f d_{ml} \quad \forall m \in M, \forall i \in I \quad (5)$$

$$\gamma \left(X_{mljk}^r + \sum_{i \in I} X_{mljki}^r + \sum_{o \in O} X_{mljko}^r \right) \leq \sum_{o \in O} X_{mljko}^r \quad \forall m \in M, \forall l \in L, j \in J, k \in K \quad (6)$$

$$\beta \left(X_{mljk}^r + \sum_{i \in I} X_{mljki}^r + \sum_{o \in O} X_{mljko}^r \right) \geq X_{mljk}^r \quad \forall m \in M, \forall l \in L, j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} X_{mijl}^f d_{ml} \leq cap_i^p Y_i^p \quad \forall m \in M, \forall i \in I, \forall l \in L \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} X_{mijl}^f d_{ml} + \sum_{k \in K} X_{mkjl}^f d_{ml} \leq cap_j^d Y_j^d \quad \forall m \in M, \forall j \in J, \forall l \in L \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} X_{mljk}^r r_{ml} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} X_{mljki}^r r_{ml} + \sum_{j \in J} \sum_{o \in O} X_{mljko}^r r_{ml} \leq cap_k^r Y_k^r \quad \forall m \in M, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K} X_{mljk}^r r_{ml} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mljki}^r r_{ml} + \sum_{k \in K} \sum_{o \in O} X_{mljko}^r r_{ml} \leq cap_{lj}^d Y_{lj}^d \quad \forall m \in M, \forall j \in J, \forall l \in L \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{mljki}^r r_{ml} \leq cap_{ri}^p Y_i^p \quad \forall m \in M, \forall i \in I, \forall l \in L \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{mljko}^r r_{ml} \leq cap_o^x Y_o^x \quad \forall m \in M, \forall o \in O, \forall l \in L \quad (13)$$

$$0 \leq X_{mijl}^f, X_{mklj}^f, X_{mljki}^r, X_{mljk}^r, X_{mljko}^r, U_{ml}, W_{ml} \leq 1 \quad \forall m \in M, \forall i \in I, j \in J, l \in L, k \in K, o \in O \quad (14)$$

$$Y_i^p, Y_j^d, Y_k^r, Y_o^x \in \{0,1\} \quad \forall m \in M, \forall i \in I, j \in J, k \in K, s \in S, o \in O \quad (15)$$

عبارت (۱) تابع هدف مدل است که هزینه کل سیستم را کمینه می‌کند. چهار عبارت اول به ترتیب هزینه احداث کارخانه‌ها (i)، مراکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری (j)، مراکز CRC (k) و مراکز دفع (o) را بیان می‌کنند. پنجمین عبارت هزینه برآوردن تقاضا از کارخانه‌ها و ششمین عبارت هزینه برآوردن تقاضا از مرکز CRC را نشان می‌دهند. عبارت ۷، ۸ و ۹ که مربوط به گزینه‌های بازیابی محصولات برگشتی هستند، به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌های تعمیر، تولید دوباره و دفع هستند و در نهایت دو عبارت آخر به تقاضا و برگشتی برآورده نشده مربوط است.

محدودیت (۲) تضمین می‌کند که همه محصولات تعمیر شده برای برآوردن تقاضای مشتریان استفاده می‌شوند. محدودیت‌های (۳) و (۴) محدودیت‌های منطقی هستند که تضمین می‌کنند که همه تقاضای مشتریان و

طراحی شبکه با شرایط نبود قطعیت

همان طور که می‌دانیم نبود قطعیت در پارامترهای مدل طراحی شبکه، از عوامل مهمی است که باید هنگام طراحی مدل مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی نبود قطعیت در مورد پارامترهای مهمی همچون تقاضای مشتری، میزان و کیفیت برگشتی‌ها و برخی پارامترهای دیگر، بالا است. در این مقاله از یک روش مبتنی بر سناریو برای مدل کردن نبود قطعیت در مورد تقاضا و برگشتی استفاده می‌کنیم.

برای تبدیل مدل قطعی به مدل مبتنی بر سناریو، ابتدا مدل را به صورت زیر خلاصه می‌کنیم. فرض می‌کنیم که همه متغیرهای تصمیم باینری در بردار y و همه متغیرهای پیوسته توسط بردار x نمایش داده می‌شوند. f را بردار هزینه‌های ثابت احداث و C را بردار در برگیرنده سایر ضرایب هزینه باقیمانده در تابع هدف قرار می‌دهیم. ماتریس‌های $A_\theta, B_\theta, N_\theta$ ماتریس ضرایب محدودیت‌ها و a_θ نیز یک بردار است. نماد Θ را مجموع سناریوهای ممکن و θ را نشان‌دهنده یک سناریوی خاص قرار می‌دهیم. برای یک سناریوی خاص θ ، مدل خلاصه شبکه به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} \min & fy + c_\theta x \\ \text{s.t.} & A_\theta x \leq a_\theta \\ & N_\theta x = 0 \\ & B_\theta x \leq Cy \\ & y \in \{0,1\}, x \geq 0, \end{aligned}$$

اگر π_θ نشان‌دهنده احتمال سناریو θ باشد، آنگاه به این دلیل که θ (تعداد سناریوها) یک عدد معین و محدود است، امید ریاضی تابع به صورت مجموع جمع آن روی θ تعریف می‌شود و در نتیجه، مدل نبود قطعیت به صورت زیر فرموله می‌شود: (برای توضیح بیشتر به [۲۴] مراجعه کنید.)

$$\begin{aligned} \min & fy + \sum_{\theta} \pi_\theta c_\theta x \\ \text{s.t.} & A_\theta x_\theta \leq a_\theta \\ & N_\theta x_\theta = 0 \\ & B_\theta x_\theta \leq Cy \\ & y \in \{0,1\}, x_\theta \geq 0, \end{aligned}$$

با فرض اینکه تنها تقاضا و برگشتی مشتریان مبتنی بر سناریو بوده و باقی پارامترها در سناریوها مقادیر یکسانی دارند و تنها متغیرهای پیوسته در هر سناریو تغییر خواهد کرد، مدل شبکه لجستیک چندمحصولی

ظرفیت‌دار توسعه داده شده در بخش قبل را به صورت ذیل تعریف می‌کنیم:

مجموعه‌ها: علاوه بر مجموعه‌های تعریف‌شده در بخش قبل، مجموعه زیر به مدل اضافه می‌شود:

$$S = \{1, \dots, N_s\} \text{ مجموعه سناریوهای ممکن } S \in S$$

پارامترها: برخی از پارامترهای تعریف‌شده در بخش قبل به صورت زیر تغییر و سایر پارامترها همانند قبل تعریف میشوند:

$$d_{m|s}^l: \text{تقاضای محصول } m \text{ از جانب مشتری } l \text{ در سناریوی } s$$

$$r_{m|s}^l: \text{برگشتی‌های محصول } m \text{ از جانب مشتری } l \text{ در سناریوی } s$$

$$\pi_s: \text{احتمال سناریوی } s$$

متغیرها: همانند پارامترها، برخی متغیرهای تعریف‌شده در گذشته اصلاح می‌شوند و سایرین همانند قبل تعریف می‌شوند:

$X_{m|j|l}^f$: جریان پیشرو: درصدی از تقاضای محصول m از جانب مشتری l که از کارخانه i و مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری j برآورده می‌شود.

$X_{m|k|j|l}^f$: جریان پیشرو: درصدی از تقاضای محصول m از مشتری l که از مرکز CRC k و مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری j برآورده می‌شود.

$X_{m|l|j|k}^r$: جریان معکوس: درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند تعمیر شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری j به مرکز CRC k

$X_{m|l|j|k}^r$: جریان معکوس: درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند تولید دوباره شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری j و مرکز CRC k

به کارخانه i

$X_{m|l|j|k}^r$: جریان معکوس: درصدی از محصول برگشتی m از جانب مشتری l که می‌تواند دفع شود، برگشته از طریق مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری j و مرکز CRC k به مرکز دفع o

$U_{m|s}$: درصد تقاضای برآورده نشده محصول m مشتری l

$W_{m|s}$: درصد محصول جمع‌آوری نشده محصول m مشتری l

در این مدل احتمالات به سناریوها وابسته هستند، سناریو توصیفی از یک موقعیت بعدی است و مسیر رویدادهایی که یک موضوع از موقعیت اصلی به موقعیت بعدی حرکت می‌کند را ممکن می‌کند [۶]. احتمالات تخصیص داده شده به سناریوها، اهمیت هر سناریو را در یک محیط نامشخص نشان می‌دهد.

آزمایش‌های محاسباتی

برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، خلاصه‌ای از آزمایشات در این بخش ارائه شده و مسئله برای دو حالت شرح داده شده با نرم‌افزار LINGO.8 حل می‌شود:

حالت شبکه اولیه بدون در نظر گرفتن محدودیت‌ها

ابتدا وضعیتی مشابه با [۹] را در نظر می‌گیریم که در آن یک شبکه لجستیک یکپارچه، به همراه گزینه‌های بازیابی محصول و بدون محدودیت‌های ظرفیت، چندمحصولی و نبود قطعیت است و هدف، تعیین مکان کارخانه‌ها، مراکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری، مراکز CRC و مراکز دفع ضایعات و تخصیص جریان‌های محصولات با پارامترهای قطعی است. شبکه ۵ لایه‌ای متشکل از ۵ کارخانه، ۸ مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری، ۶ مرکز CRC، ۲ مرکز دفع ضایعات و ۱۴ خوشه مشتری در نظر گرفته می‌شود. جدول (۱) مقادیر پارامترهای مدل را به طور خلاصه بیان می‌کند. برای سادگی فرض می‌کنیم که همه هزینه‌های مربوطه، مستقل از مکان بوده و تقاضا و برگشتی برای هر خوشه مشتری به طور تصادفی و با استفاده از توزیع‌های یکنواخت، تولید شده‌اند. برای برآوردن همه تقاضای مشتریان و جمع‌آوری مجموع برگشتی‌ها از جانب آن‌ها، مقدار هزینه جریمه تقاضای برآورده نشده و برگشتی جمع‌آوری نشده را برابر با مقدار بسیار بزرگی قرار می‌دهیم. در اینجا نیز مانند [۹] حداقل درصد دفع γ ، بزرگ‌تر از حداکثر درصد تعمیر β فرض می‌شود، $\gamma < \beta$ ، بدان معنا است که کیفیت محصولات تعمیرشده تضمین می‌شود. بنابراین فرض می‌کنیم که $\gamma = 0.1$ ، یعنی $\beta = \gamma - 0.1$ است. به طور منطقی صرفه‌جویی در هزینه هر محصول به وسیله تعمیر از صرفه‌جویی در هزینه توسط تولید دوباره بیشتر است [۹]. نتایج حاصل از حل شبکه در شکل (۳) و جدول (۲) نشان داده می‌شود. (برای وضوح، جریان به سمت مشتریان رسم

در این حالت، مسئله طراحی شبکه لجستیک پیشرو/ معکوس یکپارچه با هدف کمینه‌سازی هزینه کل به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\begin{aligned} \min \sum_{i \in I} f_i^p Y_i^p + \sum_{j \in J} f_j^d Y_j^d + \sum_{k \in K} f_k^r Y_k^r + \sum_{o \in O} f_o^v Y_o^v \\ + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \pi_s C_{mijl}^f d_{mils} X_{mijls}^f \\ + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \pi_s C_{mkjl}^f d_{mils} X_{mkjls}^f \\ + \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \pi_s C_{mljk}^r r_{mls} X_{mljks}^r \\ + \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \pi_s C_{mljki}^r r_{mls} X_{mljki}^r \\ + \sum_{m \in M} \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{o \in O} \sum_{s \in S} \pi_s C_{mljko}^r r_{mls} X_{mljkos}^r \\ + \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \pi_s C_{ml}^u d_{mils} U_{mls} + \\ \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \pi_s C_{ml}^w r_{mls} W_{mls} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} s.t \\ \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} X_{mljks}^r r_{mls} = \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} X_{mkjls}^f d_{mils} \quad \forall m \in M, \forall k \in K, \forall s \in S \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{mijls}^f + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} X_{mkjls}^f + U_{mls} = 1 \quad \forall m \in M, \forall l \in L, \forall s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left(\sum_{i \in I} X_{mljki}^r + \sum_{o \in O} X_{mljkos}^r + X_{mljks}^r \right) + W_{mls} = 1 \quad \forall m \in M, \forall l \in L, \forall s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mljki}^r r_{mls} \leq \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} X_{mijls}^f d_{mils} \quad \forall m \in M, \forall i \in I, \forall s \in S \quad (5)$$

$$\gamma \left(X_{mljks}^r + \sum_{i \in I} X_{mljki}^r + \sum_{o \in O} X_{mljkos}^r \right) \leq \sum_{o \in O} X_{mljkos}^r \quad \forall m \in M, \forall l \in L, j \in J, k \in K, \forall s \in S \quad (6)$$

$$\beta \left(X_{mljks}^r + \sum_{i \in I} X_{mljki}^r + \sum_{o \in O} X_{mljkos}^r \right) \geq X_{mljks}^r \quad \forall m \in M, \forall l \in L, j \in J, k \in K, \forall s \in S \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} X_{mijls}^f d_{mils} \leq \text{cap}_i^p Y_i^p \quad \forall m \in M, \forall i \in I, \forall l \in L, \forall s \in S \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} X_{mijls}^f d_{mils} + \sum_{k \in K} X_{mkjls}^f d_{mils} \leq \text{cap}_j^d Y_j^d \quad \forall m \in M, \forall j \in J, \forall l \in L, \forall s \in S \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j \in J} X_{mljks}^r r_{mls} + \\ \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} X_{mljki}^r r_{mls} + \sum_{j \in J} \sum_{o \in O} X_{mljkos}^r r_{mls} \leq \\ \text{cap}_k^r Y_k^r \quad \forall m \in M, \forall k \in K, \forall l \in L, \forall s \in S \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \sum_{k \in K} X_{mljks}^r r_{mls} + \\ \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mljki}^r r_{mls} + \sum_{k \in K} \sum_{o \in O} X_{mljkos}^r r_{mls} \leq \\ \text{cap}_r^d Y_r^d \quad \forall m \in M, \forall j \in J, \forall l \in L, \forall s \in S \end{aligned} \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{mljki}^r r_{mls} \leq \text{cap}_{ri}^p Y_i^p \quad \forall m \in M, \forall i \in I, \forall l \in L, \forall s \in S \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{mljkos}^r r_{mls} \leq \text{cap}_o^x Y_o^x \quad \forall m \in M, \forall o \in O, \forall l \in L, \forall s \in S \quad (13)$$

$$0 \leq X_{mijls}^f, X_{mkjls}^f, X_{mljki}^r, X_{mljks}^r, X_{mljkos}^r, U_{mls}, W_{mls} \leq 1 \quad \forall m \in M, \forall i \in I, j \in J, l \in L, k \in K, o \in O, \forall s \in S \quad (14)$$

$$Y_i^p, Y_j^d, Y_k^r, Y_o^x \in \{0,1\} \quad \forall m \in M, \forall i \in I, j \in J, k \in K, o \in O \quad (15)$$

می‌شود، حل می‌کنیم. این حالت برای ۲ محصول اجرا می‌شود که مقدار تقاضا و برگشتی محصول اول مانند جدول (۱) بوده و مقادیر تقاضا و برگشتی برای محصول دوم در جدول (۳) ارایه می‌شود، برای سادگی باقی پارامترها مانند محصول یک در نظر گرفته شده است. همچنین ظرفیت‌های اعمال شده روی تسهیلات مختلف در جدول (۴) نشان داده شده است.

نتایج حاصل از حل این شبکه جدید، در جدول (۵) ارایه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، تعداد متغیرها و محدودیت‌ها نسبت به حالت قبل تقریباً ۲ برابر شده و زمان حل مسئله نیز افزایش یافته است. مقدار هزینه کل در این حالت برابر با $0.2208720E+10$ است.

جدول ۲: نتایج شبکه اولیه بدون در نظر گرفتن محدودیت‌ها

مدل	تعداد متغیرها	تعداد محدودیت‌ها	زمان اجرا (hh:mm:ss)	مقدار تابع هدف
بدون محدودیت	۶۶۵۷	۱۵۰۶۲	۰۰:۰۰:۰۵	$0.1340997E+10$

جدول ۳: مقدار تقاضا و برگشتی برای محصول دوم

اندازه مساله	شرح	پارامتر	مقدار
$I * J * K * L * O$	تقاضا	d_{mi}	$\sim unif[5000,15000]$
$2 * 14 * 6 * 8 * 5$	برگشتی	r_{mi}	$\sim unif[3000,8000]$

جدول ۴: محدودیت ظرفیت تسهیلات

مرکز	پارامتر	حداکثر ظرفیت
ظرفیت تولید در کارخانه	cap_i^p	۶۰۰۰۰
ظرفیت توزیع در مرکز ترکیبی توزیع-جمع-آوری	cap_j^d	۲۰۰۰۰
ظرفیت مرکز CRC	cap_k^r	۴۰۰۰۰
ظرفیت مرکز دفع	cap_o^x	۳۵۰۰۰
ظرفیت تولید مجدد در کارخانه	cap_{ri}^p	۳۰۰۰۰
ظرفیت جمع‌آوری در مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری	cap_{rj}^d	۱۰۰۰۰

جدول ۵: نتایج محاسبه شده برای شبکه چند محصولی

مدل	تعداد متغیرها	تعداد محدودیت‌ها	زمان اجرا (hh:mm:ss)	مقدار تابع هدف
ظرفیت-دار چند محصولی	۱۳۲۹۳	۳۰۲۶۳	۰۰:۰۰:۳۶	$0.2208720E+10$

در شکل (۳) وضعیت شبکه برای هر محصول به طور جداگانه ارائه می‌شود. درباره وضعیت کلی شبکه می‌توان دید که اعمال محدودیت‌های ظرفیت سبب احداث یک مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری اضافی می‌شود و تعداد

نمی‌شود. هر مشتری به نزدیک‌ترین مرکز توزیع تخصیص می‌یابد). نتایج بهینه نشان می‌دهد که شبکه لجستیکی متشکل از ۳ کارخانه، ۴ مرکز CRC، ۱ مرکز دفع و ۶ مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری برای خدمت‌دهی و برآوردن تقاضا و برگشتی همه مشتریان با مقدار هزینه کل برابر با $0.1340997E+10$ است.

جدول ۱: پارامترهای شبکه برای حالت اول

شرح	پارامتر	مقدار
هزینه ثابت هر کارخانه	f_i^p	۷۰۰۰۰
هزینه ثابت هر مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری	f_j^d	۱۲۰۰۰
هزینه ثابت هر مرکز CRC	f_k^r	۳۰۰۰۰
هزینه ثابت هر مرکز دفع	f_o^x	۱۰۰۰۰
هزینه حمل و نقل بر اساس فاصله بین مرکز و محصول کارخانه-مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری	c^{pd}	۴
مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری مشتری	c^{dc}	۷
مرکز CRC - مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری	c^{rd}	۴
مشتری - مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری	c^{cd}	۵
مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری - مرکز CRC	c^{dr}	۵
مرکز CRC - کارخانه	c^{rp}	۴
مرکز CRC - مرکز دفع ضایعات تقاضا برگشتی	c^{rx}	۳,۵
حداقل دفع ضایعات	d_{mi}	$\sim unif[9000,20000]$
حداکثر درصد تعمیر	r_{mi}	$\sim unif[7000,13000]$
هزینه صرفه‌جویی به ازای هر واحد محصول به خاطر تعمیر در مرکز بازبازی متمرکز	γ	۰,۴۰
هزینه صرفه‌جویی به ازای هر واحد محصول به خاطر تولید مجدد در مرکز تولید/تولید مجدد	β	۰,۳۰
هزینه دفع در مرکز دفع	CS_{rp}	۲۵
هزینه جریمه یک واحد محصول جمع‌آوری نشده	CS_{rm}	۱۸
هزینه جریمه یک واحد تقاضای جمع‌آوری نشده	C_o	۹
هزینه جریمه یک واحد تقاضای جمع‌آوری نشده	C_{mi}^w	M
برآورده نشده	C_{mi}^u	M

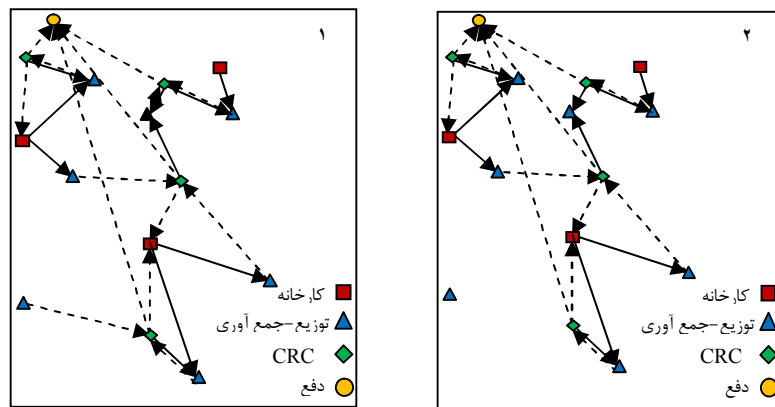
حالت شبکه چندمحصولی ظرفیت دار

در این حالت مسئله را برای یک شبکه لجستیکی یکپارچه پیشرو/معکوس چندمحصولی، چندلایه‌ای که در آن محدودیت‌های ظرفیت برای کارخانه‌ها، مراکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری، مراکز CRC و مراکز دفع ضایعات اعمال

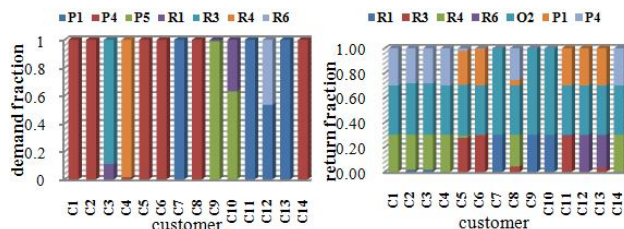
توسط کارخانه P₄ تأمین می‌شود، در حالی که تقاضای مشتری C₃، توسط دو CRC مختلف تأمین شده است: ۱۱٪ توسط R₁ و ۸۹٪ توسط R₃ و تقاضای مشتری C₁₀، هم توسط کارخانه و هم CRC تأمین شده است: ۶۳٪ توسط کارخانه P₅ ۳۷٪ توسط R₃. با توجه به نمودار برگشتی‌ها، برای مشتری C₁، ۳۰٪ برگشتی‌ها به CRC واقع در R₄ برای تعمیر، ۳۰٪ به کارخانه P₄ برای تولید دوباره و ۴۰٪ به مرکز O₂ برای دفع ارسال می‌شود، در حالی که برای مشتری C₉، ۳۰٪ برگشتی‌ها به R₁ برای تعمیر و ۷۰٪ دفع می‌شوند و هیچ برگشتی برای تولید دوباره باقی نمی‌ماند. از روی نمودارهای ارائه شده می‌توان مشاهده کرد که هیچ یک از برگشتی‌های محصول ۱ و ۲ برای تولید دوباره به کارخانه P₅ باز نمی‌گردند. در بخش بعدی برای بررسی تأثیر پارامترهای γ و β روی مقدار تابع هدف، چند حالت را در نظر می‌گیریم.

سایر مراکز مانند قبل باقی می‌ماند. آنچه نتیجه گرفته می‌شود این است که محدودیت‌های ذخیره سازی/تولید بر طراحی بهینه شبکه لجستیک اثر می‌گذارد. در مورد محصول ۱ و ۲ همه تقاضا و برگشتی‌های مشتریان برآورده شده است، اما در شبکه محصول ۲ مشاهده می‌شود که یک مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری مازاد است، زیرا که هیچ پیوندی بین آن مرکز و سایر مراکز وجود ندارد. در صورتی که در شبکه محصول ۱، همان مرکز ترکیبی برگشتی‌های مشتریان را جمع‌آوری کرده و به مرکز CRC ارسال می‌کند. (باید یادآور شد که یک ساختار سراسری برای هر دو محصول ایجاد می‌شود و توزیع به طور همزمان برای هر دو محصول انجام می‌گیرد.)

شکل (۴)، نمودار درصدهای تقاضای مشتریان و برگشتی‌های خدمت‌دهی شده توسط کارخانه‌ها و CRC ها برای محصول ۱ را نشان می‌دهند. به عنوان مثال، مشتری‌های C₁ و C₂، تقاضای‌شان برای محصول ۱ همگی

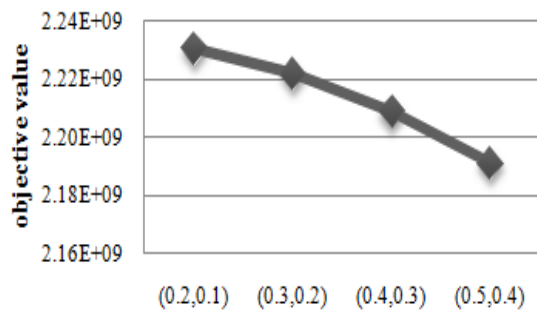


شکل ۳: شبکه لجستیک بهینه برای محصول ۱ و ۲



شکل ۴: تقاضای و برگشتی مشتریان برای محصول ۱

تجزیه و تحلیل پارامتری



شکل ۵: مقادیر تابع هدف برای مقادیر مختلف (gamma, beta)

در اینجا ۴ حالت برای مقادیر (γ, β) با توجه به فرض $\gamma = \beta + 0.1$ در نظر می‌گیریم: $(0.3, 0.2)$ ، $(0.4, 0.3)$ ، $(0.2, 0.1)$ ، $(0.5, 0.4)$. شکل (۵) مقادیر تابع هدف برای حالات مختلف γ و β را نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که مقدار تابع هدف با افزایش γ و β کاهش می‌یابد، زیرا صرفه‌جویی حاصل از تعمیر در هزینه‌ها از صرفه‌جویی به خاطر تولید دوباره بیشتر است. بنابراین تصمیم‌گیران اگر بتوانند کیفیت محصولات تعمیرشده را تضمین کنند، می‌توانند محصولات برگشتی را، برای برآوردن تقاضای مشتریان، تا حد ممکن تعمیر کنند. کاهش مقدار تابع هدف می‌تواند به واسطه بروز برخی عوامل مانند کاهش درصد تولید دوباره، کاهش در هزینه ثابت احداث یک کارخانه و... باشد.

جدول ۷: شبکه چندمحصولی ظرفیت‌دار با شرایط نبود قطعی

تعداد کل متغیرها	تعداد محدودیتها	زمان اجرا	مدل	مقدار تابع هدف
۳۹۸۳۷	۹۰۷۸۷	00:12:56	مبتنی بر سناریو	0.1942884E+10

حالت شبکه چندمحصولی، ظرفیت‌دار و با شرایط نبود قطعی

برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، ۲ محصول پیشین به همراه محدودیت‌های ظرفیت دوباره در نظر گرفته می‌شوند و ۳ سناریو برای هر محصول پیشنهاد می‌شود. سناریوها برای تقاضا و برگشتی در جدول (۶) ارائه شده است و برای سناریوی ۱ از داده‌های دو محصول در قسمت قبل استفاده می‌کنیم. برای هر سناریو یک مقدار احتمالی در نظر گرفته می‌شود. از نتایج محاسبه‌شده در جدول (۷) مشاهده می‌شود که اندازه مدل و زمان اجرا به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. مقادیر تابع هدف و مقدار بهینه متغیرهای تصمیم برای هر سناریو در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸: نتایج محاسبه شده برای هر سناریو

مقدار بهینه متغیرهای تصمیم	مقدار تابع هدف	$\frac{z_1}{z_2}$	$\frac{z_2}{z_3}$	$\frac{z_3}{z_1}$
$Y_1^p = [1,0,0,1,1], Y_1^c = [1,0,1,1,0,1]$ $Y_2^p = [1,1,1,1,1,0], Y_2^c = [0,1]$	0.2213949E+09	0.1	1	1
$Y_1^p = [1,1,0,1,1], Y_1^c = [1,0,1,1,0,1]$ $Y_2^p = [1,1,1,1,1,1], Y_2^c = [0,1]$	0.1419464E+10	0.75	2	2
$Y_1^p = [1,0,0,1,1], Y_1^c = [1,0,1,1,0,1]$ $Y_2^p = [1,1,1,1,1,0], Y_2^c = [0,1]$	0.3031869E+09	0.15	3	3

مقدار تابع هدف در حالت ۲ بسیار بالاتر از دو سناریوی دیگر است و این افزایش با توجه به مقادیر بهینه به دست آمده برای متغیرهای تصمیم در سناریوی ۲ به دلیل هزینه ثابت احداث یک کارخانه و یک مرکز ترکیبی توزیع-جمع‌آوری است.

شکل (۶) شبکه‌های لجستیکی ایجادشده برای محصول ۱ در سناریوهای مختلف را با رسم نقاط مشتریان نشان می‌دهد. نمودار درصد برگشتی و تقاضای مشتریان که توسط کارخانه‌ها و مراکز CRC مختلف تأمین می‌شوند نیز برای محصول ۲ و در سه سناریو، در شکل (۷) ارائه شده‌اند. از نمودارها می‌توان دریافت که همه مشتریان خدمت‌دهی می‌شوند و همچنین تقاضا و برگشتی به طور ۱۰۰٪ برآورده و جمع‌آوری می‌شوند.

جدول ۶: سناریو تقاضا و برگشتی محصولات و احتمال آنها

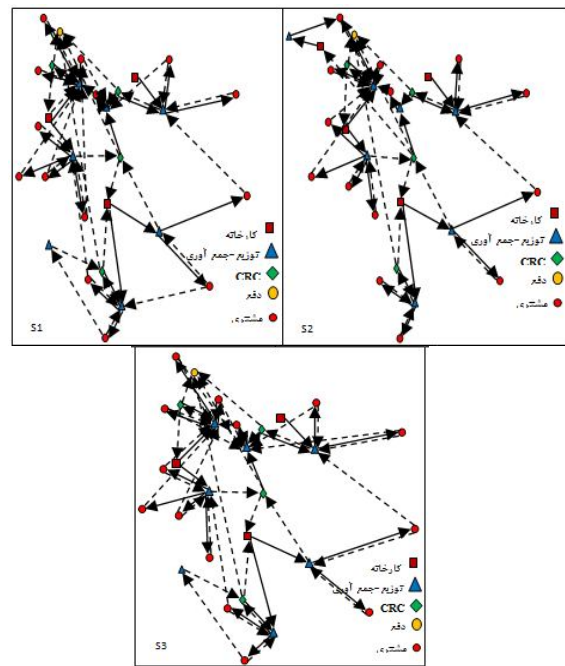
$\frac{z_1}{z_2}$	$\frac{z_2}{z_3}$	برگشتی	تقاضا	$\frac{z_1}{z_3}$	$\frac{z_3}{z_1}$
0.1	~unif[7000,13000]	~unif[9000,20000]	1	1	1
0.75	~unif[500,8000]	~unif[1000,10000]	2	2	2
0.15	~unif[5000,15000]	~unif[15000,20000]	3	3	3
0.1	~unif[3000,8000]	~unif[5000,15000]	1	2	2
0.75	~unif[6000,11000]	~unif[15000,25000]	2	2	2
0.15	~unif[2000,6000]	~unif[5000,7000]	3	3	3

شود. در مورد برگشتی‌ها، نتایج نشان دادند که حل برای هر سه سناریو چندان متفاوت نیست و به استثنای مشتریان C₃، C₄، C₅ و C₁₄، که برگشت آنها توسط کارخانه‌های متفاوتی انجام می‌شود، حل‌های یکسانی برای سایر مشتریان به دست می‌آید.

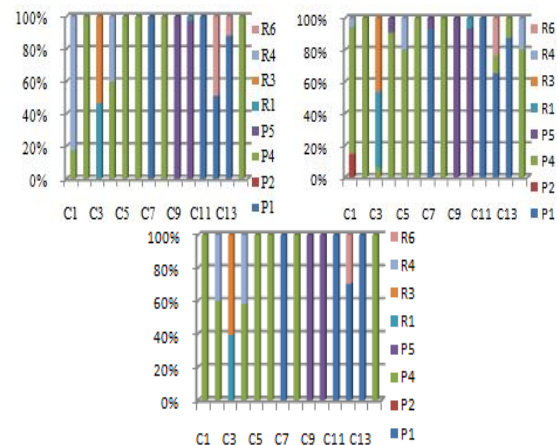
نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیتی که لجستیک معکوس در سال‌های اخیر، هم از محیط‌های صنعتی و هم علمی دریافت کرده است، طراحی شبکه لجستیکی بهینه برای بازیابی ارزش از محصولات برگشتی بسیار مهم است. در این تحقیق یک مدل برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه پیشرو/معکوس پیشنهاد می‌شود. مدل ارائه شده برای جلوگیری از زیر بهینگی ناشی از طراحی ترتیبی شبکه‌های پیشرو و معکوس، تصمیمات طراحی شبکه لجستیکی را به طور یکپارچه ممکن می‌کند. همچنین در این مدل، از تسهیل ترکیبی توزیع- جمع‌آوری استفاده شده که به دلیل به اشتراک‌گذاری تجهیزات جابه‌جایی، زیربناها و نیروی انسانی سبب صرفه جویی‌های هزینه‌ای و کاهش آلودگی می‌شود.

با توجه به اینکه گزینه‌های بازیابی محصول، انواع مختلفی دارند، اما ادبیات نشان می‌دهد که اکثر تحقیقات پیشین فقط یک گزینه (گزینه تولید مجدد) را در نظر گرفته‌اند و تعداد اندکی هم که به طور همزمان به گزینه‌های بیشتری پرداخته‌اند، فقط طراحی شبکه لجستیک معکوس را بدون توجه به شبکه لجستیکی پیشرو مد نظر قرار داده‌اند. مدل پیشنهادی ما شامل سه گزینه بازیابی یعنی تولید دوباره، تعمیر و دفع ضایعات به طور همزمان بوده که با اعمال محدودیت ظرفیت مراکز، می‌تواند یک شبکه لجستیکی بهینه را با توجه به نبود قطعیت در داده‌ها برای هر تعداد محصول و در کمترین مقدار هزینه طراحی کند. این تحقیق نشان می‌دهد که در نظر گرفتن گزینه‌های بازیابی به طور همزمان در شبکه لجستیک معکوس، می‌تواند بر ساختار شبکه تأثیرگذار باشد، درصد‌های مختلف تعمیر، تولید دوباره و دفع نیز بر هزینه شبکه تأثیر می‌گذارند، به طوری که با افزایش درصد تعمیر، به دلیل کاهش درصد تولید دوباره و کاهش در احداث کارخانه‌ها، هزینه نیز کاهش می‌یابد، بنابراین اگر بتوان با کسب اطلاعات در مورد محصولات برگشتی و



شکل ۶: شبکه‌های لجستیکی محصول ۱ در سناریوهای ۱، ۲ و ۳



شکل ۷: تقاضا برای محصول ۲، در سناریو ۱، ۲ و ۳

با بررسی شکل (۷) می‌توان دید که به طور مثال تقاضای مشتری C₁، به طور متفاوتی در هر سه سناریو برآورده می‌شود. بدین ترتیب که در سناریوی ۱، حدود ۸۲٪ تقاضا توسط مرکز CRC، R₄ و باقی آن توسط کارخانه P₄، در سناریوی ۲، حدود ۱۵٪ توسط کارخانه P₂، ۸۰٪ توسط کارخانه P₁ و ۵٪ آن توسط مرکز CRC، R₄ و در نهایت در سناریوی ۳، کل تقاضا به طور کامل توسط کارخانه P₄ برآورده می‌شود. اما مثلاً برای مشتری C₈، تقاضا در هر سه سناریو توسط کارخانه P₅ برآورده می‌-

تحت تأثیر مقدار تقاضا و برگشتی و همچنین درصدهای تعمیر، تولید دوباره و دفع برای یک ظرفیت معین از شبکه است، اما همچنان که اندازه مسئله بزرگ می‌شود، حجم محاسباتی نیز بیشتر می‌شود و زمان اجرا چندان رضایت‌بخش نیست، حل مسایل پیچیده در زمان کوتاه با استفاده از روش‌های هیوریستیکی ممکن است و این می‌تواند کار تحقیقی بعدی در این زمینه باشد. همچنین مدل پیشنهادی دوره‌های مختلف زمانی را نیز در نظر نمی‌گیرد.

اتخاذ تصمیم مناسب در مورد انتخاب گزینه بازیابی، آنها را تا حد ممکن تعمیر کرده و از دفع نا به جا، دمونتاژ و تولید دوباره آنها اجتناب کرد، می‌توان هزینه‌های شبکه لجستیکی را کاهش داد. تحقیق نشان می‌دهد که اعمال محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی/تولید بر طراحی شبکه لجستیک بهینه اثر می‌گذارد. در اینجا برای پرداختن به نبود قطعیت، هم در تقاضای محصول و هم در برگشتی محصول، از رویکرد مبتنی بر سناریو استفاده شده است. مدل پیشنهاد شده نشان می‌دهد که کل هزینه شبکه،

مراجع

- 1 - Mutha, A. and Pokharel, Sh. (2009). "Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules." *Computers & Industrial Engineering*, Vol.56, PP.334-346.
- 2 - Cruz-Rivera, R. and Ertel, J. (2009). "Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico." *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, PP. 930-939.
- 3 - Kannan, G. (2009). "Fuzzy approach for the selection of third party reverse logistics provider." *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, Vol. 21, No. 3. PP. 397-416.
- 4 - Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, JM. and Wassenhove, L. (2001). "The impact of product recovery on logistics network design." *Production and Operations Management*, Vol. 10, No. 2, PP. 156-173.
- 5 - Bernon, M. and Cullen, J. (2007). "An integrated approach to managing reverse logistics." *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 10. PP. 41-56.
- 6 - Pishvaei, M.S., Jolai, F. and Razmi, J. (2009). "A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design." *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 28, PP. 107-114.
- 7 - Lee, D.H. and Dong, M. (2008). "A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery." *Transportation Research E*, Vol. 44, PP. 455-474.
- 8 - Wadhwa, S., Madaan, J. and Chan, F.T.S. (2009). "Flexible decision modeling of reverse logistics system: A value adding MCDM approach for alternative selection." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol.25, PP. 460-469.
- 9 - Zhou, Y. and Wang, Sh. (2008). "Generic Model of Reverse Logistics Network Design." *Journal of Transportation Systems Engineering And Information Technology*, Vol. 8, No.3, PP. 71-78.
- 10 - Kannan, G., Pokharel, Sh. and Kumar, P.S. (2009). "A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider." *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 54, PP. 28-36.
- 11 - Sepehri and Jafarie, (2003). "A solution to timely supply of required components of production systems by using mathematical model and Ant algorithm." *Journal of Faculty of Engineering*, University of Tehran, JFE, Vol. 38, No. 1, 2003, PP. 145-160.
- 12 - Pokharel, S. and Mutha A. (2009). "Perspectives in reverse logistics: a review." *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 53, No. 4, PP. 175-182.

- 13 - Farahani, Z. and Pishvae, M.S., (2008). "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design." *Journal of Faculty of Engineering*, University of Tehran, JFE, Vol. 42, No.7, 2008.
- 14 - Tarokh, M.J., Naseri, (2011). "Minimize costs of multi-level supply chains by Genetic algorithm and hybrid approach." *Journal of Industrial Engineering*, University of Tehran, Vol. 46, No. 1, 2011, PP. 15-26.
- 15 - Salema, MIG., Barbosa-Povoa, AP. and Novais, AQ. (2007). "An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network, with uncertainty." *European Journal of Operational Research*, Vol. 179(3), PP. 1063–1077.
- 16 - Srivastava, S.K. (2008). "Network design for reverse logistics." *Omega-International Journal of Management Science*, Vol. 36, PP. 535-548.
- 17 - Min, H., Ko, H.J. and Ko, C.S. (2006a). "A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns." *Omega*, Vol. 34, PP. 5–69.
- 18 - Lee, J.E., Gen, M. and Rhee K.G. (2009). "Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm." *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 56, PP. 951-964.
- 19 - Kara, S., Rugrungruang, F. and Kaebnick H. (2007). "Simulation modelling of reverse logistics networks." *International Journal of Production Economics*, Vol. 106, PP. 61–69.
- 20 - Lieckens, K. and Vandaele N. (2007). "Reverse logistics network design with stochastic lead times." *Computers & Operations Research*, Vol.34, PP. 395–416.
- 21 - Qin, Zh. and Ji X. (2009). "Logistics network design for product recovery in fuzzy environment." *European Journal of Operational Research*, Vol. 202, PP. 479-490.
- 22 - El-Sayed, M., Afia, N. and El-Kharbotly A. (2010). "A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk." *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, PP. 423_31.
- 23 - Pishvae, M.S., Farahani, R.Z. and Dullaert, W. (2010). "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design." *Computers & Operations Research*, Vol. 37, PP. 1100–1112.
- 24 - Birge, JR. and Louveaux, F. (1997). "Introduction to stochastic programming." *Springer series in operations research*, New York: Springer-Verlag.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Reuse
- 2- Repair
- 3 – Recycling
- 4 – Remanufacturing
- 5 – Disposal
- 6 - Forward Logistics
- 7 – Integrated
- 8 – Uncertainty
- 9 – Refurbishing
- 10 – Cannibalizing
- 11 – Resail
- 12 – Mixed Integer Linear Programming
- 13- Modularity
- 14- Genetic Algorithm
- 15- Mixed Integer Non Linear Programming
- 16- Simulated Annealing
- 17- Central Recovery Centers