مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۱-۳۵، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۱۳۹-۱۵۲

Original Article

طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین به‌منظور ایجاد قابلیت تاب‌آوری با معرفی راهبرد تشکیل اتحادیه

محمدیاوری * **(استادیار)**
محسن عاقلان (دانشجوی کارشناسی ارشد)
گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور جزء تصمیمات راهبردی زنجیره‌ی تأمین است. تحقیقات گذشته در حوزه‌ی تاب‌آوری بر طراحی شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین جدید تمرکز داشته‌اند. این تحقیق برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین موجود، به طراحی مجدد شبکه پرداخته است. یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای این مسئله توسعه داده شده است. به‌منظور ایجاد قابلیت تاب‌آوری در زنجیره‌ی تأمین، دو راهبرد کاهش ریسک اختلال موجود پرکاربرد با عنوان «ظرفیت مازاد» و «ذخیره‌ی اضطراری» به‌همراه راهبرد جدید «تشکیل اتحادیه» در سناریوهای مختلف اختلال بررسی شده است. آزمایش‌های محاسباتی به‌منظور ارزیابی میزان کارایی مدل تاب‌آور و همچنین مقایسه‌ی راهبردهای مختلف کاهش ریسک اختلال انجام شده است. نتایج حاکی از آن است که عرضه‌ی محصول و سود زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور به ترتیب ۱۳ و ۹ درصد بیشتر از زنجیره‌ی غیرتاب‌آور است. همچنین راهبرد تشکیل اتحادیه در بهبود عرضه‌ی محصول زنجیره‌ی تأمین، تأثیر بیشتری از دو راهبرد دیگر دارد.

واژگان کلیدی: طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، اختلال، قابلیت تاب‌آوری، راهبرد کاهش ریسک اختلال، راهبرد تشکیل اتحادیه.

m.yavari@qom.ac.ir
mohsenaghelan@yahoo.com

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر محیط کسب‌وکار به‌سرعت در حال تغییر بوده است. عوامل مختلفی نظیر تغییر تقاضای مشتری، روند بازار، افزایش رقابت و قابلیت‌های نوظهور تأثیرگذار بر طراحی شبکه، شرکت‌ها را وادار به طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین خود کرده است. طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین اقدام مهمی برای ایجاد قابلیت‌های ناموجود در زنجیره، مقابله با محیط در حال تغییر، کاهش هزینه‌ی عملیاتی و بهبود خدمات به مشتریان است.[۱] محققان معتقد هستند، طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین موجب کاهش ۵ الی ۱۵ درصدی هزینه‌های آمادی (لجستیکی) می‌شود.[۲] بعضی از پژوهشگران در تحقیقات خود در زمینه‌ی طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، علاوه‌بر کاهش هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین اهداف دیگری نظیر کاهش اثرات زیست‌محیطی، ایجاد توانایی‌های جدید در شبکه، افزایش سطح خدمت‌رسانی به مشتریان و ... را بررسی کرده‌اند. از سوی دیگر زنجیره‌های تأمین با توجه به برون‌سپاری فعالیت‌های متعدد، جهانی شدن تجارت، شبکه‌ی طولانی با پراکندگی جغرافیایی و پیچیدگی، در معرض حوادث و اختلالات هستند. مدل‌های طراحی زنجیره‌ی تأمین سنتی معمولاً احتمال به وجود آمدن اختلال را در هنگام طراحی شبکه لحاظ نکرده‌اند. در حالی‌که در جهان واقعی، تسهیلات همیشه آسیب‌پذیر هستند و انواع مختلف اختلالات به علت بلایای طبیعی، اعتصاب، تغییر مالکیت و عوامل دیگر به وجود می‌آید.[۳] برای مقابله با اختلالات زنجیره‌های تأمین باید طرح و برنامه داشت و از آمادگی اولیه برخوردار بود. عدم واکنش مناسب و بهنگام زنجیره‌ی تأمین در مواجهه با اختلال، موجب کاهش سطح فعالیت زنجیره‌ی تأمین و در نتیجه کاهش سطح خدمت‌رسانی می‌شود. در پیشینه‌ی موضوع، برای واکنش مناسب هنگام مواجهه با حوادث نامطلوب برای حفظ سطح فعالیت زنجیره‌ی تأمین، به راهکاری با عنوان «زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور» اشاره شده است.[۴] قابلیت تاب‌آوری به توانایی مقاومت زنجیره‌ی تأمین در برابر اختلالات، بازیابی عملیات پس از اختلال و بازگشت به سطح عملکرد طبیعی زنجیره‌ی تأمین اشاره دارد. سؤال اصلی این تحقیق این است که شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین موجود چگونه طراحی مجدد شود تا در مواجهه با حوادث نامطلوب واکنش مناسب نشان دهد. با وجود اهمیت ایجاد قابلیت تاب‌آوری در شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین موجود، بخش بزرگی از پژوهش‌های زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور بر روی طراحی شبکه‌های جدید تمرکز داشته‌اند و از طراحی مجدد شبکه‌های موجود غافل شده‌اند. با توجه به جدید بودن مفهوم قابلیت تاب‌آوری، بسیاری از

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۲/۲۲، اصلاحیه ۱۳۹۷/۵/۶، پذیرش ۱۳۹۷/۶/۲۶.
DOI:10.24200/J65.2018.50645.1860

شبکه‌ها ملاحظات لازم برای ایجاد این قابلیت تاب‌آوری را هنگام طراحی شبکه مدنظر قرار نداده‌اند. انگیزه‌ی اصلی از انجام این تحقیق طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین موجود برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری و همچنین پیشنهاد یک راهبرد جدید برای قابلیت تاب‌آوری و مقایسه با سایر راهبردهای کاهش ریسک اختلال است.

به این منظور راهبردهای معروف ذکر شده در پیشینه ازجمله ظرفیت مازاد و ذخیره‌ی اضطراری به همراه راهبرد جدید تشکیل اتحادیه برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری زنجیره ارزیابی می‌شود. برخی از سؤالات اصلی این پژوهش عبارت‌اند از: چگونه می‌توان هنگام طراحی مجدد، قابلیت تاب‌آوری ایجاد کرد؟ چگونه می‌توان با تشکیل اتحادیه برای تسهیلات، قابلیت تاب‌آوری ایجاد کرد؟ تأثیر هر یک از راهبردهای کاهش ریسک اختلال استفاده شده بر مقدار سود و قابلیت عرضه محصولات به چه میزان است؟ در قسمت طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین سه وضعیت برای تسهیلات در نظرگرفته شده است: ۱. افتتاح تسهیلات بالقوه، ۲. بستن تسهیلات موجود و ۳. تعدیل سطح ظرفیت تسهیلات موجود. راهبردهای استفاده شده برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری شامل ظرفیت مازاد، ذخیره‌ی اضطراری (که در پیشینه‌ی موضوع به کار گرفته شده است) و تشکیل اتحادیه (که به‌عنوان یک راهبرد جدید مطرح می‌شود)، است. نتایج نشان می‌دهد ایجاد قابلیت تاب‌آوری در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین موجب بهبود سطح خدمت‌رسانی به مشتریان و افزایش سود زنجیره‌ی تأمین می‌شود.

ساختار مقاله‌ی حاضر بدین ترتیب است که در بخش ۲، به‌مرور کلی تحقیقات انجام شده‌ی مرتبط پرداخته می‌شود. در بخش ۳، شرح مسئله توصیف و مدل ریاضی ارائه می‌شود. در بخش۴، پیاده‌سازی و ارزیابی مسئله بر اساس داده‌ها، مورد بحث قرار می‌گیرد. سرانجام در بخش ۵، نتایج این تحقیق بیان می‌شود.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

در این بخش در ابتدا تحقیقات صورت‌گرفته در دو حوزه‌ی طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین و مدل‌سازی قابلیت تاب‌آوری زنجیره‌ی تأمین بررسی می‌شود. سپس شکاف تحقیقاتی در این دو حوزه و نوآوری‌های این تحقیق بیان می‌شود. امروزه مدل‌های طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین در حوزه‌های کاربردی مختلف و با اهداف مختلف، به‌صورت گسترده‌یی توسعه یافته‌اند. یکی از اهداف اصلی طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تناسب با محیط کسب‌وکار است که به سرعت در حال تغییر است. ملاچرینودیس و مین[۵] برای انطباق با تغییرات محیط کسب‌وکار، به مکان‌یابی مجدد تسهیلات زنجیره‌ی تأمین پرداختند. آن‌ها یک مدل چندهدفه، با اهداف بیشینه کردن سود کل در طول افق برنامه‌ریزی، کمینه کردن کل زمان دسترسی (زمان حمل‌ونقل محصولات بین رده‌های مختلف زنجیره‌ی تأمین) و بیشینه کردن انگیزه‌های محلی به وجود آمده از افتتاح تسهیلات در طول افق برنامه‌ریزی، ارائه دادند. آن‌ها همچنین در پژوهشی دیگر،[۶] یک مدل برنامه‌ریزی تک‌هدفه و تک‌دوره‌یی برای مسئله‌ی طراحی مجدد شبکه‌ی انبارها، تحت محدودیت ظرفیت انبارها ارائه دادند. بینگ و همکاران[۷] بر روی طراحی مجدد یک زنجیره‌ی تأمین معکوس جهانی[۱]، با هدف کاهش هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی و جلوگیری از گسترش آلاینده‌ها تمرکز کرد. وی از طریق مکان‌یابی مجدد کارخانه‌های بازفرآوری زباله‌ها در اروپا و چین، بر اساس طرح تجارت انتشار به‌عنوان ابزاری برای کنترل انتشار گازهای گل‌خانه‌یی به بازطراحی شبکه‌ی موجود پرداخت. یکی دیگر از انگیزه‌های پروژه‌های طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، استفاده از مزایای مالی و مالیاتی ارائه شده توسط برخی کشورهاست. حمامی و فرین[۸] یک مدل بهینه‌سازی ریاضی چندمحصولی را برای طراحی مجدد زنجیره‌ی تأمین در افق برنامه‌ریزی چنددوره‌یی در چارچوب جهانی توسعه داده‌اند. هدف آن‌ها بیشینه کردن درآمد پس از مالیات برای تمام سایت‌های یک شرکت جهانی در افق برنامه‌ریزی، از طریق باز و بسته شدن سایت‌ها، مکان‌یابی تسهیلات تولیدی، جابه‌جایی ظرفیت و انتخاب تأمین‌کنندگان خارجی است. پاز و همکاران[۹] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تحت شرایط عدم قطعیت در تقاضای مشتریان را برای طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین ارائه دادند. هدف آن‌ها بیشینه کردن سود قبل از مالیات و استهلاک از طریق بستن یا تنظیم ظرفیت برخی رده‌های شبکه و تصمیم‌گیری مربوط به کانال‌های توزیع مورد استفاده برای حمل‌ونقل محصولات بوده است. لاندین[۱۰] یک مدل بهینه‌سازی ریاضی برای بازطراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین پول با هدف کاهش حمل‌ونقل‌ها و تجهیزات ذخیره‌سازی بانک مرکزی در افق برنامه‌ریزی چنددوره‌یی ارائه کرد. ملو و همکاران[۱۱] یک روش ابتکاری کارآمد برای مسئله‌ی طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین چندمحصولی با هدف کاهش هزینه‌های شبکه ارائه دادند. همچنین آن‌ها در پژوهشی دیگر[۱۲] از رویکرد ابتکاری جستجوی ممنوع برای حل مسئله‌ی طراحی مجدد استفاده کردند. هدف آن‌ها از بازطراحی، کاهش هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین در طول افق برنامه‌ریزی از طریق تصمیم‌گیری در خصوص جابه‌جایی امکانات موجود به سایت‌های جدید، سطح موجودی در انبارها، و جریان کالاها در بین رده‌های مختلف شبکه بوده است. رزمی و همکاران[۱۳] یک مدل بهینه‌سازی تصادفی دوهدفه برای بازطراحی شبکه‌ی انبارها با تمرکز بر قابلیت اطمینان شبکه ارائه دادند. هدف آن‌ها، کمینه کردن هزینه‌های شبکه و بیشینه کردن درصد پوشش تقاضای مشتریان با توجه به ارجحیت در زمان تحویل بوده است. ژو و همکاران[۱] برای هماهنگی با تغییرات محیط کسب‌وکار یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند. هدف آن‌ها کمینه کردن هزینه‌ی تعدیل تسهیلات و هزینه‌های بهره‌برداری از شبکه و بیشینه کردن سطح خدمات‌رسانی به مشتریان بوده است. آن‌ها برای بازطراحی شبکه‌ی موجود، تصمیم‌گیری در خصوص مکان‌یابی تسهیلات جدید و بستن یا تغییر ظرفیت تسهیلات موجود را بررسی کردند. خاتمی و همکاران[۱۴] یک مدل بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط تصادفی را برای ایجاد یک زنجیره‌ی تأمین معکوس در کنار یک زنجیره‌ی تأمین روبه‌جلوی موجود، همراه با طراحی مجدد زنجیره‌ی روبه جلو ارائه دادند. آن‌ها شرایط عدم قطعیت در میزان تقاضای محصولات و محصولات برگشتی را بررسی کردند.

به طورکلی، زنجیره‌های تأمین با دو نوع ریسک مواجه هستند: ریسک عملیاتی و ریسک ناشی از اختلال.[۱۵] ریسک‌های عملیاتی ناشی از وقفه‌های ذاتی در زنجیره‌های تأمین است. نوسانات در تقاضای مشتری، در ظرفیت زنجیره‌ی تأمین و در هزینه‌های خرید، نمونه‌هایی از ریسک‌های عملیاتی هستند. ریسک ناشی از اختلال موجب می‌شود تسهیلات، به دلایلی مانند سیل، ورشکستگی، آتش‌سوزی، اعتصاب، زمین‌لرزه و غیره، از دسترس خارج شوند.[۱۶و۱۷] احتمال وقوع ریسک‌های اختلال بسیار کم است اما تأثیرات آنها بسیار زیاد است که در قالب سناریوهای مختلف اختلال مدل‌سازی می‌شوند. مدیریت اختلال و وقفه با توجه به چالش‌های رقابتی که پس از وقوع حوادث نامطلوب ایجاد می‌شود، به‌کارگیری قابلیت تاب‌آوری برای مقابله با این حوادث را حتمی می‌کند. امروزه پژوهش‌های متعددی در حوزه‌ی کمّی‌سازی قابلیت تاب‌آوری صورت گرفته است. اسنایدر و همکاران[۱۸] برای برنامه‌ریزی اختلالات در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین یک مدل بهینه‌سازی تک‌هدفه ارائه دادند. آن‌ها به‌منظور مقابله با اختلال راهبرد تسهیل اضطراری را، که امکان خرابی آن صفر است و صرفاً در شرایط اختلال مورد استفاده قرار می‌گیرد، بررسی کردند. هو و همکاران[۱۹]

یک چارچوب مدل‌سازی برای توصیف قابلیت تاب‌آوری یک شرکت تولیدی، برای پاسخ‌دهی به رویدادهای مخرب ارائه کردند. آن‌ها برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری دو راهبرد افزونگی عملیات و افزونگی موجودی را معرفی کردند. افزونگی عملیات موجب می‌شود مجموعه‌یی از عملیات که با منابع در دسترس متفاوت محصولات نهایی یکسانی تولید می‌کنند، در دسترس باشد. افزونگی موجودی موجب می‌شود، برای مقاومت در برابر اختلال موجودی به اندازه‌ی کافی در سیستم وجود داشته باشد. راتیک و همکاران[۲۰] با استفاده از ساخت تسهیلات ذخیره‌سازی اضطراری درصدد بهبود قابلیت تاب‌آوری شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین بودند. آن‌ها بر این راهبرد به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای کمک به شرکت‌ها در بهبود قابلیت تاب‌آوری زنجیره‌ی تأمین تأکید کردند. آریانژاد و همکاران[۲۱] یک مسئله‌ی طراحی زنجیره‌ی تأمین را بررسی کردند که در آن مراکز توزیع در معرض اختلالات تصادفی قرار می‌گیرند. در پژوهش آن‌ها فرض بر این است که مشتریان نیازهای تصادفی دارند؛ بنابراین، هر مرکز توزیع برای جلوگیری از فروش از دست رفته، تعدادی ذخایر ایمنی را برای ارائه‌ی خدمات مناسب به مشتریان حفظ می‌کند. تورنکوئیست و ووگرین[۲۲] یک مدل بهینه‌سازی تصادفی، برای طراحی قابلیت تاب‌آوری در زیرساخت‌های شبکه‌ی توزیع ارائه می‌دهند که هم‌زمان فعالیت‌های پیش و پس از وقوع اختلال را بررسی می‌کند. آن‌ها از طریق افزایش ظرفیت مراکز توزیع، اتصال مشتریان به یک مرکز توزیع پشتیبان و سرمایه‌گذاری در تسهیلات برای بازگشت سریع‌تر به حالت اولیه پس از وقوع اختلال درصدد مواجهه با حوادث نامطلوب برآمدند. ساویک[۲۳] یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی را برای انتخاب سبد عرضه‌ی تاب‌آور براساس راهبردهای حفاظت تأمین‌کنندگان و ذخیره‌ی اضطراری پشتیبان را پیشنهاد کرد. ماری و همکاران[۲۴] برای یکپارچه‌سازی تصمیمات پایداری و قابلیت تاب‌آوری در طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تحت ریسک اختلال، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه ارائه کردند. آن‌ها به دنبال انتخاب مکان تسهیلات و تعیین میزان حمل‌ونقل محصولات بین رده‌های مختلف شبکه، برای کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه، میزان انتشار کربن، رد پای کربن تأمین‌کنندگان[۲] و احتمال اختلال در شبکه بودند. صادقیانی و همکاران[۲۵] به طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور تحت ریسک عملیاتی و اختلال برای ایجاد مزیت رقابتی پرداختند. آن‌ها به‌منظور ایجاد قابلیت تاب‌آوری به‌گونه‌یی برنامه‌ریزی کردند که هر خرده‌فروش برای دریافت کالا به چندین منبع متصل باشد تا در صورت رخداد اختلال در یکی از منابع امکان فراهم کردن تقاضای خرده‌فروش از دیگر منابع در دسترس باشد. رضاپور و همکاران[۲۶] به ارائه‌ی مدلی برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور تحت شرایط رقابتی بازار پرداختند. آن‌ها در زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه‌ی خود مواجهه با دو ریسک اختلال در تأمین‌کنندگان و رقابت شدید با رقبا در بازار را بررسی کردند که هرگونه اختلال در سطح بالادستی زنجیره‌ی تأمین منجر به عدم توانایی برای پاسخ‌گویی به تقاضای پایین‌دست می‌شود و باعث می‌شود که سهم بازار به رقبا برسد. آن‌ها برای کاهش احتمال ایجاد اختلال در خدمت‌رسانی به مشتریان سه راهبرد ذخیره‌ی اضطراری، ظرفیت مازاد و منابع چندگانه را مورد استفاده قرار دادند و تأثیر هرکدام از راهبردها را در سطح پوشش تقاضای مشتریان و هزینه‌های شبکه ارزیابی و مقایسه کردند.

با توجه به جدید بودن مفهوم قابلیت تاب‌آوری، بسیاری از شبکه‌ها هنگام طراحی شبکه ملاحظات لازم برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری را مدنظر قرار نداده‌اند. ازاین‌رو برای ایجاد این توانایی باید شبکه‌ی موجود مجدداً طراحی شود. در پیشینه‌ی موجود در حوزه‌ی طراحی مجدد شبکه همان‌طورکه بیان شد، اهداف گوناگونی نظیر اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره بررسی شده است و ایجاد قابلیت تاب‌آوری در یک شبکه‌ی موجود مغفول واقع شده است. از سوی دیگر در حوزه‌ی پژوهشی کمّی‌سازی و مدل‌سازی قابلیت تاب‌آوری تحقیقات متعددی صورت گرفته است و انواع راهبردهای قابلیت تاب‌آوری به‌صورت‌های مختلف مدل‌سازی شده‌اند. معرفی راهبردهای جدید و مقایسه‌ی آن با راهبردهای موجود قابلیت تاب‌آوری زمینه‌ی تحقیقاتی مناسبی است. ازاین‌رو برای پوشش شکاف‌های تحقیقاتی، پژوهش حاضر دارای وجوه نوآوری زیر است:

۱. در این پژوهش، طراحی مجدد یک زنجیره‌ی تأمین به‌منظور ایجاد قابلیت تاب‌آوری بررسی شده است.

۲. یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله توسعه داده شده است.

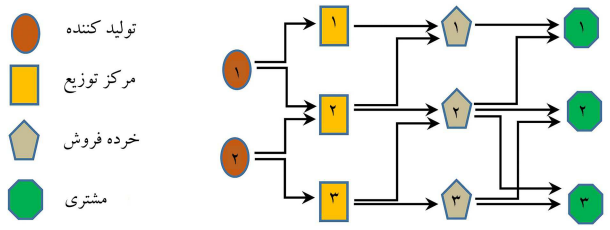
۳. راهبرد «تشکیل اتحادیه» به‌عنوان یک راهبرد کاهش ریسک جدید در زنجیره‌ی تأمین معرفی شده و کارایی این راهبرد در ترکیب با سایر راهبردهای کاهش ریسک در زنجیره‌ی تأمین ارزیابی شده است.

۳. تعریف مسئله

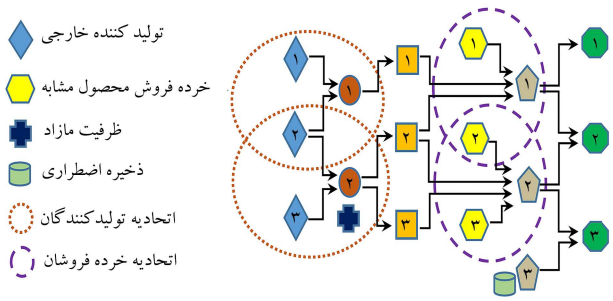
هدف این پژوهش طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین موجود برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری با استفاده از راهبردهای کاهش ریسک است. شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی در این تحقیق چند سطحی، تک‌محصولی، تک‌دوره‌یی با ظرفیت محدود در تسهیلات است. شکل ۱ ساختار شبکه را نشان می‌دهد که متشکل از تولیدکنندگان، مراکز توزیع، خرده‌فروشان و مناطق مشتری است. تولیدکنندگان محصولات را به مراکز توزیع ارسال می‌کنند، مراکز توزیع محصولات را بین خرده‌فروشان توزیع می‌کنند و خرده‌فروشان تقاضای مشتریان را تأمین می‌کنند.

تصمیماتی که در حوزه‌ی طراحی مجدد شبکه‌ی موجود اخذ می‌شود، عبارت‌اند از: ۱. تعیین ظرفیت مراکز توزیع و خرده‌فروشان برای افتتاح، بسته شدن یا تعدیل سطح ظرفیت و ۲. مقادیر محصولات جابه‌جا شده بین تسهیلات شبکه.

همان‌طورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود برای برطرف کردن اثرات منفی ناشی از



شکل ۱. ساختار شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور.



شکل ۲. ساختار شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین.

اختلالات از سه راهبرد رزرو ظرفیت مازاد تولید در تولیدکنندگان، نگهداری ذخیره‌ی اضطراری در خرده‌فروشان و تشکیل اتحادیه برای تولیدکنندگان و خرده‌فروشان، برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری استفاده می‌کنیم.

راهبردهای ظرفیت مازاد و ذخیره‌ی اضطراری در تحقیقات گذشته معرفی و استفاده شده است. در راهبرد ظرفیت مازاد در تعدادی از تأمین‌کنندگان برای جبران ظرفیت تسهیلاتی که دچار اختلال شده‌اند، ظرفیت مازاد ایجاد و رزرو می‌شود. در راهبرد ذخیره‌ی اضطراری، در تسهیلات یک موجودی اضطراری در نظرگرفته شده است که در مواقع وقوع اختلال از این موجودی استفاده شود. در این تحقیق یک راهبرد کاهش ریسک اختلال جدید که با عنوان «تشکیل اتحادیه» نام‌گذاری شده، معرفی و استفاده شده است. راهبرد تشکیل اتحادیه در دو لایه‌ی تولیدکنندگان و خرده‌فروشان زنجیره‌ی تأمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایده‌ی اصلی این راهبرد، تشکیل اتحادیه توسط هرکدام از تولیدکنندگان (خرده‌فروشان) عضو زنجیره‌ی تأمین با تولیدکنندگان (خرده‌فروشان) خارج از زنجیره‌ی تأمین است. اتحادیه بر اساس استانداردهای کیفیتی زنجیره، این امکان را فراهم می‌کند که هر تسهیل در ازای پرداخت حق عضویت اتحادیه، از ظرفیت سایر اعضای اتحادیه (ظرفیت تخصیص داده شده به اتحادیه) استفاده کند. هر تولیدکننده‌ی داخلی زنجیره‌ی تأمین پس از عضویت در اتحادیه این امکان را دارد که بر اساس شعاع پذیرش مشخص، از ظرفیت تولید تولیدکنندگان خارج از زنجیره‌ی تأمین استفاده کند. در صورتی که هر تولیدکننده تقاضا را از محل تولید خود جواب دهد هزینه‌ی تمام شده‌ی کمتری دارد و بخشی از محصولات که از تولیدکنندگان خارج از زنجیره، از طریق اتحادیه‌ی تشکیل شده، تأمین می‌شود، هزینه‌ی تمام شده‌ی بالاتری دارد. به‌طور مشابه خرده‌فروشان نیز از راهبرد تشکیل اتحادیه استفاده می‌کنند. خرده‌فروشان می‌توانند با عضویت در اتحادیه‌ی خرده‌فروشان، هنگامی‌که شبکه زنجیره‌ی تأمین به علت وقوع اختلال در تسهیلات یا از بین‌رفتن کانال‌های انتقال از ارائه‌ی خدمت به آن‌ها ناتوان باشد، بر اساس شعاع پذیرش مشخص، از ظرفیت خرده‌فروشان محصول مشابه، برای پاسخ به تقاضای مشتریان استفاده کنند. تصمیماتی که برای کاهش احتمال ریسک اخذ می‌شود، عبارت‌اند از: ۱. تصمیم‌گیری در خصوص میزان ظرفیت مازاد ایجاد شده در تولیدکنندگان، ۲. تصمیم‌گیری در خصوص میزان ذخیره‌ی اضطراری نگهداری شده در خرده‌فروشان، ۳. تصمیم‌گیری در خصوص نحوه‌ی تشکیل اتحادیه در تولیدکنندگان، ۴. تصمیم‌گیری در خصوص نحوه‌ی تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان.

۱.۳. سناریوی اختلال

برای تعیین سناریوهای اختلال، در ابتدا باید تمام اختلال‌های ممکن و احتمال وقوع آن شناسایی شود. مثلاً، فرض کنید در شبکه‌ی نشان داده شده در شکل ۱، اختلال در تولیدکننده‌ی شماره ۱ و اختلال در خدمت‌رسانی به خرده‌فروش شماره ۳ با احتمال pd_1 و pd_2 امکان‌پذیر است. در این مورد، چهار سناریوی اختلال مختلف برای شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امکان‌پذیر است. سناریوی اول (s_1)، تولیدکننده‌ی شماره ۱، دچار اختلال شود که احتمال وقوع این سناریو (po_{s_1}) برابر است با $pd_1(1-pd_2)$. سناریوی دوم (s_2)، اختلال در خدمت‌رسانی به خرده‌فروش شماره ۳ رخ می‌دهد که احتمال وقوع این سناریو (po_{s_2}) برابر است با $pd_2(1-pd_1)$. در سناریوی سوم (s_3)، تولیدکننده‌ی شماره ۱، دچار اختلال می‌شود و خدمت‌رسانی به خرده‌فروش شماره ۳ صورت نمی‌پذیرد. احتمال وقوع این سناریو (po_{s_3}) برابر است با $pd_1 \cdot pd_2$. در سناریوی چهارم (s_4)، شرایط عادی است و هیچ‌گونه اختلالی رخ نمی‌دهد. احتمال وقوع این سناریو (po_{s_4}) برابر است با $1-pd_1(1-pd_2)-pd_2(1-pd_1)-pd_1 \cdot pd_2$؛ بنابراین اگر n عدد اختلال برای زنجیره‌ی تأمین وجود داشته باشد، 2^n سناریوی اختلال برای آن زنجیره تعریف می‌شود.

۲.۳. طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور

در این قسمت، مدل ریاضی طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین موجود بدون لحاظ کردن راهبردهای کاهش ریسک اختلال (زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور) ارائه می‌شود. به این منظور نمادهای مسئله در سه قسمت مجموعه‌ها و اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترها معرفی می‌شوند.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

P: مجموعه‌ی تولیدکننده‌ها با اندیس p؛

J: مجموعه‌ی مراکز توزیع موجود و بالقوه با اندیس j؛

I: مجموعه‌ی خرده‌فروشان موجود و بالقوه با اندیس i؛

R: مجموعه‌ی مناطق مشتری با اندیس r؛

M: مجموعه‌ی سطوح ظرفیت در دسترس برای مراکز توزیع موجود و بالقوه با اندیس m و l (که در آن $m=1$ بدان معنی است که مرکز توزیع باز نیست)؛

N: مجموعه‌ی سطوح ظرفیت در دسترس برای خرده‌فروشان موجود و بالقوه با اندیس n و g (که در آن $n=1$ بدان معنی است که خرده‌فروش باز نیست)؛

S: مجموعه‌ی سناریوهای اختلال امکان‌پذیر با اندیس s.

متغیرهای تصمیم

xa_{jlm}: اگر سطح ظرفیت مرکز توزیع j از l به m تعدیل یابد یک، در غیر این صورت، صفر؛

(xa_{jll} اگر یک باشد نشان می‌دهد مرکز توزیع j در همان سطح ظرفیت باقی می‌ماند. xa_{j1m} یعنی مرکز توزیع j همچنان بسته است. xa_{j11} اگر یک باشد نشان می‌دهد مرکز توزیع j با سطح ظرفیت m باز می‌شود. xa_{jl1} اگر یک باشد نشان می‌دهد مرکز توزیع j که در سطح ظرفیت l بوده، بسته شده است)؛

xb_{ign}: اگر سطح ظرفیت خرده‌فروش i از g به n تعدیل یابد یک، در غیر این صورت، صفر؛

(xb_{igg} اگر یک باشد نشان می‌دهد خرده‌فروش i در همان سطح ظرفیت باقی می‌ماند. xb_{i1n} یعنی خرده‌فروش i همچنان بسته است. xb_{i11} اگر یک باشد، نشان می‌دهد خرده‌فروش i با سطح ظرفیت n باز می‌شود. xb_{ig1} اگر یک باشد نشان می‌دهد خرده‌فروش i که در سطح ظرفیت g بوده بسته شده است)؛

yb^s_{pj}: مقدار محصولی که تحت سناریوی s از تولیدکننده‌ی p به مرکز توزیع j منتقل می‌شود؛

yc^s_{ji}: مقدار محصولی که تحت سناریوی s از مرکز توزیع j به خرده‌فروش i منتقل می‌شود؛

ye^s_{ir}: مقدار محصولی که تحت سناریوی s از خرده‌فروش i به مشتری r منتقل می‌شود؛

o^s_p: مقدار محصول تولید شده در تولیدکننده‌ی p تحت سناریو s.

پارامترها

pcp_p: هزینه‌ی تولید هر واحد محصول در تولیدکننده‌ی p؛

tcb_{pj}: هزینه‌ی حمل‌ونقل هر واحد محصول بین تولیدکننده p و مرکز توزیع j؛

tcc_{ji}: هزینه‌ی حمل‌ونقل هر واحد محصول بین مرکز توزیع j و خرده‌فروش i؛

tce_{ir}: هزینه‌ی حمل‌ونقل هر واحد محصول بین خرده‌فروش i و مشتری r؛

fca_{jm}: هزینه‌ی ثابت عملیاتی مرکز توزیع j با سطح ظرفیت m؛

fcb_{in}: هزینه‌ی ثابت عملیاتی خرده‌فروش i با سطح ظرفیت n؛

aca_{jlm}: هزینه‌ی تعدیل سطح ظرفیت مرکز توزیع j از l به m؛

acb_{ign}: هزینه‌ی تعدیل سطح ظرفیت خرده‌فروش i از g به n؛

d_r: مقدار تقاضای مشتری r؛

ha_m: ظرفیت سطح m برای مراکز توزیع؛

hb_n: ظرفیت سطح n برای خرده‌فروشان؛

cta_p: ظرفیت تولید محصول در تولیدکننده‌ی p؛

ps_r: قیمت فروش محصول به مشتری r؛

po_s: احتمال وقوع سناریوی s.

تابع هدف و محدودیت‌ها

$$MaxZ = \sum_s po_s.\left\{\left[\sum_i\sum_r ps_r.ye^s_{ir}\right] - \left[\sum_p o^s_p.pcp_p\right] - \left[\sum_p\sum_j yb^s_{pj}.tcb_{pj} + \sum_j\sum_i yc^s_{ji}.tcc_{ji} + \sum_i\sum_r ye^s_{ir}.tce_{ir}\right]\right\} - \left[\sum_j\sum_l\sum_m fca_{jm}.xa_{jlm} + \sum_i\sum_g\sum_n fcb_{in}.xb_{ign}\right] - \left[\sum_j\sum_l\sum_m aca_{jlm}.xa_{jlm} + \sum_i\sum_g\sum_n acb_{ign}.xb_{ign}\right]$$

$$subject\ to: \quad (۱)$$

$$o^s_p = \sum_j yb^s_{pj} \qquad \forall p,s \quad (۲)$$

$$\sum_p yb^s_{pj} = \sum_i yc^s_{ji} \qquad \forall j,s \quad (۳)$$

$$\sum_j yc^s_{ji} = \sum_r ye^s_{ir} \qquad \forall i,s \quad (۴)$$

$$\sum_i ye^s_{ir} \le d_r \qquad \forall r,s \quad (۵)$$

$$\sum_l\sum_m xa_{jlm} = ۱ \qquad \forall j \quad (۶)$$

$$\sum_g\sum_n xb_{ign} = ۱ \qquad \forall i \quad (۷)$$

$$o^s_p \le cta_p \qquad \forall p,s \quad (۸)$$

$$\sum_i yc^s_{ji} \le \sum_l\sum_m xa_{jlm}.ha_m \qquad \forall j,s \quad (۹)$$

$$\sum_r ye^s_{ir} \le \sum_g\sum_n xb_{ign}.hb_n \qquad \forall i,s \quad (۱۰)$$

$$xa_{jlm}, xb_{ign} \in \{۰,۱\} \quad (۱۱)$$

$$o^s_p, yb^s_{pj}, yc^s_{ji},, ye^s_{ir} \ge ۰ \quad (۱۲)$$

۳.۳. طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور

در این بخش به طراحی مجدد شبکه زنجیره‌ی تأمین برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری از طریق راهبردهای ظرفیت مازاد، ذخیره‌ی اضطراری و تشکیل اتحادیه پرداخته می‌شود. به این منظور اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترهای مورد نیاز به شرح زیر تعریف می‌شوند.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

Q: مجموعه‌ی تولیدکننده‌های خارجی تولید محصول با اندیس q؛

K: مجموعه‌ی مناطق خرده‌فروش محصول مشابه با اندیس k.

متغیرهای تصمیم

es^s_i: اگر خرده‌فروش i تحت سناریوی s بتواند از موجودی اضطراری استفاده کند یک، در غیر این صورت، صفر؛

msa_p: اگر تولیدکننده‌ی p عضو اتحادیه‌ی تولیدکنندگان شود یک، در غیر این صورت، صفر؛

msb_i: اگر خرده‌فروش i عضو اتحادیه‌ی خرده‌فروشان شود یک، در غیر این صورت، صفر؛

ya^s_{qp}: مقدار محصولی که تحت سناریوی s از تولیدکننده‌ی خارجی q به تولیدکننده‌ی p منتقل می‌شود؛

yd^s_{ki}: مقدار محصولی که تحت سناریوی s از خرده‌فروش k به خرده‌فروش i منتقل می‌شود؛

yee^s_{ir}: مقدار محصولی که تحت سناریوی s از ذخیره‌ی اضطراری خرده‌فروش i به مشتری r منتقل می‌شود؛

yen^s_{ir}: مقدار محصولی که تحت سناریوی s از طریق شبکه و اتحادیه، از خرده‌فروش i به مشتری r منتقل می‌شود؛

aex_p: مقدار ظرفیت مازاد ایجادشده در تولیدکننده‌ی p؛

aes_i: مقدار موجودی اضطراری که در خرده‌فروش i نگهداری می‌شود.

پارامترها

pcq_q: هزینه‌ی تولید هر واحد محصول در تولیدکننده‌ی خارجی q؛

sck_k: هزینه‌ی خرید هر واحد محصول از خرده‌فروش k؛

mca: هزینه‌ی عضویت در اتحادیه‌ی تولیدکنندگان؛

mcb: هزینه‌ی عضویت در اتحادیه خرده‌فروشان؛

tca_{qp}: هزینه‌ی حمل‌ونقل هر واحد محصول بین تولیدکننده‌ی خارجی q و بین تولیدکننده‌ی p؛

tcd_{ki}: هزینه‌ی حمل‌ونقل هر واحد محصول بین خرده‌فروش k و خرده‌فروش i؛

spa_{qp}: اگر تولیدکننده‌ی خارجی q در شعاع مورد انتظار تولیدکننده‌ی p باشد یک، در غیر این صورت صفر؛

spb_{ki}: اگر خرده‌فروش k در شعاع مورد انتظار خرده‌فروش i باشد یک، در غیر این صورت صفر؛

ctb_q: ظرفیت تولید محصول در تولیدکننده‌ی خارجی q؛

w^s_i: اگر امکان بهره‌گیری خرده‌فروش i از شبکه یا اتحادیه‌ی تحت سناریوی s در دسترس باشد یک، در غیر این صورت صفر؛

cs_k: ظرفیت فروش خرده‌فروش k؛

hc_i: هزینه‌ی نگهداری هر واحد محصول در خرده‌فروش i؛

cce_i: هزینه‌ی استفاده از یک واحد ذخیره‌ی اضطراری در خرده‌فروش i؛

ex_p: هزینه‌ی ایجاد هر واحد ظرفیت مازاد در تولیدکننده‌ی p؛

mex_p: بیشینه‌ی ظرفیت مازاد قابل ایجاد در تولیدکننده‌ی p؛

mes_i: بیشینه‌ی ذخیره‌ی اضطراری قابل ایجاد در خرده‌فروش i؛

nb: یک مقدار بزرگ.

در این قسمت، به بیان نحوه‌ی مدل‌سازی هر یک از راهبردهای ظرفیت مازاد، ذخیره‌ی اضطراری و تشکیل اتحادیه و تأثیر هر یک از آن‌ها بر روی تابع هدف می‌پردازیم.

۴.۳. رزرو ظرفیت مازاد تولید در تولیدکنندگان

برای اضافه کردن راهبرد ظرفیت مازاد، متغیر aex_p که نشان‌دهنده‌ی مقدار ظرفیت مازاد ایجاد شده در تولیدکننده‌ی p است، تعریف می‌شود. برای رعایت بیشینه‌ی ظرفیت مازاد قابل ایجاد، محدودیت زیر اضافه می‌شود.

$$aex_p \leq mex_p \quad \forall p, s \tag{۱۳}$$

و محدودیت شماره ۸ به صورت زیر تغییر پیدا می‌کند.

$$o_p^s \leq cta_p + aex_p \quad \forall p, s \tag{۱۴}$$

با اضافه کردن راهبرد ظرفیت مازاد، ظرفیت بیشتری در تولیدکنندگان انتخاب شده در دسترس خواهد بود و هزینه‌ی مربوطه به‌صورت $\sum_p ex_p.aex_p$ به تابع هدف اضافه خواهد شد که بیان‌گر هزینه‌ی ایجاد ظرفیت مازاد تولید در تولیدکنندگان است.

۵.۳. نگهداری ذخیره‌ی اضطراری در خرده‌فروشان

برای اضافه کردن راهبرد ذخیره‌ی اضطراری، چهار متغیر yen_{ir}^s، yee_{ir}^s، aes_i، es_i^s باید تعریف شود. متغیر es_i^s یک متغیر دودویی است که در مورد استفاده از راهبرد موجودی اضطراری در خرده‌فروش i تحت سناریوی s، تصمیم‌گیری می‌کند. متغیر aes_i مقدار موجودی اضطراری را که در خرده‌فروش i نگهداری می‌شود، تعیین می‌کند. متغیر yee_{ir}^s نشان‌دهنده‌ی مقدار محصول ارسالی تحت سناریوی s از ذخیره‌ی اضطراری خرده‌فروش i به مشتری r است. متغیر yen_{ir}^s بیان‌گر مقدار محصول انتقالی تحت سناریوی s از طریق شبکه و اتحادیه، از خرده‌فروش i به مشتری r است. محدودیت‌های زیر برای مدل‌سازی راهبرد ذخیره‌ی اضطراری، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$ye_{ir}^s = yee_{ir}^s + yen_{ir}^s \quad \forall i, r, s \tag{۱۵}$$

$$es_i^s \leq ۱ - w_i^s \quad \forall i, s \tag{۱۶}$$

$$yee_{ir}^s \leq nb.es_i^s \quad \forall i, r, s \tag{۱۷}$$

$$yen_{ir}^s \leq nb.w_i^s \quad \forall i, r, s \tag{۱۸}$$

$$\sum_r yee_{ir}^s \leq aes_i \quad \forall i, s \tag{۱۹}$$

$$aes_i \leq mes_i \quad \forall i \tag{۲۰}$$

محدودیت ۱۵ نشان می‌دهد تقاضای مشتریان از طریق ذخیره‌ی اضطراری یا از طریق شبکه و تشکیل اتحادیه پاسخ داده می‌شود. محدودیت ۱۶ نشان می‌دهد در صورتی می‌توان از موجودی اضطراری در خرده‌فروشان استفاده کرد که امکان بهره‌گیری خرده‌فروش از شبکه یا اتحادیه در دسترس نباشد. محدودیت ۱۷ بیان می‌کند در صورتی تقاضای مشتری از ذخیره‌ی اضطراری پاسخ داده می‌شود که امکان استفاده از ذخیره‌ی اضطراری در خرده‌فروش فراهم باشد. محدودیت ۱۸ بیان می‌کند در صورتی تقاضای مشتری از طریق شبکه پاسخ داده می‌شود که امکان بهره‌گیری خرده‌فروش از شبکه یا اتحادیه در دسترس باشد. محدودیت ۱۹ تضمین می‌کند، مقدار ذخیره‌ی اضطراری موجود در خرده‌فروش از مقدار محصول عرضه شده از طریق ذخیره‌ی اضطراری بیشتر باشد. محدودیت ۲۰ تضمین می‌کند، مقدار ذخیره‌ی اضطراری ایجاد شده در خرده‌فروشان از بیشینه‌ی ذخیره‌ی اضطراری قابل ایجاد بیشتر نشود.

با اضافه کردن راهبرد ذخیره‌ی اضطراری، هزینه‌ی استفاده از ذخیره‌ی اضطراری به‌صورت $\sum_i \sum_r cce_i.yee_{ir}^s$ و هزینه‌ی نگهداری از مقدار ذخیره‌ی اضطراری خرده‌فروشان که مورد استفاده قرار نمی‌گیرد به‌صورت $\sum_i hc_i.(aes_i - \sum_r yee_{ir}^s)$ به تابع هدف اضافه خواهد شد.

۶.۳. تشکیل اتحادیه برای تولیدکنندگان و خرده‌فروشان

برای اضافه کردن راهبرد تشکیل اتحادیه، دو مجموعه‌ی Q و K که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ی تولیدکننده‌های خارجی و مجموعه‌ی مناطق خرده‌فروش محصول مشابه است، تعریف می‌شود و چهار متغیر ya_{qp}^s، yd_{ki}^s، msa_p و msb_i اضافه می‌شود. متغیرهای ya_{qp}^s و yd_{ki}^s به ترتیب بیان‌گر تعداد محصولات ارسالی از تولیدکننده‌ی خارجی q به تولیدکننده‌ی p و مقدار محصول ارسالی از خرده‌فروش k به خرده‌فروش i است و متغیرهای msa_p و msb_i در مورد عضویت تولیدکنندگان و خرده‌فروشان در اتحادیه تصمیم‌گیری می‌کنند. محدودیت‌های زیر برای مدل‌سازی راهبرد تشکیل اتحادیه، استفاده می‌شود.

$$\sum_p ya_{qp}^s \leq ctb_q \quad \forall q, s \tag{۲۱}$$

$$\sum_i yd_{ki}^s \leq cs_k \quad \forall k, s \tag{۲۲}$$

$$ya_{qp}^s \leq nb.spa_{qp}.msa_p \quad \forall q, p, s \tag{۲۳}$$

$$yd_{ki}^s \leq nb.spb_{ki}.msb_i \quad \forall k, i, s \tag{۲۴}$$

محدودیت ۲۱ تضمین می‌کند، حجم محصولات ارسالی از هر تولیدکننده‌ی خارجی از ظرفیت تولید آن تولیدکننده بیشتر نباشد. محدودیت ۲۲ تضمین می‌کند، حجم محصولات ارسالی از هر خرده‌فروش محصول مشابه از ظرفیت فروش آن کمتر باشد. محدودیت ۲۳ تضمین می‌کند هر تولیدکننده در صورتی از تولیدکننده‌ی خارجی، محصول دریافت می‌کند که آن تولیدکننده عضو اتحادیه‌ی تولیدکنندگان شده باشد و تسهیلات در شعاع پذیرش آن تولیدکننده قرارگرفته باشند. محدودیت ۲۴ تضمین می‌کند، هر خرده‌فروش در صورتی از خرده‌فروش محصول مشابه، محصول دریافت می‌کند که آن خرده‌فروش عضو اتحادیه‌ی خرده‌فروشان شده باشد و تسهیلات در شعاع پذیرش آن خرده‌فروش قرار گرفته باشند. همچنین محدودیت‌های ۲ و ۴ به‌صورت زیر تغییر پیدا می‌کنند.

$$\sum_q ya_{qp}^s + o_p^s = \sum_j yb_{pj}^s \quad \forall p, s \tag{۲۵}$$

$$\sum_j yc_{ji}^s + \sum_k yd_{ki}^s = \sum_r yen_{ir}^s \quad \forall i, s \tag{۲۶}$$

با اضافه کردن راهبرد تشکیل اتحادیه، هزینه‌ی عضویت در اتحادیه‌ی تولیدکنندگان به‌صورت $\sum_p msa_p.mca$، هزینه‌ی عضویت در اتحادیه‌ی خرده‌فروشان به‌صورت $\sum_i msb_i.mcb$، هزینه‌ی تولید محصول در تولیدکننده‌های خارجی به‌صورت $\sum_q \sum_p ya_{qp}^s.pcd_q$، هزینه‌ی خرید محصول از خرده‌فروشان محصول مشابه به‌صورت $\sum_k \sum_i yd_{ki}^s.sck_k$، هزینه‌ی حمل‌ونقل محصولات بین تولیدکننده‌های

خارجی و داخلی به‌صورت $\sum_q \sum_p ya^s_{qp}.tca_{qp}$ و هزینه‌ی حمل‌ونقل محصولات بین خرده‌فروشان محصول مشابه و خرده‌فروشان به‌صورت $\sum_k \sum_i yd^s_{ki}.tcd_{ki}$ به تابع هدف اضافه خواهد شد.

به‌منظور طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری، باید راهبردهای فرمول‌بندی شده، به طراحی مجدد زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور اضافه شود. مدل ریاضی طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} MaxZ = \sum_s po_s.\Bigg\{ & \left[\sum_i \sum_r ps_r.ye^s_{ir}\right] \\ & - \left[\sum_p o^s_p.pcp_p + \sum_q \sum_p ya^s_{qp}.pcq_q \right. \\ & \left. + \sum_k \sum_i yd^s_{ki}.sck_k + \sum_i \sum_r yee^s_{ir}.cce_i \right] \\ & - \left[\sum_q \sum_p ya^s_{qp}.tca_{qp} + \sum_p \sum_j yb^s_{pj}.tcb_{pj} \right. \\ & + \sum_j \sum_i yc^s_{ji}.tcc_{ji} + \sum_k \sum_i yd^s_{ki}.tcd_{ki} \\ & \left. + \sum_i \sum_r ye^s_{ir}.tce_{ir}\right] \\ & - \left[\sum_i hc_i.(aes_i - \sum_r yee^s_{ir})\right]\Bigg\} - \left[\sum_p ex_p.aex_p\right] \\ & - \left[\sum_p msa_p.mca + \sum_i msb_i.mcb\right] \\ & - \left[\sum_j \sum_l \sum_m fca_{jm}.xa_{jlm} + \sum_i \sum_g \sum_n fcb_{in}.xb_{ign}\right] \\ & - \left[\sum_j \sum_l \sum_m aca_{jlm}.xa_{jlm} + \sum_i \sum_g \sum_n acb_{ign}.xb_{ign}\right] \end{aligned} \quad (۲۷)$$

$$subject\ to: \quad (۲۸)$$

$$\sum_q ya^s_{qp} + o^s_p = \sum_j yb^s_{pj} \quad \forall p, s \quad (۲۹)$$

$$\sum_p yb^s_{pj} = \sum_i yc^s_{ji} \quad \forall j, s \quad (۳۰)$$

$$\sum_j yc^s_{ji} + \sum_k yd^s_{ki} = \sum_r yen^s_{ir} \quad \forall i, s \quad (۳۱)$$

$$\sum_i ye^s_{ir} \le d_r \quad \forall r, s \quad (۳۲)$$

$$\sum_l \sum_m xa_{jlm} = ۱ \quad \forall j \quad (۳۳)$$

$$\sum_g \sum_n xb_{ign} = ۱ \quad \forall i \quad (۳۴)$$

$$\sum_p ya^s_{qp} \le ctb_q \quad \forall q, s \quad (۳۵)$$

$$o^s_p \le cta_p + aex_p \quad \forall p, s \quad (۳۶)$$

$$\sum_i yc^s_{ji} \le \sum_l \sum_m xa_{jlm}.ha_m \quad \forall j, s \quad (۳۷)$$

$$\sum_r ye^s_{ir} \le \sum_g \sum_n xb_{ign}.hb_n \quad \forall i, s \quad (۳۸)$$

$$\sum_i yd^s_{ki} \le cs_k \quad \forall k, s \quad (۳۹)$$

$$aex_p \le mex_p \quad \forall p, s \quad (۴۰)$$

$$ya^s_{qp} \le nb.spa_{qp}.msa_p \quad \forall q, p, s \quad (۴۱)$$

$$yd^s_{ki} \le nb.spb_{ki}.msb_i \quad \forall k, i, s \quad (۴۲)$$

$$ye^s_{ir} = yee^s_{ir} + yen^s_{ir} \quad \forall i, r, s \quad (۴۳)$$

$$es^s_i \le ۱ - w^s_i \quad \forall i, s \quad (۴۴)$$

$$yee^s_{ir} \le nb.es^s_i \quad \forall i, r, s \quad (۴۵)$$

$$yen^s_{ir} \le nb.w^s_i \quad \forall i, r, s \quad (۴۶)$$

$$\sum_r yee^s_{ir} \le aes_i \quad \forall i, s \quad (۴۷)$$

$$aes_i \le mes_i \quad \forall i \quad (۴۸)$$

$$es^s_i, xa_{jlm}, xb_{ign} \in \{۰, ۱\} \quad (۴۹)$$

$$o^s_p, aes_i, aex_p, ya^s_{qp}, yb^s_{pj}, yc^s_{ji}, yd^s_{ki}, ye^s_{ir} yee^s_{ir}, yen^s_{ir} \ge ۰ \quad (۵۰)$$

همانند طراحی مجدد زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور، تابع هدف ۲۷ نشان‌دهنده‌ی سود کلی زنجیره‌ی تأمین است که از اختلاف درآمد حاصل از فروش محصولات و کل هزینه‌ها محاسبه می‌شود.

۴. پیاده‌سازی و ارزیابی

برای ارزیابی عملکرد مدل ریاضی و تجزیه و تحلیل آثار استفاده از راهبردهای کاهش ریسک اختلال در زنجیره‌ی تأمین، یک مثال عددی در این بخش ارائه شده است. در این مثال، برای طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، ۲ کارخانه‌ی تولید موجود، ۵ مرکز توزیع موجود و بالقوه، ۸ خرده‌فروش موجود و بالقوه و ۸ منطقه‌ی مشتری در نظر گرفته شده است. برای تشکیل اتحادیه ۳ کارخانه‌ی تولید خارجی و ۸ خرده‌فروش محصول مشابه به تسهیلات ذکر شده اضافه می‌شود. داده‌های بخش طراحی مجدد از تحقیق ژو و همکاران[۱] جمع‌آوری شد و سایر پارامترها از طریق تناسب با داده‌های در دسترس محاسبه شد.

جدول‌های ۱ و ۲ اطلاعات مراکز توزیع و خرده‌فروشان را نشان می‌دهد. وضعیت فعلی هر تسهیل به دو صورت موجود (E) یا بالقوه (P) نشان داده می‌شود. $M_۲$، $M_۳$ و $M_۴$ سطوح ظرفیت فعلی مراکز توزیع موجود و $N_۲$ و $N_۳$ سطوح ظرفیت فعلی خرده‌فروشان موجود را نشان می‌دهد ($M_۱$ و $N_۱$ سطح ظرفیت صفر را نشان می‌دهند). اگر تأسیسات موجود به سطوح پایین‌تر یا به بسته شدن تعدیل پیدا کنند، می‌توان تجهیزات آن را اجاره داد یا فروخت؛ ازاین‌رو هزینه‌ی آن به‌صورت منفی در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات تولیدکنندگان زنجیره‌ی تأمین، مشتریان، تولیدکننده‌ی خارجی و خرده‌فروش محصول مشابه، اطلاعات ایجاد ذخیره‌ی اضطراری و تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان در جداول ۳ الی ۶ ارائه شده است. جدول ۷، نشان‌دهنده‌ی هزینه‌ی حمل‌ونقل کالا بین رده‌های مختلف شبکه است. جدول ۸ نشان‌دهنده‌ی امکان بهره‌گیری تسهیلات شبکه از اتحادیه بر اساس شعاع مورد پذیرش است (واحد تمام هزینه‌ها یوان است).

جدول ۱. اطلاعات مراکز توزیع.

مرکز توزیع	وضعیت	هزینه‌ی تعدیل			
		$M_1 = 0$	$M_2 = 4000$	$M_3 = 6000$	$M_4 = 8000$
J_1	E, M_2	$-25,000,000$	0	$7,000,000$	$10,000,000$
J_2	P	0	$25,000,000$	$32,000,000$	$40,000,000$
J_3	E, M_2	$-15,000,000$	0	$8,000,000$	$10,500,000$
J_4	P	0	$25,000,000$	$35,000,000$	$45,000,000$
J_5	P	0	$30,000,000$	$38,000,000$	$45,000,000$

مرکز توزیع	هزینه‌ی ثابت عملیاتی			
	$M_1 = 0$	$M_2 = 4000$	$M_3 = 6000$	$M_4 = 8000$
J_1	0	$5,000,000$	$7,000,000$	$10,000,000$
J_2	0	$4,000,000$	$6,000,000$	$9,000,000$
J_3	0	$3,500,000$	$5,500,000$	$9,500,000$
J_4	0	$3,800,000$	$5,600,000$	$9,200,000$
J_5	0	$4,800,000$	$6,500,000$	$9,500,000$

جدول ۲. اطلاعات خرده‌فروشان.

خرده‌فروش	وضعیت	هزینه‌ی تعدیل			
		$N_1 = 0$	$N_2 = 1000$	$N_3 = 2000$	$N_4 = 4000$
I_1	E, N_4	$-23,000,000$	$-15,500,000$	$-8,000,000$	0
I_2	E, N_3	$-10,000,000$	$-3,400,000$	0	$22,000,000$
I_3	E, N_2	$-8,000,000$	0	$10,000,000$	$19,500,000$
I_4	E, N_2	$-9,500,000$	0	$8,000,000$	$15,800,000$
I_5	P	0	$15,000,000$	$24,500,000$	$41,000,000$
I_6	P	0	$12,000,000$	$23,000,000$	$35,000,000$
I_7	P	0	$13,000,000$	$25,000,000$	$37,000,000$
I_8	P	0	$11,000,000$	$23,000,000$	$35,000,000$

خرده‌فروش	هزینه‌ی ثابت عملیاتی			
	$N_1 = 0$	$N_2 = 1000$	$N_3 = 2000$	$N_4 = 4000$
I_1	0	$1,200,000$	$2,400,000$	$4,200,000$
I_2	0	$900,000$	$2,100,000$	$3,800,000$
I_3	0	$1,500,000$	$2,500,000$	$4,300,000$
I_4	0	$1,400,000$	$2,200,000$	$4,400,000$
I_5	0	$1,300,000$	$2,300,000$	$4,200,000$
I_6	0	$900,000$	$1,800,000$	$3,800,000$
I_7	0	$1,000,000$	$2,600,000$	$4,700,000$
I_8	0	$1,300,000$	$2,100,000$	$4,000,000$

جدول ۳. اطلاعات تولدکنندگان زنجیره‌ی تأمین.

	هزینه تولید هر واحد محصول	ظرفیت تولید هر تولیدکننده	هزینه ایجاد هر واحد ظرفیت مازاد	بیشینه‌ی ظرفیت مازاد قابل ایجاد در هر تولیدکننده	هزینه‌ی عضویت در اتحادیه‌ی تولیدکنندگان
P_1	$1088,800$	5800	$6,000$	800	$1,200,000$
P_2	$110,000$	7000	$7,000$	1000	$1,200,000$

جدول ۴. اطلاعات مشتریان.

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
تقاضای مشتریان	۱۵۸۰	۱۶۱۵	۱۶۱۵	۱۶۶۰	۱۶۵۵	۱۵۵۰	۱۵۹۰	۱۴۹۵
قیمت فروش هر واحد محصول به مشتری	۱۷۲, ۴۰۰	۱۷۳, ۰۰۰	۱۷۲, ۸۰۰	۱۷۲, ۵۰۰	۱۷۲, ۰۰۰	۱۷۳, ۰۰۰	۱۷۳, ۱۰۰	۱۷۲, ۸۰۰

جدول ۵. اطلاعات تولیدکننده‌ی خارجی و خرده‌فروش محصول مشابه.

	Q_1	Q_2	Q_3	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
هزینه‌ی تولید هر واحد محصول در تولیدکننده‌ی خارجی	۱۱۷, ۸۰۰	۱۱۸, ۰۰۰	۱۱۸, ۳۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
ظرفیت تولید محصول در تولیدکننده‌ی خارجی	۸۰۰	۹۵۰	۹۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
هزینه‌ی خرید هر واحد محصول از خرده‌فروش محصول مشابه	-	-	-	۱۳۵, ۸۰۰	۱۳۵, ۳۰۰	۱۳۶, ۰۰۰	۱۳۵, ۰۰۰	۱۳۵, ۴۰۰	۱۳۵, ۰۰۰	۱۳۵, ۵۰۰	۱۳۵, ۸۰۰
ظرفیت فروش خرده‌فروش محصول مشابه	-	-	-	۱۹۰	۲۰۰	۱۹۵	۲۱۰	۲۱۰	۱۹۰	۲۰۰	۱۸۰

جدول ۶. اطلاعات ایجاد ذخیره اضطراری و تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان.

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8
هزینه‌ی استفاده از هر واحد ذخیره‌ی اضطراری	۱۳۷, ۸۰۰	۱۳۷, ۵۰۰	۱۳۸, ۱۰۰	۱۳۸, ۰۰۰	۱۳۷, ۸۰۰	۱۳۷, ۵۰۰	۱۳۷, ۷۰۰	۱۳۷, ۰۰۰
هزینه‌ی نگهداری هر واحد ذخیره‌ی اضطراری مازاد	۴۰۰	۳۸۰	۳۶۰	۴۱۰	۴۰۰	۳۹۰	۴۱۰	۴۰۰
بیشینه‌ی ذخیره‌ی اضطراری قابل ایجاد در خرده‌فروش	۱۴۰۰	۱۲۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۱۰۰	۱۰۰۰
هزینه‌ی عضویت در اتحادیه خرده‌فروشان	۱, ۰۰۰, ۰۰۰	۱, ۰۰۰, ۰۰۰	۱, ۰۰۰, ۰۰۰	۱, ۰۰۰, ۰۰۰	۱, ۰۰۰, ۰۰۰	۱, ۰۰۰, ۰۰۰	۱, ۰۰۰, ۰۰۰	۱, ۰۰۰, ۰۰۰

دراین مثال براساس اطلاعات گذشته فرض براین است که از یک‌سو تولیدکننده‌ی اول با احتمال ۰٫۲۵، با اختلال در خط تولید روبه‌رو می‌شود و امکان تولید در داخل کارخانه را از دست می‌دهد. از سوی دیگر راه‌های مواصلاتی به خرده‌فروش اول و دوم با احتمال ۰٫۱ از بین می‌رود و این خرده‌فروشان نمی‌توانند از طریق شبکه و اتحادیه تقاضای خود را برآورده کنند؛ بنابراین برای این مسئله می‌توان چهار سناریو را تعریف کرد. سناریوی اول شرایط عادی را نشان می‌دهد که تمام تسهیلات و راه‌های مواصلاتی بین رده‌های مختلف در دسترس است. براساس روش محاسبه‌ی احتمال سناریوها که در بخش سه ذکر شد، احتمال سناریوی اول برابر ۰٫۶۷۵است. در سناریوی دوم با احتمال ۰٫۲۲۵ تولیدکننده‌ی اول و در سناریوی سوم با احتمال ۰٫۰۷۵ راه‌های مواصلاتی خرده‌فروش اول و دوم، با اختلال مواجه می‌شود. سناریوی چهارم، اختلال در تولیدکننده‌ی اول و راه‌های مواصلاتی خرده‌فروش اول و دوم را در نظر می‌گیرد و احتمال وقوع آن ۰٫۰۲۵ است. در این بخش باید به چهار سؤال تحقیقاتی زیر پاسخ داده شود:

- سؤال اول: استفاده از راهبردهای کاهش ریسک اختلال در طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین چه تأثیری بر میزان سود و عرضه محصول می‌گذارد؟
- سؤال دوم: هر یک از راهبردهای کاهش ریسک اختلال به‌صورت انحصاری، چه تأثیری بر بهبود عرضه‌ی محصولات و میزان سود شبکه دارد؟

جدول ۷. هزینه‌ی حمل‌ونقل کالا بین رده‌های مختلف شبکه.

	P_1	P_2	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8
Q_1	۸۷۰	۸۷۰	–	–	–	–	–	–	–	–
Q_2	۰	۰	–	–	–	–	–	–	–	–
Q_3	۲۱۵۰	۲۱۵۰	–	–	–	–	–	–	–	–
J_1	۱۹۸۰	۱۹۸۰	۵۰۰	۵۸۷۰	۱۵۳۰	۲۱۰۰	۲۹۵۰	۱۷۴۰	۱۸۵۰	۵۹۰۰
J_2	۲۲۴۰	۲۲۴۰	۴۸۵۰	۲۵۱۰	۵۷۰۰	۲۸۰۰	۵۶۹۰	۵۵۳۰	۶۷۳۰	۳۴۶۰
J_3	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۵۱۵۰	۲۳۵۰	۶۲۵۰	۳۴۰۰	۶۲۵۰	۶۱۰۰	۷۲۰۰	۳۲۶۰
J_4	۸۷۰	۸۷۰	۱۸۸۰	۶۲۰۰	۲۸۶۰	۲۰۰۰	۲۹۰۰	۲۷۰۰	۳۰۵۰	۶۱۴۰
J_5	۲۱۵۰	۲۱۵۰	۶۵۸۰	۱۹۵۰	۷۳۰۰	۶۳۵۰۰	۸۹۰۰	۷۱۲۰	۷۵۵۰	۱۱۰۰
K_1	–	–	۰	۶۷۰۰	۲۳۵۰	۲۴۰۰	۳۱۲۰	۱۸۵۰	۲۸۷۰	۶۲۵۰
K_2	–	–	۶۷۰۰	۰	۸۱۸۰	۶۴۶۰	۹۱۳۰	۷۶۲۰	۸۷۴۰	۲۷۶۰
K_3	–	–	۲۳۵۰	۸۱۸۰	۰	۲۹۸۰	۱۶۷۰	۹۷۰	۱۴۴۰	۹۰۶۰
K_4	–	–	۲۴۰۰	۶۴۶۰	۲۹۸۰	۰	۳۲۶۰	۲۷۶۰	۲۹۴۰	۶۵۷۰
K_5	–	–	۳۱۲۰	۹۱۳۰	۱۶۷۰	۳۲۶۰	۰	۲۱۲۰	۳۱۸۰	۹۸۶۰
K_6	–	–	۱۸۵۰	۷۶۲۰	۹۷۰	۲۷۶۰	۲۱۲۰	۰	۲۵۳۰	۸۹۰۰
K_7	–	–	۲۸۷۰	۸۷۴۰	۱۴۴۰	۲۹۴۰	۳۱۸۰	۲۵۳۰	۰	۹۶۰۰
K_8	–	–	۶۲۵۰	۲۷۶۰	۹۰۶۰	۶۵۷۰	۹۸۶۰	۸۹۰۰	۹۶۰۰	۰
R_1	–	–	۰	۶۷۰۰	۲۳۵۰	۲۴۰۰	۳۱۲۰	۱۸۵۰	۲۷۸۰	۶۲۵۰
R_2	–	–	۶۷۰۰	۰	۸۱۸۰	۶۴۶۰	۹۱۳۰	۷۶۲۰	۸۷۴۰	۲۷۶۰
R_3	–	–	۲۳۵۰	۸۱۸۰	۰	۲۹۸۰	۱۶۷۰	۹۷۰	۱۴۴۰	۹۰۶۰
R_4	–	–	۲۴۰۰	۶۴۶۰	۲۹۸۰	۰	۳۲۶۰	۲۷۶۰	۲۹۴۰	۶۵۷۰
R_5	–	–	۳۱۲۰	۹۱۳۰	۱۶۷۰	۳۲۶۰	۰	۲۱۲۰	۳۱۸۰	۹۸۶۰
R_6	–	–	۱۸۵۰	۷۶۲۰	۹۷۰	۲۷۶۰	۲۱۲۰	۰	۲۵۳۰	۸۹۰۰
R_7	–	–	۲۸۷۰	۸۷۴۰	۱۴۴۰	۲۹۴۰	۳۱۸۰	۲۵۳۰	۰	۹۶۰۰
R_8	–	–	۶۲۵۰	۲۷۶۰	۹۰۶۰	۶۵۷۰	۹۸۶۰	۸۹۰۰	۹۶۰۰	۰

جدول ۸. امکان به‌گیری تسهیلات شبکه از اتحادیه بر اساس شعاع مورد پذیرش (پارامتر spa_{qp} و spb_{ki}).

	P_1	P_2	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8
Q_1	۱	۰	–	–	–	–	–	–	–	–
Q_2	۱	۱	–	–	–	–	–	–	–	–
Q_3	۰	۱	–	–	–	–	–	–	–	–
K_1	–	–	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
K_2	–	–	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
K_3	–	–	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰
K_4	–	–	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰
K_5	–	–	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰
K_6	–	–	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰
K_7	–	–	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰
K_8	–	–	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱

جدول ۹. مقدار عرضه و سود شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور و غیر تاب‌آور.

	سناریو	مقدار عرضه	میانگین عرضه (بر اساس احتمال هر سناریو)	بدترین مقدار عرضه در سناریوهای مختلف	سود	میانگین سود (بر اساس احتمال هر سناریو)	بدترین مقدار سود در سناریوهای مختلف
زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور	سناریو ۱	۱۲۷۶۰	۱۱۰۳۸	۷۰۰۰	۶۵۵, ۴۳۱, ۲۰۰	۵۵۶, ۹۵۶, ۸۰۰	۳۲۱, ۶۹۹, ۰۰۰
	سناریو ۲	۷۰۰۰			۳۲۶, ۴۷۲, ۴۰۰		
	سناریو ۳	۹۰۰۰			۴۴۰, ۵۵۹, ۶۰۰		
	سناریو ۴	۷۰۰۰			۳۲۱, ۶۹۹, ۰۰۰		
زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور	سناریو ۱	۱۲۷۶۰	۱۲۵۲۳	۱۱۶۰۰	۶۴۱, ۲۱۵, ۱۰۰	۶۰۷, ۷۵۲, ۱۰۰	۵۰۱, ۷۱۶, ۸۰۰
	سناریو ۲	۱۲۲۲۵			۵۴۹, ۴۹۱, ۸۰۰		
	سناریو ۳	۱۱۶۰۰			۵۱۶, ۷۱۰, ۲۰۰		
	سناریو ۴	۱۱۶۰۰			۵۰۱, ۷۱۶, ۸۰۰		
بهبود			٪۱۳ ~	٪۶۶ ~		٪۹ ~	٪۵۶ ~

- سؤال سوم: راهبرد کاهش ریسک اختلالی که نسبت به سایر راهبردها کارایی بیشتری دارد، تا چند درصد افزایش قیمت، کارایی خود را حفظ می‌کند؟
- سؤال چهارم: در راهبرد تشکیل اتحادیه، هر یک از اتحادیه‌های تولیدکنندگان و خرده‌فروشان چه تأثیری بر میزان سود و عرضه‌ی محصول دارد؟

برای مقایسه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور و غیر تاب‌آور، مدل طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور و مدل طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور را با ترکیب تمام سناریوها و احتمال وقوع آن‌ها حل می‌کنیم.

در مدل طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور، شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین می‌تواند با استفاده از منابع مختلف به اختلالات احتمالی پاسخ مناسب دهد. رزرو ظرفیت مازاد تولید در تولیدکنندگان، نگهداری موجودی اضطراری در خرده‌فروشان و تشکیل اتحادیه‌ی تولیدکنندگان و خرده‌فروشان با منابع خارجی، موجب می‌شود اثرات اختلالات کاهش پیدا کند و عرضه‌ی محصولات بهبود پیدا کند. مقدار عرضه و سود شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور و غیر تاب‌آور در هر یک از سناریوها در جدول ۹ نشان داده شده است.

در این مدل ریاضی تابع هدف ۱ نشان‌دهنده‌ی سود کلی زنجیره‌ی تأمین است که از اختلاف درآمد حاصل از فروش محصولات و کل هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین محاسبه می‌شود. در این عبارت بخش اول نشان‌دهنده‌ی درآمد حاصل از فروش محصولات، بخش دوم، هزینه‌های تولید محصول در تولیدکنندگان، بخش سوم، هزینه‌ی حمل‌ونقل محصولات بین رده‌های مختلف زنجیره‌ی تأمین، بخش چهارم، هزینه‌ی ثابت عملیاتی در مراکز توزیع و خرده‌فروشان و بخش پنجم، هزینه‌ی تعدیل سطح ظرفیت مراکز توزیع و خرده‌فروشان است. محدودیت‌های ۲ تا ۴ تضمین می‌کند، جریان‌های ورودی و خروجی در هر تسهیل برابر است. محدودیت ۵ نشان می‌دهد حداکثر به میزان تقاضای مشتری از خرده‌فروشان برای مشتریان محصول ارسال می‌شود. محدودیت‌های ۶ و ۷، تضمین می‌کند هر یک از مراکز توزیع و خرده‌فروشان فقط دارای یک سطح ظرفیت هستند. محدودیت‌های ۸ تا ۱۰ تضمین می‌کند، حجم محصولات ورودی و خروجی از تسهیلات مختلف از ظرفیت آن تسهیل بیشتر نباشد. محدودیت‌های ۱۱ و ۱۲ نوع متغیرها را نشان می‌دهد و بیان می‌کند مدل ما جزء مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است.

برای مقایسه بین راهبردهای مختلف کاهش ریسک اختلال، مدل طراحی مجدد زنجیره‌ی تأمین را در سه آزمایش ارزیابی می‌کنیم که شامل، ۱. ایجاد قابلیت تاب‌آوری از طریق راهبرد تشکیل اتحادیه، ۲. ایجاد قابلیت تاب‌آوری از طریق راهبرد ظرفیت مازاد و ۳. ایجاد قابلیت تاب‌آوری از طریق راهبرد ذخیره‌ی اضطراری می‌شود. نتایج این سه آزمایش در جدول ۱۰ ارائه شده است.

به‌منظور تحلیل حساسیت بر روی راهبرد کاهش ریسک اختلال کاراتر، هزینه‌های استفاده از آن راهبرد را در آزمایش‌های مختلف به‌صورت پلکانی افزایش می‌دهیم. با توجه به نتایج جدول ۱۰ راهبرد کاراتر راهبرد تشکیل اتحادیه است؛ از این‌رو هزینه‌های استفاده از راهبرد تشکیل اتحادیه (شامل هزینه‌ی عضویت در اتحادیه‌ی تولیدکنندگان، هزینه‌ی عضویت در اتحادیه‌ی خرده‌فروشان، هزینه‌ی تولید محصول در تولیدکننده‌ی خارجی و هزینه‌ی خرید محصول از خرده‌فروش محصول مشابه) را در چهار آزمایش به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد افزایش می‌دهیم. نتایج این چهار آزمایش در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

برای مقایسه بین راهبرد تشکیل اتحادیه در تولیدکنندگان و تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان، مدل طراحی مجدد زنجیره‌ی تأمین را در دو آزمایش ارزیابی می‌کنیم که شامل ۱. ایجاد قابلیت تاب‌آوری از طریق راهبرد تشکیل اتحادیه صرفاً در تولیدکنندگان و ۲. ایجاد قابلیت تاب‌آوری از طریق راهبرد تشکیل اتحادیه صرفاً در خرده‌فروشان می‌شود. نتایج این مقایسه در جدول ۱۲ ارائه شده است.

نتایج حاصل از جداول ۹ الی ۱۲ نشان می‌دهد:

- میانگین قابلیت عرضه‌ی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور ٪۱۳ بیشتر از شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور است، همچنین سود حاصل از شبکه‌ی تاب‌آور ٪۹ بالاتر از شبکه‌ی غیر تاب‌آور است.
- در بهبود قابلیت عرضه‌ی محصولات و سود شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، راهبرد تشکیل اتحادیه در رتبه‌ی اول و راهبردهای ذخیره‌ی اضطراری و ظرفیت مازاد به ترتیب در رتبه‌های دوم تا سوم قرار دارند.
- تحلیل حساسیت برکارایی راهبرد تشکیل اتحادیه، نشان می‌دهد با افزایش ۱۰ و ۲۰ درصدی در هزینه‌های استفاده از راهبرد تشکیل اتحادیه، همچنان این راهبرد

جدول ۱۰. مقایسه‌ی راهبرد کاهش ریسک اختلال.

سناریو	مقدار عرضه			سود شبکه		
	قابلیت تاب‌آوری از طریق تشکیل اتحادیه	قابلیت تاب‌آوری از طریق ظرفیت مازاد	قابلیت تاب‌آوری از طریق ذخیره‌ی اضطراری	قابلیت تاب‌آوری طریق تشکیل اتحادیه	قابلیت تاب‌آوری از طریق ظرفیت مازاد	قابلیت تاب‌آوری از طریق اضطراری
سناریوی ۱	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	۶۴۴, ۶۴۴, ۸۰۰	۶۴۸, ۴۳۱, ۲۰۰	۶۵۴, ۴۱۵, ۲۰۰
سناریوی ۲	۱۱۲۲۵	۸۰۰۰	۷۰۰۰	۴۹۸, ۲۹۶, ۱۰۰	۳۷۷, ۵۸۸, ۴۰۰	۳۲۵, ۴۵۶, ۴۰۰
سناریوی ۳	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰	۱۱۶۰۰	۴۸۵, ۸۱۹, ۵۰۰	۴۳۳, ۵۵۹, ۶۰۰	۵۲۹, ۹۱۰, ۲۰۰
سناریوی ۴	۱۰۰۰	۸۰۰۰	۹۶۰۰	۴۴۷, ۸۱۳, ۲۰۰	۳۷۰, ۶۸۵, ۴۰۰	۴۱۲, ۷۳۹, ۰۰۰
میانگین (بر اساس احتمال هر سناریو)	۱۲۱۳۹	۱۱۲۸۸	۱۱۲۹۸	۵۹۴, ۸۸۳, ۶۰۰	۵۶۴, ۴۳۲, ۵۰۰	۵۶۵, ۰۱۹, ۸۰۰
بهبود نسبت به زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور	٪۱۰	٪۲٫۳	٪۲٫۴	٪۶٫۸	٪۱٫۳	٪۱٫۴

جدول ۱۱. تحلیل حساسیت بر میزان کارایی راهبرد تشکیل اتحادیه (ایجاد قابلیت تاب‌آوری صرفاً از طریق راهبرد تشکیل اتحادیه).

سناریو	٪۱۰ افزایش در هزینه‌های استفاده از راهبرد تشکیل اتحادیه		٪۲۰ افزایش در هزینه‌های استفاده از راهبرد تشکیل اتحادیه		٪۳۰ افزایش در هزینه‌های استفاده از راهبرد تشکیل اتحادیه		٪۴۰ افزایش در هزینه‌های استفاده از راهبرد تشکیل اتحادیه	
	مقدار عرضه	سود شبکه	مقدار عرضه	سود شبکه	مقدار عرضه	سود شبکه	مقدار عرضه	سود شبکه
سناریوی ۱	۱۲۷۶۰	۶۴۸, ۴۲۴, ۷۰۰	۱۲۷۶۰	۶۵۳, ۹۹۱, ۲۰۰	۱۲۷۶۰	۶۵۳, ۸۷۱, ۲۰۰	۱۲۷۶۰	۶۵۵, ۴۳۱, ۲۰۰
سناریوی ۲	۱۱۴۴۵	۴۳۳, ۰۸۹, ۱۰۰	۹۶۵۰	۳۹۱, ۶۰۶, ۷۰۰	۹۶۵۰	۳۶۰, ۲۰۵, ۶۰۰	۷۰۰۰	۳۲۶, ۴۷۲, ۴۰۰
سناریوی ۳	۱۰۰۰۰	۴۸۹, ۵۹۹, ۵۰۰	۹۰۰۰	۴۳۹, ۱۱۹, ۵۰۰	۹۰۰۰	۴۳۸, ۹۹۹, ۵۰۰	۹۰۰۰	۴۴۰, ۵۵۹, ۶۰۰
سناریو ۴	۱۰۰۰۰	۴۱۵, ۰۷۷, ۷۰۰	۹۰۰۰	۳۶۷, ۷۱۵, ۶۰۰	۹۰۰۰	۳۴۴, ۰۰۴, ۰۰۰	۷۰۰۰	۳۲۱, ۶۹۹, ۰۰۰
میانگین (بر اساس احتمال هر سناریو)	۱۱۹۶۳	۵۸۲, ۲۲۸, ۷۰۰	۱۱۶۸۴	۵۷۱, ۶۸۲, ۴۰۰	۱۱۶۸۴	۵۶۳, ۹۳۴, ۴۰۰	۱۱۰۳۸	۵۵۶, ۹۵۶, ۸۰۰
بهبود نسبت به زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور	٪۸٫۴	٪۴٫۵	٪۵٫۹	٪۲٫۶	٪۵٫۹	٪۱٫۲	٪۰	٪۰

نسبت به دو راهبرد ظرفیت مازاد و ذخیره‌ی اضطراری کاراتر است و با بهبود سود و عرضه‌ی شبکه نسبت به شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور همراه است. با افزایش ۳۰ درصدی در هزینه‌های استفاده از راهبرد تشکیل اتحادیه، شبکه‌ی تاب‌آور همچنان با بهبود سود و عرضه نسبت به شبکه‌ی غیر تاب‌آور همراه است ولی کارایی خود را نسبت به دو راهبرد ظرفیت مازاد و ذخیره‌ی اضطراری از دست می‌دهد. در نهایت در صورتی که هزینه‌های استفاده از راهبرد تشکیل اتحادیه به میزان ۴۰ درصد افزایش یابد، استفاده از این راهبرد برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری برای شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین مقرون به‌صرفه نخواهد بود.

- تشکیل اتحادیه در تولیدکنندگان نسبت به تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان تأثیر بیشتری بر بهبود قابلیت عرضه و سود شبکه دارد به‌گونه‌یی که تشکیل اتحادیه در تولیدکنندگان موجب بهبود ۶٫۷ درصدی در مقدار عرضه و افزایش ۵٫۵ درصدی سود شبکه می‌شود؛ درحالی که تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان موجب بهبود ۳٫۵ درصدی در مقدار عرضه و افزایش ۱٫۶ درصدی سود شبکه می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین با هدف ایجاد قابلیت تاب‌آوری از طریق راهبردهای کاهش ریسک

جدول ۱۲. مقایسه‌ی راهبرد تشکیل اتحادیه در تولیدکنندگان و تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان.

سناریو	مقدار عرضه		سود شبکه	
	قابلیت تاب‌آوری از طریق تشکیل اتحادیه در تولیدکنندگان	قابلیت تاب‌آوری از طریق تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان	قابلیت تاب‌آوری از طریق تشکیل اتحادیه در تولیدکنندگان	قابلیت تاب‌آوری از طریق تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان
سناریوی ۱	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	۶۴۹,۶۴۴,۸۰۰	۶۵۰,۴۳۱,۱۰۰
سناریوی ۲	۹۶۵۰	۸۵۷۵	۴۴۹,۵۸۲,۶۰۰	۳۷۷,۹۹۷,۶۰۰
سناریوی ۳	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰	۴۹۰,۸۱۹,۵۰۰	۴۳۵,۵۵۹,۶۰۰
سناریوی ۴	۹۶۵۰	۸۱۸۵	۴۴۱,۰۲۳,۰۰۰	۳۵۶,۷۶۱,۶۰۰
میانگین (بر اساس احتمال هر سناریو)	۱۱۷۷۵	۱۱۴۲۲	۵۸۷,۵۰۳,۳۰۰	۵۶۵,۶۷۶,۵۰۰
بهبود نسبت به زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور	٪۶٫۷	٪۳٫۵	٪۵٫۵	٪۱٫۶

اختلال ارائه شده است. مدل شامل مجموعه‌یی از تولیدکنندگان، مراکز توزیع موجود و بالقوه، خرده‌فروشان موجود و بالقوه و مشتریان است. سه وضعیت در قسمت طراحی مجدد برای مراکز توزیع و خرده‌فروشان در نظرگرفته شده است: ۱. افتتاح تسهیلات بالقوه، ۲. بستن تسهیلات موجود و ۳. تغییر سطح ظرفیت تسهیلات موجود. در این تحقیق یک راهبرد جدید برای کاهش اثرات ریسک به نام تشکیل اتحادیه معرفی شد. آزمایش‌های عددی به‌منظور بررسی کارایی این راهبرد در کنار راهبردهای ظرفیت مازاد و ذخیره‌ی اضطراری بر روی مقاوم‌سازی زنجیره‌ی تأمین انجام شد.

نتایج نشان می‌دهد سیاست‌های ایجاد قابلیت تاب‌آوری موجب بهبود قابلیت عرضه‌ی محصولات و افزایش سود شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین می‌شود؛ به‌گونه‌یی که میانگین قابلیت عرضه‌ی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تاب‌آور ۱۳٪ بیشتر از شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین غیر تاب‌آور است. همچنین سود حاصل از شبکه‌ی تاب‌آور ۹٪ بالاتر از شبکه‌ی غیر تاب‌آور است. از سوی دیگر، تحلیل تأثیر راهبردهای مختلف در افزایش قابلیت عرضه، بیان‌گر این موضوع است که راهبرد تشکیل اتحادیه سهم بیشتری نسبت به راهبرد ظرفیت مازاد و ذخیره‌ی اضطراری در بهبود قابلیت عرضه دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد تشکیل اتحادیه در تولیدکنندگان نسبت به تشکیل اتحادیه در خرده‌فروشان تأثیر بیشتری بر روی قابلیت عرضه و سود شبکه دارد. ارائه‌ی این اطلاعات مفید به تصمیم‌گیرنده برای تجزیه‌وتحلیل بهتر و در نهایت ایجاد تصمیم‌گیری بهینه کمک می‌کند.

در نظرگرفتن اثر عدم قطعیت پارامترها بر روی مدل به‌وسیله‌ی روش‌هایی مانند بهینه‌سازی فازی یا استوار می‌تواند زمینه‌های پژوهشی جذابی برای تحقیقات آتی باشد. ارائه‌ی راهبردهای جدید کاهش ریسک اختلال برای مقاوم‌سازی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین در برابر اختلال و مقایسه‌ی کارایی آن با سایر راهبردهای کاهش ریسک اختلال موجود، به‌عنوان فرصت تحقیقاتی دیگر مطرح می‌شود. همچنین، ارائه‌ی یک روش حل ابتکاری، برای حل مسائل با ابعاد بزرگ و مقایسه‌ی زمان و نتایج آن با نتایج حل دقیق مسئله می‌تواند کار پژوهشی با ارزشی برای آینده باشد.

پانوشت‌ها

1. Global reverse supply chain
2. carbon footprint

منابع (References)

1. Zhou, L., Xu, X., Deng, S. and et al. "Redesigning a supply chain distribution network: formulation and genetic algorithm-based solution procedure", *International Journal of Information Technology & Decision Making*, **14**(04), pp. 847-876 (2015).
2. Ballou, R.H. "Unresolved issues in supply chain network design", *Information Systems Frontiers*, **3**(4), pp. 417-426 (2001).
3. Snyder, L.V. and Daskin, M.S. "Reliability models for facility location: the expected failure cost case", *Transportation Science*, **39**(3), pp. 400-416 (2005).
4. Sheffi, Y., *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability For Competitive Advantage*, MIT Press Books, 1 (2005).
5. Melachrinoudis, E. and Min, H. "The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: a multiple objective approach", *European Journal of Operational Research*, **123**(1), pp. 1-15 (2000).

6. Melachrinoudis, E. and Min, H. "Redesigning a warehouse network", *European Journal of Operational Research*, **176**(1), pp. 210-229 (2007).
7. Bing, X., Bloemhof-Ruwaard, J., Chaabane, A. and et al. "Global reverse supply chain redesign for household plastic waste under the emission trading scheme", *Journal of Cleaner Production*, **103**, pp. 28-39 (2015).
8. Hammami, R. and Frein, Y. "Redesign of global supply chains with integration of transfer pricing: mathematical modeling and managerial insights", *International Journal of Production Economics*, **158**, pp. 267-277 (2014).
9. Paz, J., Orozco, J., Salinas, J. and et al. "Redesign of a supply network by considering stochastic demand", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, **6**(4), pp. 521-528 (2015).
10. Lundin, J.F. "Redesigning a closed-loop supply chain exposed to risks", *International Journal of Production Economics*, **140**(2), pp. 596-603 (2012).
11. Melo, M.T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. "An efficient heuristic approach for a multi-period logistics network redesign problem", *Top*, **22**(1), pp. 80-108 (2014).
12. Melo, M.T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. "A tabu search heuristic for redesigning a multi-echelon supply chain network over a planning horizon", *International Journal of Production Economics*, **136**(1), pp. 218-230 (2012).
13. Razmi, J., Zahedi-Anaraki, A. and Zakerinia, M. "A bi-objective stochastic optimization model for reliable warehouse network redesign", *Mathematical and Computer Modelling*, **58**(11), pp. 1804-1813 (2013).
14. Khatami, M., Mahootchi, M. and Farahani, R.Z. "Benders' decomposition for concurrent redesign of forward and closed-loop supply chain network with demand and return uncertainties", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **79**, pp. 1-21 (2015).
15. Tang, C.S. "Perspectives in supply chain risk management", *International Journal of Production Economics*, **103**(2), pp. 451-488 (2006).
16. Kleindorfer, P.R. and Saad, G.H. "Managing disruption risks in supply chains", *Production and operations management*, **14**(1), pp. 53-68 (2005).
17. Chopra, S., Reinhardt, G. and Mohan, U. "The importance of decoupling recurrent and disruption risks in a supply chain", *Naval Research Logistics (NRL)*, **54**(5), pp. 544-555 (2007).
18. Snyder, L.V., Scaparra, M.P., Daskin, M.S. and et al. "Planning for disruptions in supply chain networks", *Tutorials In Operations Research*, **2**, pp. 234-257 (2006).
19. Hu, Y., Li, J. and Holloway, L.E. "Towards modeling of resilience dynamics in manufacturing enterprises: literature review and problem formulation", *In Automation Science and Engineering, 2008. CASE 2008. IEEE International Conference on*, pp. 279-284, IEEE (August 2008).
20. Ratick, S., Meacham, B. and Aoyama, Y. "Locating backup facilities to enhance supply chain disaster resilience", *Growth and Change*, **39**(4), pp. 642-666 (2008).
21. Aryanezhad, M.B., Jalali, S.G. and Jabbarzadeh, A. "An integrated supply chain design model with random disruptions consideration", *African Journal of Business Management*, **4**(12), p. 2393- 2401 (2010).
22. Turnquist, M. and Vugrin, E. "Design for resilience in infrastructure distribution networks", *Environment Systems & Decisions*, **33**(1), pp. 104-120 (2013).
23. Sawik, T. "Selection of resilient supply portfolio under disruption risks", *Omega*, **41**(2), 259-269 (2013).
24. Mari, S.I., Lee, Y.H. and Memon, M.S. "Sustainable and resilient supply chain network design under disruption risks", *Sustainability*, **6**(10), pp. 6666-6686 (2014).
25. Sadghiani, N.S., Torabi, S.A. and Sahebjamnia, N. "Retail supply chain network design under operational and disruption risks", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **75**, pp. 95-114 (2015).
26. Rezapour, S., Farahani, R.Z. and Pourakbar, M. "Resilient supply chain network design under competition: a case study", *European Journal of Operational Research*, **259**(3), pp. 1017-1035 (2017).