Archive of SID

بازطراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین به منظور ایجاد قابلیت ارتجاعی با معرفی استراتژی کاهش ریسک تسهیلات با راه‌اندازی دومرحله‌ای

محمّد یاوری[۱،*]، محسن عاقلان[۲]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۲
پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۲

واژگان کلیدی:
بازطراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین، اختلال، قابلیت ارتجاعی، استراتژی کاهش ریسک، تسهیلات با راه‌اندازی دو مرحله‌ای.

چکیده

یکی از چالش‌های مدیریت زنجیرهٔ تأمین، مقاوم‌سازی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین در برابر اختلال است. تحقیقات گذشته، ایجاد قابلیت ارتجاعی را در طراحی زنجیرهٔ تأمین‌های جدید بررسی کرده‌اند؛ ولی ایجاد قابلیت ارتجاعی در شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین نامقاوم موجود، مورد بررسی قرار نگرفته است. این مقاله برای ایجاد قابلیت ارتجاعی در زنجیره‌های تأمین موجود به توسعهٔ یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای حل مسئله بازطراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین، با هدف مقاوم‌سازی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین در برابر اختلال، می‌پردازد. برای ایجاد قابلیت ارتجاعی در شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین، دو استراتژی کاهش ریسک موجود در ادبیات با عنوان «ظرفیت مازاد» و «ذخیرهٔ اضطراری» و یک استراتژی جدید با عنوان «تسهیلات دومرحله‌ای» در سناریوهای مختلف اختلال مورد بررسی قرار گرفته است. ایجاد تسهیلات دومرحله‌ای در دو رده مراکز توزیع و خرده‌فروشان در نظر گرفته شده است. آزمایش‌های عددی به‌منظور بررسی و مقایسه عملکرد شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین ارتجاعی و غیرارتجاعی و همچنین ارزیابی استراتژی‌های مختلف کاهش ریسک، انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد ایجاد قابلیت ارتجاعی، موجب بهبود ۴/۵ و ۵/۵ درصدی در عرضهٔ محصول و سود زنجیرهٔ تأمین می‌شود.

۱- مقدمه

یکی از رویکردهای رایج در دو دههٔ اخیر که تحولات عظیمی را در کشورهای صنعتی در عرصهٔ تولید ایجاد کرده، مدیریت زنجیرهٔ تأمین است [۷]. زنجیرهٔ تأمین شامل تعدادی تسهیل است که وظیفهٔ آن‌ها دریافت مواد خام از تأمین‌کننده‌ها، تولید محصول و توزیع در میان مشتریان است. مسئلهٔ طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین شامل تصمیمات استراتژیک برای تعیین پیکرهٔ کلی زنجیرهٔ تأمین است [۲]. روند بازار، تغییر تقاضای مشتری، افزایش رقابت و قابلیت‌های نوظهور تأثیرگذار بر طراحی شبکه، جنبه‌های متعددی است که شرکت‌ها را وادار به بازطراحی دوره‌ای شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین خود کرده است. بازطراحی شبکه زنجیره تأمین، اقدامی مهم برای ایجاد قابلیت‌های ناموجود در زنجیره، مقابله با محیط در حال تغییر، کاهش هزینهٔ عملیاتی و بهبود خدمات به مشتریان است [۳]. محققان معتقدند بازطراحی شبکه زنجیره تأمین، موجب کاهش ۵ الی ۱۵ درصدی هزینه‌های لجستیکی می‌شود [۴]. بعضی از پژوهشگران در تحقیقات خود در زمینهٔ بازطراحی شبکهٔ زنجیره تأمین، علاوه بر کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین، اهداف دیگری نظیر کاهش آثار زیست‌محیطی، ایجاد توانایی‌های جدید در شبکه، افزایش سطح خدمت‌رسانی به مشتریان و ... را مورد بررسی قرار داده‌اند. از سوی دیگر، زنجیره‌های تأمین با توجه به برون‌سپاری فعالیت‌های متعدد، جهانی‌شدن تجارت، شبکهٔ طولانی با پراکندگی جغرافیایی و پیچیدگی، در معرض حوادث و اختلالات هستند. مدل‌های طراحی زنجیره تأمین سنّتی معمولاً

*. پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.yavari@qom.ac.ir
۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

www.SID.ir

Archive of SID

احتمال به وجود آمدن اختلال را در هنگام طراحی شبکه لحاظ نکرده‌اند؛ در حالی که در جهان واقعی، تسهیلات همیشه آسیب‌پذیر هستند و انواع مختلف اختلالات به علت بلایای طبیعی، اعتصاب، تغییر مالکیت و عوامل دیگر به وجود می‌آید [۵]. برای مقابله با اختلالات زنجیره‌های تأمین باید طرح و برنامه داشت و از آمادگی اولیه برخوردار بود. عدم واکنش مناسب و به‌هنگام زنجیره تأمین در مواجهه با اختلال، موجب کاهش سطح فعالیت زنجیره تأمین و در نتیجه کاهش سطح خدمت‌رسانی می‌شود. در ادبیات موضوع، برای واکنش مناسب هنگام مواجهه با حوادث نامطلوب جهت حفظ سطح فعالیت زنجیره تأمین، به راهکاری با عنوان «زنجیره تأمین ارتجاعی» اشاره شده است [۶]. قابلیت ارتجاعی موجب می‌شود شرکت‌ها پس از اختلال به‌سرعت به سطح عملکرد طبیعی خود بازگردند و حتی از وضعیت به‌وجودآمده به‌عنوان فرصت برای ایجاد مزیت رقابتی استفاده کنند. سؤال اصلی این تحقیق آن است که شبکه زنجیره تأمین چگونه مقاوم‌سازی و بازطراحی شود تا در رویارویی با حوادث نامطلوب، واکنش مناسب نشان دهد. علی‌رغم اهمیت ایجاد قابلیت ارتجاعی در شبکه‌های زنجیره تأمین موجود، بخش بزرگی از ادبیات، نحوه طراحی زنجیره تأمین ارتجاعی را مورد تأکید قرار داده و از بازطراحی شبکه‌های موجود غافل شده است؛ در حالی که با توجه به جدید بودن مفهوم قابلیت ارتجاعی، بسیاری از مدیران زنجیره تأمین هنگام طراحی شبکه، ملاحظات لازم جهت ایجاد قابلیت ارتجاعی را مدّ نظر قرار نداده‌اند. انگیزهٔ اصلی از انجام این تحقیق، بازطراحی شبکه زنجیره تأمین موجود بهمنظور ایجاد قابلیت ارتجاعی است.

به این منظور از استراتژی‌های پر استناد ذکرشده در ادبیات، از جمله ظرفیت مازاد و ذخیره اضطراری به همراه استراتژی جدید تسهیلات دومرحله‌ای برای ایجاد قابلیت ارتجاعی در شبکه زنجیره تأمین استفاده می‌شود. در بازطراحی زنجیره تأمین در خصوص افتتاح تسهیلات بالقوه، بستن تسهیلات موجود و تغییر سطح ظرفیت تسهیلات موجود و همچنین پیکره‌بندی زنجیره، تصمیم‌گیری می‌شود. برخی از سؤالات اصلی که در این پژوهش به آن‌ها پرداخته می‌شود، عبارت‌اند از: چگونه می‌توان یک شبکه زنجیره تأمین موجود را بازطراحی کرد؟ چگونه می‌توان در بازطراحی، قابلیت ارتجاعی ایجاد کرد؟ کارایی استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای در ایجاد قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین به چه میزان است؟ تأثیر هر یک از استراتژی‌های استفاده شده، بر مقدار سود و قابلیت عرضه محصولات به چه میزان است؟

در این تحقیق، شبکه توزیع چندسطحی که شامل کارخانه‌ها، مراکز توزیع، خرده‌فروشان و مناطق مشتری است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سه امکان در قسمت بازطراحی برای تسهیلات در نظر گرفته شده است: ۱. افتتاح تسهیلات بالقوه؛ ۲. بستن تسهیلات موجود؛ ۳. تعدیل سطح ظرفیت تسهیلات موجود. ساخت تسهیلات دومرحله‌ای به صورت دومرحله‌ای صورت می‌گیرد، به گونه‌ای که در مورد ایجاد زیرساخت تسهیلات دومرحله‌ای در ابتدای برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری شده، در سناریوهای مختلف در مورد راه‌اندازی و بهره‌برداری از زیرساخت‌های ایجادشده، تصمیم گرفته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد سیاست‌های ایجاد قابلیت ارتجاعی، موجب بهبود سطح خدمت‌رسانی به مشتریان و افزایش سود زنجیره تأمین می‌گردد.

ساختار مقاله حاضر بدین ترتیب است که در بخش ۲، تحقیقات انجام‌شده در ادبیات مرتبط به حوزه مورد بررسی مرور می‌شود. در بخش ۳، مسئله تحقیق تشریح می‌شود و مدل ریاضی مسئله توسعه داده می‌شود. در بخش ۴، مدل بازطراحی ارتجاعی زنجیره تأمین در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. سرانجام در بخش ۵، نتایج این تحقیق بیان شده است.

۲- مرور ادبیات

با توجه به حوزهٔ تحقیقاتی این پژوهش، در این بخش در ابتدا به مرور تحقیقات انجام‌شده در دو زمینه بازطراحی شبکه زنجیره تأمین و مدل‌سازی قابلیت ارتجاعی پرداخته و سپس شکاف‌های تحقیقاتی و نوآوری‌های این پژوهش ارائه می‌شود. امروزه مدل‌های بازطراحی شبکه زنجیره تأمین به صورتی گسترده در حوزه‌های کاربردی مختلف، توسعه یافته‌اند. ملاچرینودیس و مین [۷] به مکان‌یابی مجدد تسهیلات برای تناسب زنجیره تأمین با تغیرات محیط کسب و کار پرداختند. اهداف آن‌ها حداکثر کردن سود کل در طول افق برنامه‌ریزی، به حداقل رساندن کل زمان دسترسی (زمان حمل‌ونقل محصولات بین رده‌های مختلف زنجیره تأمین) و حداکثر کردن انگیزه‌های محلی به‌وجودآمده از افتتاح تسهیلات در طول افق برنامه‌ریزی بوده است. آن‌ها همچنین در تحقیقی دیگر [۸]، برای مسئله بازطراحی شبکه انبارها یک مدل برنامه‌ریزی

www.SID.ir

Archive of SID

تک‌هدفه و تک‌دوره‌ای را تحت محدودیت ظرفیت انبارها توسعه دادند. بینگ و همکاران [۹] برای کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین و آثار زیست‌محیطی و جلوگیری از گسترش آلاینده‌ها، به بازطراحی زنجیره تأمین معکوس جهانی، پرداختند. آن‌ها بر اساس طرح تجارت انتشار به‌عنوان ابزاری برای کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای، از طریق مکان‌یابی مجدد کارخانه‌های فرآوری مجدد زباله‌ها، به بازطراحی شبکه موجود پرداختند. حمامی و فرین [۱۰] برای بازطراحی شبکه زنجیره تأمین در افق برنامه‌ریزی چنددوره‌ای در چارچوب جهانی، یک مدل بهینه‌سازی ریاضی را توسعه داده‌اند. هدف آن‌ها حداکثر کردن درآمد پس از مالیات برای تمام سایت‌های یک شرکت جهانی، از طریق افتتاح و بستن سایت‌ها، جابه‌جایی ظرفیت و انتخاب تأمین‌کنندگان خارجی و مکان‌یابی تسهیلات تولیدی بوده است. پاز و همکاران [۱۱] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تک‌هدفه را برای بازطراحی شبکه زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت در تقاضای مشتریان توسعه دادند. آن‌ها از طریق بستن یا تنظیم ظرفیت برخی رده‌های شبکه و تصمیم‌گیری مربوط به کانال‌های توزیع مورد استفاده برای حمل‌ونقل محصولات، درصدد حداکثر کردن سود قبل از مالیات و استهلاک بوده‌اند. لاندین [۱۲] با هدف کاهش حمل‌ونقل‌ها و تجهیزات ذخیره‌سازی بانک مرکزی، یک مدل بهینه‌سازی ریاضی جهت بازطراحی شبکه زنجیره تأمین پول در افق برنامه‌ریزی چنددوره‌ای توسعه داد. ملو و همکاران [۱۳] برای یک مسئله بازطراحی شبکه زنجیره تأمین چندمحصولی با هدف کاهش هزینه‌های شبکه، یک روش ابتکاری کارآمد ارائه دادند. همچنین آن‌ها در پژوهشی دیگر [۱۴] برای حل مسئله بازطراحی از رویکرد ابتکاری جست‌وجو ممنوع استفاده کردند. آن‌ها با بازطراحی شبکه زنجیره تأمین از طریق تصمیم‌گیری در خصوص سطح موجودی در انبارها، جابه‌جایی امکانات موجود به سایت‌های جدید و جریان کالاها در بین رده‌های مختلف شبکه، درصدد کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین در طول افق برنامه‌ریزی بودند. رزمی و همکاران [۱۵] برای بازطراحی شبکه انبارها با تمرکز بر قابلیت اطمینان شبکه یک مدل بهینه‌سازی تصادفی دوهدفه را توسعه دادند. هدف آن‌ها، حداقل کردن هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین و حداکثر رساندن درصد پوشش تقاضای مشتریان با توجه به ارجحیت در زمان تحویل بوده است. ژو و همکاران [۳] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه را برای بازطراحی شبکه زنجیره تأمین با هدف تناسب با تغییرات محیط کسب‌وکار توسعه دادند. آن‌ها از طریق تصمیم‌گیری در خصوص مکان‌یابی تسهیلات جدید و بستن یا تغییر ظرفیت تسهیلات موجود، درصدد دستیابی به اهداف خود بودند. اهداف آن‌ها حداقل کردن هزینه تعدیل تسهیلات و هزینه‌های بهره‌برداری از شبکه و حداکثر کردن سطح خدمات‌رسانی به مشتریان بوده است. خاتمی و همکاران [۱۶] یک مدل بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط تصادفی را برای بازطراحی زنجیره تأمین رو به جلو و ایجاد زنجیره تأمین معکوس توسعه دادند. آن‌ها عدم قطعیت در میزان تقاضای محصولات و محصولات برگشتی را در مدل خود لحاظ کردند.

مدیریت اختلال با توجه به چالش‌های مدیریتی که پس از وقوع حوادث ایجاد می‌شود، به‌کارگیری قابلیت ارتجاعی برای مقابله با این حوادث را ضروری می‌کند. امروزه تحقیقات متعددی در حوزه مدل‌سازی قابلیت ارتجاعی انجام شده است. اسنایدر و همکاران [۱۷] یک مدل بهینه‌سازی تک هدفه برای برنامه‌ریزی اختلالات در شبکه زنجیره تأمین ارائه دادند. آن‌ها از استراتژی تسهیل اضطراری، که صرفاً در شرایط اختلال مورد استفاده قرار می‌گیرد و امکان خرابی آن صفر است، برای مقابله با اختلال بهره بردند. هو و همکاران [۱۸] برای پاسخ‌دهی به رویدادهای مخرب، یک چارچوب مدل‌سازی برای توصیف قابلیت ارتجاعی شرکتی تولیدی، ارائه کردند. آن‌ها برای ایجاد قابلیت ارتجاعی از دو استراتژی افزونگی موجودی و افزونگی عملیات استفاده کردند. در استراتژی افزونگی عملیات، مجموعه‌ای از عملیات که با منابع در دسترس متفاوت، محصولات نهایی یکسانی تولید می‌کنند، در دسترس است. استراتژی افزونگی موجودی موجب می‌شود، موجودی به اندازه کافی در سیستم برای مقاومت در برابر اختلال وجود داشته باشد. راتیک و همکاران [۱۹] با استفاده از استراتژی ساخت تسهیلات ذخیره‌سازی اضطراری، درصدد مقاوم‌سازی شبکه زنجیره تأمین در برابر اختلال بودند. آریانژاد و همکاران [۲۰] شبکه زنجیره تأمینی را مورد بررسی قرار دادند که در آن مراکز توزیع در معرض اختلالات تصادفی قرار می‌گیرند. در پژوهش آن‌ها تقاضای مشتریان، تصادفی فرض می‌شود؛ بنابراین هر مرکز توزیع، تعدادی ذخایر ایمنی برای جلوگیری از فروش ازدست‌رفته، برای ارائه خدمات مناسب به مشتریان حفظ

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کند. کاروالهو و همکاران [۲۱] برای مقاوم‌سازی زنجیره تأمین، به طراحی مجدد زنجیره تأمین با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی پرداختند. آن‌ها از دو راهکار انعطاف‌پذیری در حمل و نقل و افزونگی از طریق ذخیره اضافی برای برطرف کردن تأخیر عرضه، به‌عنوان اصلی‌ترین اختلال صنعت خودرو استفاده کردند. تورنکوئیست و ووگرین [۲۲] برای طراحی قابلیت ارتجاعی در زیرساخت‌های شبکه توزیع، یک مدل بهینه‌سازی تصادفی ارائه می‌دهند که به طور هم‌زمان فعالیت‌های قبل و بعد از وقوع اختلال را بررسی می‌کند. هدف آن‌ها بازگشت سریع‌تر به حالت اولیه پس از وقوع اختلال از طریق افزایش ظرفیت مراکز توزیع، اتصال مشتریان به یک مرکز توزیع پشتیبان و سرمایه‌گذاری در تسهیلات بوده است. ساویک [۲۳] برای انتخاب سبد عرضه ارتجاعی بر اساس استراتژی‌های حفاظت تأمین‌کنندگان و ذخیره اضطراری پشتیبان یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی را پیشنهاد کرد. ماری و همکاران [۲۴] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه را برای یکپارچه‌سازی تصمیمات پایداری و قابلیت ارتجاعی در طراحی شبکه زنجیره تأمین تحت ریسک اختلال، توسعه دادند. هدف آن‌ها کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه، میزان انتشار کربن، رد پای کربن تأمین‌کنندگان و احتمال اختلال در شبکه بوده است. فضلی و همکاران [۲۵] برای کاهش آثار نامطلوب اختلالات و پاسخ به نیاز مشتریان در هنگام وقوع اختلال، از استراتژی ذخیره اطمینان در مراکز توزیع استفاده کردند. در این استراتژی اگر مقدار محصولات مورد نیاز در اثر اختلالات، بیش از مقدار ذخیره اطمینان باشد، مقدار کمبود با قبول جریمه، برون‌سپاری می‌شود، در غیر این صورت، ذخیره اطمینان باقی‌مانده در انتهای دوره، مشمول هزینه نگهداری خواهد شد. صادقیانی و همکاران [۲۶] برای ایجاد مزیت رقابتی به طراحی شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی تحت ریسک عملیاتی و اختلال پرداختند. آن‌ها از استراتژی منابع چندگانه برای مواجهه با اختلال استفاده کردند؛ به گونه‌ای که هر خرده‌فروش برای دریافت کالا، به چندین منبع متصل باشد تا در صورت رخداد اختلال در یکی از منابع، امکان بهره‌مندی از سایر منابع در دسترس باشد. رضاپور و همکاران [۲۷] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی تحت شرایط رقابتی بازار توسعه دادند. آن‌ها در زنجیره تأمین مورد بررسی خود مواجهه با دو ریسک اختلال در تأمین‌کنندگان و رقابت شدید با رقبا در بازار را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از سه استراتژی ذخیره اضطراری، ظرفیت مازاد و منابع چندگانه برای کاهش احتمال ایجاد اختلال در خدمت‌رسانی به مشتریان استفاده کردند. کمال‌احمدی و ملت‌پرست [۲۸] برای شناسایی وضعیت موجود و شکاف‌های تحقیقاتی و پیشنهاد فعالیت‌های آتی، به بررسی و مرور تحقیقات انجام‌شده در زمینه قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین پرداختند. جدول ۱ مطالعات موجود در زمینه کمی‌سازی قابلیت ارتجاعی و مدل‌سازی بازطراحی شبکه زنجیره تأمین را نشان می‌دهد.

علیرغم اهمیت قابلیت ارتجاعی در شبکه زنجیره تأمین برای مقابله با اختلال، در طراحی شبکه بسیاری از زنجیره‌های تأمین، ملاحظات مقاوم‌سازی زنجیره مورد توجه قرار نگرفته است؛ از این رو برای ایجاد این توانایی باید شبکه موجود، مورد بازطراحی قرار گیرد. در ادبیات موجود در حوزه مدل‌سازی بازطراحی شبکه زنجیره تأمین اهداف گوناگونی نظیر اقتصادی، زیست‌محیطی و ... مورد بررسی قرار گرفته و به بازطراحی کل سیستم شبکه زنجیره تأمین (انتقال امکانات، تنظیم مجدد سیستم، تغییر مجاری ارتباطی بین تسهیلات و ...) پرداخته نشده است، بلکه از طریق سرمایه‌گذاری، قابلیت اطمینان زیرساخت‌ها در انجام اقدامات حفاظتی و امنیتی را افزایش داده‌اند. از این رو نوآوری اصلی در این پژوهش، بازطراحی شبکه زنجیره تأمین موجود برای ایجاد قابلیت ارتجاعی است. از سوی دیگر، در حوزه پژوهشی کمی‌سازی و مدل‌سازی ریاضی قابلیت ارتجاعی، تحقیقات فراوانی صورت گرفته است که تعداد محدودی از استراتژی‌های کاهش ریسک به صورت‌های مختلف، مدل‌سازی شده‌اند و به ارائه یک استراتژی جدید نپرداخته‌اند. نوآوری دوم این تحقیق، معرفی استراتژی «تسهیلات دومرحله‌ای» به‌عنوان یک استراتژی کاهش ریسک در زنجیره تأمین و ارزیابی کارایی استراتژی معرفی‌شده در ترکیب با سایر استراتژی‌های کاهش ریسک در زنجیره تأمین است. همچنین توسعه یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای بازطراحی شبکه زنجیره تأمین به همراه ایجاد قابلیت ارتجاعی، دیگر نوآوری این پژوهش است.

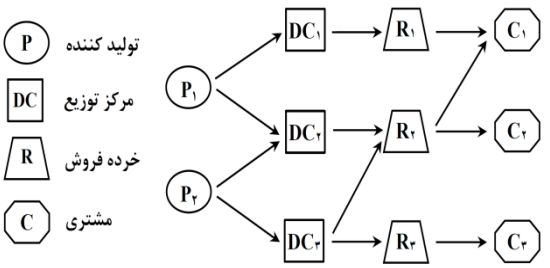
۳- شرح مسئله

هدف این پژوهش، بازطراحی شبکه زنجیره‌تأمین موجود

www.SID.ir

Archive of SID

برای ایجاد قابلیت ارتجاعی است. شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی در این تحقیق، چندسطحی، چندمحصولی با ظرفیت محدود در تسهیلات است. شکل (۱) ساختار شبکه زنجیره تأمین را نشان می‌دهد که متشکّل از تولیدکنندگان، مراکز توزیع، خرده‌فروشان و مناطق مشتری است. ظرفیت تولید تولیدکنندگان به صورت محدود در نظر گرفته می‌شود. تولیدکنندگان، محصولات مورد نیاز مراکز توزیع را تأمین و مراکز توزیع محصولات را بین خرده‌فروشان توزیع می‌کنند و خرده‌فروشان به مشتریان خدمت می‌دهند.



شکل ۱: ساختار شبکه زنجیره تأمین

جدول ۱: طبقه‌بندی ادبیات مربوط به حوزه کمی‌سازی و مدل‌سازی قابلیت ارتجاعی و بازطراحی شبکه زنجیره تأمین

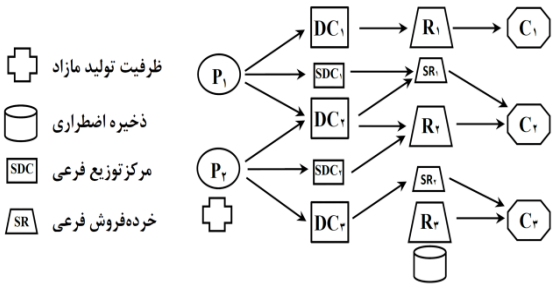
نویسنده		هدف از بازطراحی						استراتژی‌های کاهش ریسک							
		کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین	افزایش سطح رضایت مشتری	کاهش اثرات زیست محیطی	نگاه جهانی به زنجیره تأمین	حداکثر کردن سود	ایجاد قابلیت ارتجاعی	ظرفیت مازاد	ذخیره اضطراری	منابع چندگانه	تسهیل اضطراری	سرمایه گذاری در تسهیلات	تسهیلات دو مرحله‌ای	سایر	توضیح
مقالات مدل‌سازی بازطراحی شبکه زنجیره تأمین	Melachrinoudis & Min (2000)		✓			✓									
	Melachrinoudis & Min (2007)	✓													
	Melo et al (2011)	✓													
	Lundin (2012)	✓													
	Melo et al (2012)	✓													
	Razmi et al (2013)	✓	✓												
	Hammami & Frein (2014)				✓	✓									
	Bing et al (2015)	✓		✓											
	Juan Camilo Paz et al (2015)					✓									
	Zhou et al (2015)	✓	✓												
	Khatami et al (2015)	✓													
مقالات کمی سازی قابلیت ارتجاعی	Snyder et al (2006)										✓				
	Aryanezhad et al (2006)								✓					✓	استفاده از ذخیره اطمینان
	Ratick et al (2008)										✓				
	Turnquist and Vugrin (2012)							✓		✓		✓			
	Sawik (2013)								✓			✓			
	Mari et al (2014)													✓	حداقل کردن هزینه‌های اختلال
	Sadghiani et al (2015)									✓					
	Rezapour et al (2016)							✓	✓	✓					
این پژوهش						✓	✓	✓	✓				✓		

www.SID.ir

Archive of SID

تصمیمات موردنیاز که برای بازطراحی شبکه موجود اخذ می‌شود عبارت است از: ۱. تعیین وضعیت مراکز توزیع و خرده‌فروشان برای ایجاد، از بین بردن یا تعدیل سطح ظرفیت؛ ۲. ظرفیت هر یک از تسهیلات؛ ۳. مقادیر محصولات حمل‌شده بین تسهیلات شبکه.

برای برطرف کردن آثار منفی ناشی از اختلالات، از سه استراتژی رزرو ظرفیت مازاد تولید در تولیدکنندگان، نگهداری ذخیره اضطراری در خرده‌فروشان و احداث تسهیلات دومرحله‌ای در دو لایه مراکز توزیع و خرده‌فروشان استفاده می‌کنیم (شکل (۲)).



شکل ۲: ساختار شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی

استراتژی‌های ظرفیت مازاد و ذخیره اضطراری در تحقیقات گذشته، معرفی و استفاده شده است. در استراتژی ظرفیت مازاد در تعدادی از تأمین‌کنندگان برای جبران ظرفیت تسهیلاتی که دچار اختلال شده‌اند، ظرفیت مازاد، ایجاد و رزرو می‌شود. در استراتژی ذخیره اضطراری، در تسهیلات یک موجودی اضطراری در نظرگرفته شده است که در مواقع وقوع اختلال از این موجودی استفاده شود. در این تحقیق، یک استراتژی کاهش ریسک جدید که «تسهیلات دومرحله‌ای» نام‌گذاری شده، معرفی و استفاده شده است. در این استراتژی در لایه‌های مراکز توزیع و خرده‌فروشان، تعدادی تسهیل دومرحله‌ای که بخشی از فعالیت انجام‌شده توسط تسهیل اصلی را پشتیبانی می‌کند، قرار می‌گیرد. تسهیلات دومرحله‌ای صرفاً محصولات ضروری را پشتیبانی می‌کند. محصولات ضروری محصولاتی هستند که پوشش تقاضای آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به عنوان مثال داروهای اورژانسی. احتمال خرابی تسهیلات دومرحله‌ای بسیار کم است و در صورت خرابی، به‌سرعت و با هزینهٔ کم برطرف می‌شود. تسهیلات دومرحله‌ای دارای هزینه راه‌اندازی کم و ظرفیت محدود و ثابت هستند. ساخت تسهیلات دومرحله‌ای به‌صورت دومرحله‌ای صورت می‌گیرد؛ به گونه‌ای که در مورد ایجاد زیرساخت تسهیلات دومرحله‌ای در ابتدای برنامه‌ریزی و در سناریوهای مختلف در مورد راه‌اندازی و بهره‌برداری از زیرساخت‌های ایجادشده، تصمیم‌گیری می‌شود. استراتژی کاهش ریسک تسهیلات دومرحله‌ای سه تفاوت اصلی با استراتژی تسهیل اضطراری دارد که عبارت است از: ۱. احداث دومرحله‌ای تسهیلات؛ ۲. پشتیبانی بخشی از فعالیت‌های انجام‌شده توسط تسهیل اصلی؛ ۳. هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری پایین‌تر با توجه به ارائه خدمات محدود. خروجی‌های مدل در حوزه قابلیت ارتجاعی، عبارت است از: ۱. تصمیم‌گیری در خصوص میزان ظرفیت مازاد ایجادشده در تولیدکنندگان؛ ۲. تصمیم‌گیری دربارهٔ میزان ذخیره اضطراری نگهداری شده در خرده‌فروشان؛ ۳. تصمیم‌گیری دربارهٔ مکان ایجاد زیرساخت تسهیلات دومرحله‌ای از بین نقاط بالقوه؛ ۴. تصمیم‌گیری دربارهٔ راه‌اندازی و بهره‌برداری از زیرساخت‌های ایجادشده در سناریوهای مختلف.

۳-۱- بازطراحی شبکه زنجیره تأمین غیرارتجاعی

در این قسمت، مدل ریاضی بازطراحی شبکه زنجیره تأمین موجود، بدون لحاظ کردن استراتژی‌های کاهش ریسک (زنجیره تأمین غیرارتجاعی) ارائه می‌شود. به این منظور، نمادهای مسئله در سه قسمت مجموعه‌ها و اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترها معرفی می‌شوند.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

P	مجموعه تولیدکننده‌ها با اندیس p
J	مجموعه مراکز توزیع موجود و بالقوه با اندیس j
I	مجموعه خرده‌فروشان موجود و بالقوه با اندیس i
R	مجموعه مناطق مشتری با اندیس r
M	مجموعه سطوح ظرفیت در دسترس برای مراکز توزیع موجود و بالقوه با اندیس m و l (که در آن $m=۱$ بدان معنی است که مرکز توزیع باز نیست.)
N	مجموعه سطوح ظرفیت در دسترس برای خرده‌فروشان موجود و بالقوه با اندیس n و g (که در آن $n=۱$ بدان معنی است که خرده‌فروش باز نیست.)

www.SID.ir

Archive of SID

C مجموعه محصولات با اندیس c

EC مجموعه محصولات ضروری $(EC \subset C)$

S مجموعه سناریوهای اختلال امکان‌پذیر با اندیس s

متغیرهای تصمیم

xa_{jlm} یک، اگر سطح ظرفیت مرکز توزیع j از l به m تعدیل یابد، در غیر این صورت، صفر. (xa_{jll} اگر یک باشد، نشان می‌دهد مرکز توزیع j در همان سطح ظرفیت باقی می‌ماند. $xa_{j۱۱}$ یعنی مرکز توزیع j همچنان بسته است. $xa_{j۱m}$ اگر یک باشد، نشان می‌دهد مرکز توزیع j با سطح ظرفیت m باز می‌شود. $xa_{jl۱}$ اگر یک باشد، نشان می‌دهد مرکز توزیع j که در سطح ظرفیت l بوده، بسته شده است.)

xb_{ign} یک، اگر سطح ظرفیت خرده‌فروش i از g به n تعدیل یابد، در غیر این صورت، صفر. (xb_{igg} اگر یک باشد، نشان می‌دهد خرده‌فروش i در همان سطح ظرفیت باقی می‌ماند. $xb_{i۱۱}$ یعنی خرده‌فروش i همچنان بسته است. $xb_{i۱n}$ اگر یک باشد، نشان می‌دهد خرده‌فروش i با سطح ظرفیت n باز می‌شود. $xb_{ig۱}$ اگر یک باشد، نشان می‌دهد خرده‌فروش i که در سطح ظرفیت g بوده، بسته شده است.)

ya^s_{pjc} مقدار محصول c که تحت سناریو s از تولیدکننده p به مرکز توزیع اصلی j منتقل می‌شود.

yc^s_{jic} مقدار محصول c که تحت سناریو s از مرکز توزیع اصلی j به خرده‌فروش اصلی i منتقل می‌شود.

yg^s_{irc} مقدار محصول c که تحت سناریو s از خرده‌فروش اصلی i به مشتری r منتقل می‌شود.

o^s_{pc} مقدار محصول c تولیدشده در تولیدکننده p تحت سناریو s

پارامترها

pcp_{pc} هزینه تولید هر واحد محصول c در تولیدکننده p

tca_{pj} هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بین تولیدکننده p و مرکز توزیع اصلی j

tcc_{ji} هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بین مرکز توزیع j و خرده‌فروش i

tcg_{ir} هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بین خرده‌فروش i و مشتری r

fca_{jm} هزینه ثابت عملیاتی مرکز توزیع j با سطح ظرفیت m

fcb_{in} هزینه ثابت عملیاتی خرده‌فروش i با سطح ظرفیت n

aca_{jlm} هزینه تعدیل سطح ظرفیت مرکز توزیع j از l به m

acb_{ign} هزینه تعدیل سطح ظرفیت خرده‌فروش i از g به n

d_{rc} مقدار تقاضای مشتری r برای محصول c

ha_m ظرفیت سطح m برای مراکز توزیع

hb_n ظرفیت سطح n برای خرده‌فروشان

cta_{pc} ظرفیت تولید محصول c در تولیدکننده p

ps_{rc} قیمت فروش محصول c به مشتری r

po_s احتمال وقوع سناریو s

۳-۱-۱- مدل ریاضی

$$Max\, Z =$$

$$\sum_s po_s \cdot \left\{ \left[\sum_i \sum_r \sum_c ps_{rc} . yg^s_{irc} \right] \right.$$

$$- \left[\sum_p \sum_c o^s_{pc} . pcp_{pc} \right] - \left[\sum_p \sum_j \sum_c ya^s_{pjc} . tca_{pj} \right.$$

$$\left. \left. + \sum_j \sum_i \sum_c yc^s_{jic} . tcc_{ji} + \sum_i \sum_r \sum_c yg^s_{irc} . tcg_{ir} \right] \right\}$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$-\left[\sum_{j}\sum_{l}\sum_{m} aca_{jm}.xa_{jlm} + \sum_{i}\sum_{g}\sum_{n} acb_{in}.xb_{ign}\right]$$

$$-\left[\sum_{j}\sum_{l}\sum_{m} fca_{jm}.xa_{jlm} + \sum_{i}\sum_{g}\sum_{n} fcb_{in}.xb_{ign}\right] \qquad (۱)$$

$subject\ to:$

$$o^s_{pc} = \sum_{j} ya^s_{pjc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۲)$$

$$\sum_{p} ya^s_{pjc} = \sum_{i} yc^s_{jic} \quad , \quad \forall j,c,s \qquad (۳)$$

$$\sum_{j} yc^s_{jic} = \sum_{r} yg^s_{irc} \quad , \quad \forall i,c,s \qquad (۴)$$

$$\sum_{i} yg^s_{irc} \le d_{rc} \quad , \quad \forall r,c,s \qquad (۵)$$

$$\sum_{l,m} xa_{jlm} = 1 \quad , \quad \forall j \qquad (۶)$$

$$\sum_{g,n} xb_{ign} = 1 \quad , \quad \forall i \qquad (۷)$$

$$o^s_{pc} \le cta_{pc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۸)$$

$$\sum_{i}\sum_{c} yc^s_{jic} \le \sum_{l,m} xa_{jlm}.ha_m \quad , \quad \forall j,s \qquad (۹)$$

$$\sum_{r}\sum_{c} yg^s_{irc} \le \sum_{g,n} xb_{ign}.hb_n \quad , \quad \forall i,s \qquad (۱۰)$$

$$xa_{jlm}, xb_{ign} \in \{0,1\} \qquad (۱۱)$$

$$ya^s_{pjc}, yc^s_{jic}, yg^s_{irc}, o^s_{pc} \ge 0 \qquad (۱۲)$$

در مدل ریاضی فوق، تابع هدف (۱) نشان‌دهندهٔ سود کلی زنجیره تأمین است که از اختلاف درآمد حاصل از فروش محصولات و کل هزینه‌های زنجیره تأمین محاسبه می‌شود. در این عبارت، بخش اول نشان‌دهندهٔ درآمد حاصل از فروش محصولات، بخش دوم، هزینه‌های تولید محصول در تولیدکنندگان، بخش سوم، هزینه حمل‌ونقل محصولات بین رده‌های مختلف زنجیره تأمین، بخش چهارم، هزینه تعدیل سطح ظرفیت مراکز توزیع و خرده‌فروشان و بخش پنجم، هزینه ثابت عملیاتی در مراکز توزیع و خرده‌فروشان است. محدودیت‌های (۴-۲) 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 تنها دارای یک سطح ظرفیت هستند. محدودیت‌های (۱۰ - ۸) 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.

۳-۲- بازطراحی شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی

در این بخش به ارائه مدل ریاضی بازطراحی شبکه زنجیره تأمین برای ایجاد قابلیت ارتجاعی از طریق استراتژی‌های ظرفیت مازاد، ذخیره اضطراری و تسهیلات دومرحله‌ای پرداخته می‌شود. در ابتدا، به بیان نحوه مدل‌سازی هر یک از استراتژی‌های ظرفیت مازاد، ذخیره اضطراری و تسهیلات دومرحله‌ای و تأثیر هر یک از آن‌ها بر روی تابع هدف می‌پردازیم. به این منظور اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترهای مورد نیاز به شرح زیر تعریف می‌شوند.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

V	مجموعه مراکز توزیع فرعی (مراکز توزیع دومرحله‌ای) بالقوه با اندیس v
U	مجموعه خرده‌فروشان فرعی (خرده‌فروشان دومرحله‌ای) بالقوه با اندیس u

متغیرهای تصمیم

xc_v	یک، اگر زیرساخت مرکز توزیع فرعی v احداث شود، در غیر این صورت، صفر
xd_u	یک، اگر زیرساخت خرده‌فروش فرعی u احداث شود، در غیر این صورت، صفر
oxc^s_v	یک، اگر مرکز توزیع فرعی v تحت سناریو s راه‌اندازی و بهره‌برداری گردد، در غیر این صورت، صفر
oxd^s_u	یک، اگر خرده‌فروش فرعی u تحت سناریو s راه‌اندازی و بهره‌برداری گردد، در غیر این صورت، صفر
es^s_i	یک، اگر خرده‌فروش i تحت s سناریو بتواند از موجودی اضطراری استفاده کند، در غیر این صورت، صفر
yb^s_{pvc}	مقدار محصول ضروری c که تحت سناریو s از کارخانه p به مرکز توزیع فرعی v منتقل می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

yd^s_{juc}	مقدار محصول ضروری c که تحت سناریو s از مرکز توزیع اصلی j به خرده‌فروش فرعی u منتقل می‌شود.
ye^s_{vic}	مقدار محصول ضروری c که تحت سناریو s از مرکز توزیع فرعی v به خرده‌فروش اصلی i منتقل می‌شود.
yf^s_{vuc}	مقدار محصول ضروری c که تحت سناریو s از مرکز توزیع فرعی v به خرده‌فروش فرعی u منتقل می‌شود.
yge^s_{irc}	مقدار محصول c که تحت سناریو s از ذخیره اضطراری خرده‌فروش i به مشتری r منتقل می‌شود.
ygn^s_{irc}	مقدار محصول c که تحت سناریو s از طریق شبکه و اتحادیه، از خرده‌فروش i به مشتری r منتقل می‌شود.
yh^s_{urc}	مقدار محصول ضروری c که تحت سناریو s از خرده‌فروش فرعی u به مشتری r منتقل می‌شود.
aex_{pc}	مقدار ظرفیت مازاد ایجادشده برای تولید محصول c در تولیدکننده p
aes_{ic}	مقدار موجودی اضطراری محصول c که در خرده‌فروش i نگهداری می‌شود.

پارامترها

tcb_{pv}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بین کارخانه p و مرکز توزیع فرعی v
tcd_{ju}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بین مرکز توزیع اصلی j و خرده‌فروش فرعی u
tce_{vi}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بین مرکز توزیع فرعی v و خرده‌فروش اصلی i
tcf_{vu}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بین مرکز توزیع فرعی v و خرده‌فروش فرعی u
tch_{ur}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول بین خرده‌فروش فرعی u و مشتری r
hc_v	ظرفیت مرکز توزیع فرعی v
w^s_i	اگر امکان بهره‌گیری خرده‌فروش اصلی i از شبکه یا اتحادیه تحت سناریو s در دسترس باشد، یک، در غیر این صورت صفر
mc_{ic}	هزینه نگهداری هر واحد محصول c در خرده‌فروش اصلی i
cce_{ic}	هزینه استفاده از یک واحد ذخیره اضطراری محصول c در خرده‌فروش i
ex_{pc}	هزینه ایجاد هر واحد ظرفیت مازاد تولید محصول c در تولیدکننده p
mex_{pc}	حداکثر ظرفیت مازاد تولید قابل ایجاد برای محصول c در تولیدکننده
mes_{ic}	حداکثر ذخیره اضطراری قابل ایجاد محصول c در خرده‌فروش i
zca_v	هزینه احداث زیرساخت مرکز توزیع فرعی v
zcb_u	هزینه احداث زیرساخت خرده‌فروش فرعی u
oca_v	هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری از مرکز توزیع فرعی v
ocb_u	هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری از خرده‌فروش فرعی u
hd_u	ظرفیت خرده‌فروش فرعی u
nb	یک مقدار بزرگ

رزرو ظرفیت مازاد تولید در تولیدکنندگان

برای اضافه کردن استراتژی ظرفیت مازاد، متغیر aex_{pc} که نشان‌دهندهٔ مقدار ظرفیت مازاد ایجادشده برای محصول c در تولیدکننده p است، تعریف می‌شود. برای رعایت حداکثر ظرفیت مازاد قابل ایجاد، محدودیت زیر اضافه می‌شود:

$$aex_{pc} \le mex_{pc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۱۳)$$

و محدودیت شماره (۸) به‌صورت زیر تغییر می‌کند:

$$o^s_{pc} \le cta_{pc} + aex_{pc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۱۴)$$

با افزودن استراتژی ظرفیت مازاد، ظرفیت بیشتری در تولیدکنندگان انتخاب‌شده در دسترس خواهد بود و هزینه مربوط به‌صورت $\sum_p \sum_c ex_{pc}.aex_{pc}$ به تابع هدف اضافه خواهد شد که بیانگر هزینه ایجاد ظرفیت مازاد تولید

www.SID.ir

Archive of SID

در تولیدکنندگان است.

نگهداری ذخیره اضطراری در خرده‌فروشان

برای اضافه نمودن استراتژی ذخیره اضطراری، چهار متغیر es_i^s، aes_{ic}، yge_{irc}^s و ygn_{irc}^s باید تعریف شود. متغیر es_i^s یک متغیر باینری است که در مورد استفاده از استراتژی موجودی اضطراری در خرده‌فروش i تحت سناریو s تصمیم‌گیری می‌کند. متغیر aes_{ic} مقدار موجودی اضطراری محصول c را که در خرده‌فروش i نگهداری می‌شود، تعیین می‌کند. متغیر yge_{ir}^s نشان‌دهندهٔ مقدار محصول c ارسالی تحت سناریو s از ذخیره اضطراری خرده‌فروش i به مشتری r است. متغیر ygn_{irc}^s بیانگر مقدار محصول c انتقالی تحت سناریو s از طریق شبکه، از خرده‌فروش i به مشتری r است. محدودیت‌های زیر برای مدل‌سازی استراتژی ذخیره اضطراری، مورداستفاده قرار می‌گیرد:

$$yg_{irc}^s = yge_{irc}^s + ygn_{irc}^s \quad , \quad \forall i,r,c,s \qquad (۱۵)$$

$$es_i^s \le 1 - w_i^s \quad , \quad \forall i,s \qquad (۱۶)$$

$$yge_{irc}^s \le nb.es_i^s \quad , \quad \forall i,r,c,s \qquad (۱۷)$$

$$ygn_{irc}^s \le nb.w_i^s \quad , \quad \forall i,r,c,s \qquad (۱۸)$$

$$\sum_r yge_{irc}^s \le aes_{ic} \quad , \quad \forall i,c,s \qquad (۱۹)$$

$$aes_{ic} \le mes_{ic} \quad , \quad \forall i,c \qquad (۲۰)$$

محدودیت (۱۵) نشان می‌دهد تقاضای مشتریان از طریق ذخیره اضطراری یا 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 ذخیره اضطراری پاسخ داده می‌شود که امکان استفاده از ذخیره 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 ذخیره اضطراری موجود در خرده‌فروش از مقدار محصول عرضه‌شده از طریق ذخیره اضطراری بیشتر باشد. محدودیت (۲۰) تضمین می‌کند مقدار ذخیره اضطراری ایجادشده در خرده‌فروشان از حداکثر ذخیره اضطراری قابل ایجاد، بیشتر نشود.

با اضافه کردن استراتژی ذخیره اضطراری، هزینه استفاده از ذخیره اضطراری به صورت $\sum_i \sum_r \sum_c cce_{ic}.yge_{irc}^s$ و هزینه نگهداری از مقدار ذخیره اضطراری استفاده‌نشده در خرده‌فروشان به صورت $\sum_i \sum_c mc_{ic}.(aes_{ic} - \sum_r yge_{irc}^s)$ به تابع هدف اضافه خواهد شد.

احداث تسهیلات دو مرحله‌ای در دو رده مراکز توزیع و خرده‌فروشان

برای اضافه کردن استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای، دو مجموعه V و U که به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ مجموعه مراکز توزیع فرعی بالقوه و مجموعه خرده‌فروشان فرعی بالقوه است و نه متغیر xc_v، xd_u، oxc_v^s، oxd_u^s، yb_{pvc}^s، yd_{juc}^s، ye_{vic}^s، yf_{vuc}^s، yh_{urc}^s تعریف می‌شود. xc_v در مورد احداث زیرساخت‌های مراکز توزیع فرعی در نقاط بالقوه تصمیم‌گیری می‌کند. xd_u در مورد احداث زیرساخت‌های خرده‌فروشان فرعی در نقاط بالقوه تصمیم‌گیری می‌کند. oxc_v^s در مورد راه‌اندازی و بهره‌برداری از زیرساخت‌های ایجادشده مراکز توزیع فرعی در سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری می‌کند. oxd_u^s در مورد راه‌اندازی و بهره‌برداری از زیرساخت‌های ایجادشده خرده‌فروشان فرعی در سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری می‌کند. yb_{pvc}^s تعداد محصول ضروری c را که تحت سناریو s از کارخانه p به مرکز توزیع فرعی v منتقل می‌شود، مشخص می‌کند. yd_{juc}^s تعداد محصول ضروری c را که تحت سناریو s از مرکز توزیع اصلی j به خرده‌فروش فرعی u منتقل می‌شود، مشخص می‌کند. ye_{vic}^s تعداد محصول ضروری c را که تحت سناریو s از مرکز توزیع فرعی v به خرده‌فروش اصلی i منتقل می‌شود، مشخص می‌کند. yf_{vuc}^s تعداد محصول ضروری c را که تحت سناریو s از مرکز توزیع فرعی v به خرده‌فروش فرعی u منتقل می‌شود، مشخص می‌کند. yh_{urc}^s تعداد محصول ضروری c را که تحت سناریو s از خرده‌فروش فرعی u به مشتری r منتقل می‌شود، مشخص می‌کند. محدودیت‌های زیر برای مدل‌سازی استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

$$o^s_{pc} = \sum_j ya^s_{pjc} + \sum_v yb^s_{pvc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۲۱)$$

$$\sum_p ya^s_{pjc} = \sum_i yc^s_{jic} + \sum_u yd^s_{juc} \quad , \quad \forall j,c,s \qquad (۲۲)$$

$$\sum_p yb^s_{pvc} = \sum_i ye^s_{vic} + \sum_u yf^s_{vuc} \quad , \quad \forall v,c,s \qquad (۲۳)$$

$$\sum_j yc^s_{jic} + \sum_v ye^s_{vic} = \sum_r ygn^s_{irc} \quad , \quad \forall i,c,s \qquad (۲۴)$$

$$\sum_j yd^s_{juc} + \sum_v yf^s_{vuc} = \sum_r yh^s_{urc} \quad , \quad \forall u,c,s \qquad (۲۵)$$

$$\sum_i yg^s_{irc} + \sum_u yh^s_{urc} \le d_{rc} \quad , \quad \forall r,c,s \qquad (۲۶)$$

$$o^s_{pc} \le cta_{pc} + aex_{pc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۲۷)$$

$$\sum_r \sum_c yg^s_{irc} \le \sum_{g,n} xb_{ign}.hb_n \quad , \quad \forall i,s \qquad (۲۸)$$

$$\sum_i \sum_c yc^s_{jic} + \sum_u \sum_c yd^s_{juc} \le \sum_{l,m} xa_{jlm}.ha_m \quad , \quad \forall j,s \qquad (۲۹)$$

$$\sum_i \sum_c ye^s_{vic} + \sum_u \sum_c yf^s_{vuc} \le oxc^s_v.hc_v \quad , \quad \forall v,s \qquad (۳۰)$$

$$\sum_r \sum_c yh^s_{urc} \le oxd^s_u.hd_u \quad , \quad \forall u,s \qquad (۳۱)$$

$$\sum_p \sum_v \sum_{c\in C\setminus CE} yb^s_{pvc} + \sum_j \sum_u \sum_{c\in C\setminus CE} yd^s_{juc} = 0 \quad , \quad \forall s \qquad (۳۲)$$

$$oxc^s_v \le xc_v \quad , \quad \forall v,s \qquad (۳۳)$$

$$oxd^s_u \le xd_u \quad , \quad \forall u,s \qquad (۳۴)$$

محدودیت (۲۵-۲۱) تضمین می‌کند، جریان‌های ورودی و خروجی در هر تسهیل برابر است. محدودیت (۲۶) نشان می‌دهد حداکثر به میزان تقاضای مشتری از خرده‌فروشان برای مشتریان محصول ارسال می‌شود. محدودیت (۳۱-۲۷) تضمین می‌کند، حجم محصولات ورودی و خروجی از تسهیلات مختلف از ظرفیت آن تسهیل بیشتر نباشد. محدودیت (۳۲) تضمین می‌کند تسهیلات دومرحله‌ای صرفاً محصولات ضروری را پشتیبانی می‌کنند. محدودیت (۳۳) و (۳۴) تضمین می‌کند در صورتی تسهیلات دومرحله‌ای راه‌اندازی و بهره‌برداری می‌شود که زیرساخت‌های آن احداث شده باشد.

با اضافه کردن استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای، هزینه حمل‌ونقل محصولات بین تولیدکنندگان و مراکز توزیع فرعی به صورت $\sum_p \sum_v \sum_c yb^s_{pvc}.tcb_{pj}$، هزینه حمل‌ونقل محصولات بین مراکز توزیع اصلی و خرده‌فروشان فرعی به صورت $\sum_j \sum_u \sum_c yd^s_{juc}.tcd_{ju}$، هزینه حمل‌ونقل محصولات بین مراکز توزیع فرعی و خرده‌فروشان اصلی به صورت $\sum_v \sum_i \sum_c ye^s_{vic}.tce_{vi}$، هزینه حمل‌ونقل محصولات بین مراکز توزیع فرعی و خرده‌فروشان فرعی به صورت $\sum_v \sum_u \sum_c yf^s_{vuc}.tcf_{vu}$، هزینه حمل‌ونقل محصولات بین خرده‌فروشان فرعی مشتریان به صورت $\sum_u \sum_r \sum_c yh^s_{urc}.tch_{ur}$، هزینه احداث زیرساخت تسهیل دومرحله‌ای به صورت $\sum_v zca_v.xc_v + \sum_u zcb_u.xd_u$ و هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری از تسهیلات دومرحله‌ای به صورت $\sum_v oca_v.oxc^s_v + \sum_u ocb_u.oxd^s_u$ به تابع هدف اضافه خواهد شد.

به‌منظور بازطراحی شبکه زنجیره تأمین برای ایجاد قابلیت ارتجاعی، باید استراتژی‌های فرموله‌شده، به بازطراحی زنجیره تأمین غیر ارتجاعی اضافه شود. مدل ریاضی بازطراحی شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} Max\, Z = & \sum_s po_s \cdot \left\{ \left[\sum_i \sum_r \sum_c ps_{rc}.yg^s_{irc} + \sum_u \sum_r \sum_c ps_{rc}.yh^s_{urc} \right] \right. \\ & - \left[\sum_p \sum_c o^s_{pc}.pcp_{pc} + \sum_i \sum_r \sum_c yge^s_{irc}.cce_{ic} \right] \\ & - \left[\sum_p \sum_j \sum_c ya^s_{pjc}.tca_{pj} + \sum_p \sum_v \sum_c yb^s_{pvc}.tcb_{pj} \right. \\ & + \sum_j \sum_i \sum_c yc^s_{jic}.tcc_{ji} + \sum_j \sum_u \sum_c yd^s_{juc}.tcd_{ju} \\ & + \sum_v \sum_i \sum_c ye^s_{vic}.tce_{vi} + \sum_v \sum_u \sum_c yf^s_{vuc}.tcf_{vu} \\ & \left. + \sum_i \sum_r \sum_c yg^s_{irc}.tcg_{ir} + \sum_u \sum_r \sum_c yh^s_{urc}.tch_{ur} \right] \\ & - \left[\sum_i \sum_c mc_{ic}.(aes_{ic} - \sum_r yge^s_{irc}) \right] \\ & \left. - \left[\sum_v oca_v.oxc^s_v + \sum_u ocb_u.oxd^s_u \right] \right\} \end{aligned}$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$-\left[\sum_{p}\sum_{c} ex_{pc}.aex_{pc}\right]$$

$$-\left[\sum_{j}\sum_{l}\sum_{m} aca_{jlm}.xa_{jlm}+\sum_{i}\sum_{g}\sum_{n} acb_{ign}.xb_{ign}\right]$$

$$-\left[\sum_{j}\sum_{l}\sum_{m} fca_{jm}.xa_{jlm}+\sum_{i}\sum_{g}\sum_{n} fcb_{in}.xb_{ign}\right]$$

$$-\left[\sum_{v} zca_{v}.xc_{v}+\sum_{u} zcb_{u}.xd_{u}\right] \qquad (۳۵)$$

$subject\ to:$

$$o^{s}_{pc}=\sum_{j} ya^{s}_{pjc}+\sum_{v} yb^{s}_{pvc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۳۶)$$

$$\sum_{p} ya^{s}_{pjc}=\sum_{i} yc^{s}_{jic}+\sum_{u} yd^{s}_{juc} \quad , \quad \forall j,c,s \qquad (۳۷)$$

$$\sum_{p} yb^{s}_{pvc}=\sum_{i} ye^{s}_{vic}+\sum_{u} yf^{s}_{vuc} \quad , \quad \forall v,c,s \qquad (۳۸)$$

$$\sum_{j} yc^{s}_{jic}+\sum_{v} ye^{s}_{vic}=\sum_{r} ygn^{s}_{irc} \quad , \quad \forall i,c,s \qquad (۳۹)$$

$$\sum_{j} yd^{s}_{juc}+\sum_{v} yf^{s}_{vuc}=\sum_{r} yh^{s}_{urc} \quad , \quad \forall u,c,s \qquad (۴۰)$$

$$\sum_{i} yg^{s}_{irc}+\sum_{u} yh^{s}_{urc}\le d_{rc} \quad , \quad \forall r,c,s \qquad (۴۱)$$

$$\sum_{l,m} xa_{jlm}=1 \quad , \quad \forall j \qquad (۴۲)$$

$$\sum_{g,n} xb_{ign}=1 \quad , \quad \forall i \qquad (۴۳)$$

$$o^{s}_{pc}\le cta_{pc}+aex_{pc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۴۴)$$

$$\sum_{i}\sum_{c} yc^{s}_{jic}+\sum_{u}\sum_{c} yd^{s}_{juc}$$

$$\le \sum_{l,m} xa_{jlm}.ha_{m} \quad , \quad \forall j,s \qquad (۴۵)$$

$$\sum_{r}\sum_{c} yg^{s}_{irc}\le \sum_{g,n} xb_{ign}.hb_{n} \quad , \quad \forall i,s \qquad (۴۶)$$

$$\sum_{i}\sum_{c} ye^{s}_{vic}+\sum_{u}\sum_{c} yf^{s}_{vuc}$$

$$\le oxc^{s}_{v}.hc_{v} \quad , \quad \forall v,s \qquad (۴۷)$$

$$\sum_{r}\sum_{c} yh^{s}_{urc}\le oxd^{s}_{u}.hd_{u} \quad , \quad \forall u,s \qquad (۴۸)$$

$$\sum_{p}\sum_{v}\sum_{c\in C\setminus CE} yb^{s}_{pvc}$$

$$+\sum_{j}\sum_{u}\sum_{c\in C\setminus CE} yd^{s}_{juc}=0 \quad , \quad \forall s \qquad (۴۹)$$

$$oxc^{s}_{v}\le xc_{v} \quad , \quad \forall v,s \qquad (۵۰)$$

$$oxd^{s}_{u}\le xd_{u} \quad , \quad \forall u,s \qquad (۵۱)$$

$$yg^{s}_{irc}=yge^{s}_{irc}+ygn^{s}_{irc} \quad , \quad \forall i,r,c,s \qquad (۵۲)$$

$$es^{s}_{i}\le 1-w^{s}_{i} \quad , \quad \forall i,s \qquad (۵۳)$$

$$yge^{s}_{irc}\le nb.es^{s}_{i} \quad , \quad \forall i,r,c,s \qquad (۵۴)$$

$$ygn^{s}_{irc}\le nb.w^{s}_{i} \quad , \quad \forall i,r,c,s \qquad (۵۵)$$

$$\sum_{r} yge^{s}_{irc}\le aes_{ic} \quad , \quad \forall i,c,s \qquad (۵۶)$$

$$aes_{ic}\le mes_{ic} \quad , \quad \forall i,c \qquad (۵۷)$$

$$aex_{pc}\le mex_{pc} \quad , \quad \forall p,c,s \qquad (۵۸)$$

$$xa_{jlm}, xb_{ign}, xc_{v}, xd_{u},$$

$$oxc^{s}_{v}, oxd^{s}_{u}, es^{s}_{i}\in\{0,1\} \qquad (۵۹)$$

$$o^{s}_{pc}, aes_{ic}, aex_{pc} ya^{s}_{pjc}, yb^{s}_{pvc}, yc^{s}_{jic}, yd^{s}_{juc}, ye^{s}_{vic}, yf^{s}_{vuc},$$

$$yg^{s}_{irc}, yge^{s}_{irc}, ygn^{s}_{irc}, yh^{s}_{urc}\ge 0 \qquad (۶۰)$$

همانند بازطراحی زنجیره تأمین غیرارتجاعی، تابع هدف (۳۵) نشان‌دهندهٔ سود کلی زنجیره تأمین است که از اختلاف درآمد حاصل از فروش محصولات و کل هزینه‌ها محاسبه می‌شود.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی مدل بازطرحی ارتجاعی

برای ارزیابی عملکرد مدل ریاضی و تجزیه و تحلیل آثار ایجاد قابلیت ارتجاعی در زنجیره تأمین، مثالی عددی در این بخش ارائه شده است. در این مثال، برای بازطراحی شبکه زنجیره تأمین، دو کارخانه تولید موجود، ۵ مرکز توزیع اصلی موجود و بالقوه، ۸ خرده‌فروش اصلی موجود و بالقوه و ۸ منطقه مشتری در نظر گرفته شده است. برای ایجاد قابلیت ارتجاعی، ۵ مرکز توزیع فرعی بالقوه و ۸ خرده‌فروش فرعی بالقوه به تسهیلات ذکرشده اضافه می‌شود. سه محصول C_1، C_2 و C_3 در این زنجیره تأمین عرضه می‌گردد. محصول C_2 جزء محصولات ضروری است. داده‌های بخش بازطراحی از تحقیق ژو و همکاران [۳] جمع‌آوری و سایر پارامترها از طریق تناسب با داده‌های در دسترس محاسبه شد.

جداول ۲ و ۳ اطلاعات مراکز توزیع و خرده‌فروشان اصلی را نشان می‌دهد. وضعیت فعلی هر تسهیل به دو صورت موجود (E) یا بالقوه (P) نشان داده می‌شود. M_2، M_3 و M_4 سطوح ظرفیت فعلی مراکز توزیع موجود و N_2، N_3 سطوح ظرفیت فعلی خرده‌فروشان موجود را نشان می‌دهد

www.SID.ir

Archive of SID

(M_1 و N_1 نشان‌دهندهٔ سطح ظرفیت صفر هستند). اگر تأسیسات موجود به سطوح پایین‌تر یا به بسته شدن تعدیل پیدا کنند، می‌توان تجهیزات آن را مورد اجاره یا فروش قرار داد؛ از این رو هزینه آن به صورت منفی در نظر گرفته می‌شود. جدول ۴، نشان‌دهندهٔ هزینه حمل‌ونقل کالا بین رده‌های مختلف شبکه است. اطلاعات مراکز توزیع فرعی، خرده‌فروشان فرعی، تولیدکننده و مشتریان در جداول ۵ تا ۸ ارائه شده است (واحد تمام هزینه‌ها یوان است).

جدول ۲: اطلاعات مراکز توزیع اصلی

مرکز توزیع	وضعیت	هزینه تعدیل			
		$M_1=0$	$M_2=4000$	$M_3=6000$	$M_4=8000$
J_1	E,M_2	-۲۵،۰۰۰،۰۰۰	۰	۷،۰۰۰،۰۰۰	۱۰،۰۰۰،۰۰۰
J_2	P	۰	۲۵،۰۰۰،۰۰۰	۳۲،۰۰۰،۰۰۰	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
J_3	E,M_2	-۱۵،۰۰۰،۰۰۰	۰	۸،۰۰۰،۰۰۰	۱۰،۵۰۰،۰۰۰
J_4	P	۰	۲۵،۰۰۰،۰۰۰	۳۵،۰۰۰،۰۰۰	۴۵،۰۰۰،۰۰۰
J_5	P	۰	۳۰،۰۰۰،۰۰۰	۳۸،۰۰۰،۰۰۰	۴۵،۰۰۰،۰۰۰
مرکز توزیع		هزینه ثابت عملیاتی			
		$M_1=0$	$M_2=4000$	$M_3=6000$	$M_4=8000$
J_1		۰	۵،۰۰۰،۰۰۰	۷،۰۰۰،۰۰۰	۱۰،۰۰۰،۰۰۰
J_2		۰	۴،۰۰۰،۰۰۰	۶،۰۰۰،۰۰۰	۹،۰۰۰،۰۰۰
J_3		۰	۳،۵۰۰،۰۰۰	۵،۵۰۰،۰۰۰	۹،۵۰۰،۰۰۰
J_4		۰	۳،۸۰۰،۰۰۰	۵،۶۰۰،۰۰۰	۹،۲۰۰،۰۰۰
J_5		۰	۴،۸۰۰،۰۰۰	۶،۵۰۰،۰۰۰	۹،۵۰۰،۰۰۰

جدول ۳: اطلاعات خرده‌فروشان اصلی

خرده‌فروش	وضعیت	هزینه تعدیل			
		$N_1=0$	$N_2=1000$	$N_3=2000$	$N_4=4000$
I_1	E,N_4	-۲۳،۰۰۰،۰۰۰	-۱۵،۵۰۰،۰۰۰	-۸،۰۰۰،۰۰۰	۰
I_2	E,N_3	-۱۰،۰۰۰،۰۰۰	-۳،۴۰۰،۰۰۰	۰	۲۲،۰۰۰،۰۰۰
I_3	E,N_2	-۸،۰۰۰،۰۰۰	۰	۱۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۹،۵۰۰،۰۰۰
I_4	E,N_2	-۹،۵۰۰،۰۰۰	۰	۸،۰۰۰،۰۰۰	۱۵،۸۰۰،۰۰۰
I_5	P	۰	۱۵،۰۰۰،۰۰۰	۲۴،۵۰۰،۰۰۰	۴۱،۰۰۰،۰۰۰
I_6	P	۰	۱۲،۰۰۰،۰۰۰	۲۳،۰۰۰،۰۰۰	۳۵،۰۰۰،۰۰۰
I_7	P	۰	۱۳،۰۰۰،۰۰۰	۲۵،۰۰۰،۰۰۰	۳۷،۰۰۰،۰۰۰
I_8	P	۰	۱۱،۰۰۰،۰۰۰	۲۳،۰۰۰،۰۰۰	۳۵،۰۰۰،۰۰۰
خرده‌فروش		هزینه ثابت عملیاتی			
		$N_1=0$	$N_2=1000$	$N_3=2000$	$N_4=4000$
I_1		۰	۱،۲۰۰،۰۰۰	۲،۴۰۰،۰۰۰	۴،۲۰۰،۰۰۰
I_2		۰	۹۰۰،۰۰۰	۲،۱۰۰،۰۰۰	۳،۸۰۰،۰۰۰
I_3		۰	۱،۵۰۰،۰۰۰	۲،۵۰۰،۰۰۰	۴،۳۰۰،۰۰۰
I_4		۰	۱،۴۰۰،۰۰۰	۲،۲۰۰،۰۰۰	۴،۴۰۰،۰۰۰
I_5		۰	۱،۳۰۰،۰۰۰	۲،۳۰۰،۰۰۰	۴،۲۰۰،۰۰۰
I_6		۰	۹۰۰،۰۰۰	۱،۸۰۰،۰۰۰	۳،۸۰۰،۰۰۰
I_7		۰	۱،۰۰۰،۰۰۰	۲،۶۰۰،۰۰۰	۴،۷۰۰،۰۰۰
I_8		۰	۱،۳۰۰،۰۰۰	۲،۱۰۰،۰۰۰	۴،۰۰۰،۰۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۳:

خرده‌فروش	هزینه استفاده از ذخیره اضطراری			هزینه نگهداری از ذخیره اضطراری استفاده نشده			ظرفیت ایجاد ذخیره اضطراری		
	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3
I_1	۱۳۷،۸۰۰	۱۳۲،۸۰۰	۱۲۷،۰۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰	۴۵۰
I_2	۱۳۷،۵۰۰	۱۳۲،۵۰۰	۱۲۶،۷۰۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
I_3	۱۳۸،۱۰۰	۱۳۳،۱۰۰	۱۲۷،۳۰۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۵۰	۳۵۰	۴۰۰
I_4	۱۳۸،۰۰۰	۱۳۳،۰۰۰	۱۲۷،۲۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۴۰۰	۳۵۰	۳۵۰
I_5	۱۳۷،۸۰۰	۱۳۲،۸۰۰	۱۲۷،۰۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
I_6	۱۳۷،۵۰۰	۱۳۲،۵۰۰	۱۲۶،۷۰۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۴۲۰	۴۵۰	۴۳۰
I_7	۱۳۷،۷۰۰	۱۳۲،۷۰۰	۱۲۶،۹۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۵۰	۳۵۰	۴۰۰
I_8	۱۳۷،۷۰۰	۱۳۲،۰۰۰	۱۲۶،۲۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۳۵۰

جدول ۴: هزینه 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	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8
J_1	۱۹۸۰	۱۹۸۰	۵۰۰	۵۸۷۰	۱۵۳۰	۲۱۰۰	۲۹۵۰	۱۷۴۰	۱۸۵۰	۵۹۰۰	۵۰۰	۵۸۷۰	۱۵۳۰	۲۱۰۰	۲۹۵۰	۱۷۴۰	۱۸۵۰	۵۹۰۰
J_2	۲۲۴۰	۲۲۴۰	۴۸۵۰	۲۵۱۰	۵۷۰۰	۲۸۰۰	۵۶۹۰	۵۵۳۰	۶۷۳۰	۳۴۶۰	۴۸۵۰	۲۵۱۰	۵۷۰۰	۲۸۰۰	۵۶۹۰	۵۵۳۰	۶۷۳۰	۳۴۶۰
J_3	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۵۱۵۰	۲۳۵۰	۶۲۵۰	۳۴۰۰	۶۲۵۰	۶۱۰۰	۷۲۰۰	۳۲۶۰	۵۱۵۰	۲۳۵۰	۶۲۵۰	۳۴۰۰	۶۲۵۰	۶۱۰۰	۷۲۰۰	۳۲۶۰
J_4	۸۷۰	۸۷۰	۱۸۸۰	۶۲۰۰	۲۸۶۰	۲۰۰۰	۲۹۰۰	۲۷۰۰	۳۰۵۰	۶۱۴۰	۱۸۸۰	۶۲۰۰	۲۸۶۰	۲۰۰۰	۲۹۰۰	۲۷۰۰	۳۰۵۰	۶۱۴۰
J_5	۲۱۵۰	۲۱۵۰	۶۵۸۰	۱۹۵۰	۷۳۰۰	۶۳۵۰	۸۹۰۰	۷۱۲۰	۷۵۵۰	۱۱۰۰	۶۵۸۰	۱۹۵۰	۷۳۰۰	۶۳۵۰	۸۹۰۰	۷۱۲۰	۷۵۵۰	۱۱۰۰
V_1	۱۹۸۰	۱۹۸۰	۵۰۰	۵۸۷۰	۱۵۳۰	۲۱۰۰	۲۹۵۰	۱۷۴۰	۱۸۵۰	۵۹۰۰	۵۰۰	۵۸۷۰	۱۵۳۰	۲۱۰۰	۲۹۵۰	۱۷۴۰	۱۸۵۰	۵۹۰۰
V_2	۲۲۴۰	۲۲۴۰	۴۸۵۰	۲۵۱۰	۵۷۰۰	۲۸۰۰	۵۶۹۰	۵۵۳۰	۶۷۳۰	۳۴۶۰	۴۸۵۰	۲۵۱۰	۵۷۰۰	۲۸۰۰	۵۶۹۰	۵۵۳۰	۶۷۳۰	۳۴۶۰
V_3	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۵۱۵۰	۲۳۵۰	۶۲۵۰	۳۴۰۰	۶۲۵۰	۶۱۰۰	۷۲۰۰	۳۲۶۰	۵۱۵۰	۲۳۵۰	۶۲۵۰	۳۴۰۰	۶۲۵۰	۶۱۰۰	۷۲۰۰	۳۲۶۰
V_4	۸۷۰	۸۷۰	۱۸۸۰	۶۲۰۰	۲۸۶۰	۲۰۰۰	۲۹۰۰	۲۷۰۰	۳۰۵۰	۶۱۴۰	۱۸۸۰	۶۲۰۰	۲۸۶۰	۲۰۰۰	۲۹۰۰	۲۷۰۰	۳۰۵۰	۶۱۴۰
V_5	۲۱۵۰	۲۱۵۰	۶۵۸۰	۱۹۵۰	۷۳۰۰	۶۳۵۰	۸۹۰۰	۷۱۲۰	۷۵۵۰	۱۱۰۰	۶۵۸۰	۱۹۵۰	۷۳۰۰	۶۳۵۰	۸۹۰۰	۷۱۲۰	۷۵۵۰	۱۱۰۰
R_1	–	–	۰	۶۷۰۰	۲۳۵۰	۲۴۰۰	۳۱۲۰	۱۸۵۰	۲۸۷۰	۶۲۵۰	۰	۶۷۰۰	۲۳۵۰	۲۴۰۰	۳۱۲۰	۱۸۵۰	۲۸۷۰	۶۲۵۰
R_2	–	–	۶۷۰۰	۰	۸۱۸۰	۶۴۶۰	۹۱۳۰	۷۶۲۰	۸۷۴۰	۲۷۶۰	۶۷۰۰	۰	۸۱۸۰	۶۴۶۰	۹۱۳۰	۷۶۲۰	۸۷۴۰	۲۷۶۰
R_3	–	–	۲۳۵۰	۸۱۸۰	۰	۲۹۸۰	۱۶۷۰	۹۷۰	۱۴۴۰	۹۰۶۰	۲۳۵۰	۸۱۸۰	۰	۲۹۸۰	۱۶۷۰	۹۷۰	۱۴۴۰	۹۰۶۰
R_4	–	–	۲۴۰۰	۶۴۶۰	۲۹۸۰	۰	۳۲۶۰	۲۷۶۰	۲۹۴۰	۶۵۷۰	۲۴۰۰	۶۴۶۰	۲۹۸۰	۰	۳۲۶۰	۲۷۶۰	۲۹۴۰	۶۵۷۰
R_5	–	–	۳۱۲۰	۹۱۳۰	۱۶۷۰	۳۲۶۰	۰	۲۱۲۰	۳۱۸۰	۹۸۶۰	۳۱۲۰	۹۱۳۰	۱۶۷۰	۳۲۶۰	۰	۲۱۲۰	۳۱۸۰	۹۸۶۰
R_6	–	–	۱۸۵۰	۷۶۲۰	۹۷۰	۲۷۶۰	۲۱۲۰	۰	۲۵۳۰	۸۹۰۰	۱۸۵۰	۷۶۲۰	۹۷۰	۲۷۶۰	۲۱۲۰	۰	۲۵۳۰	۸۹۰۰
R_7	–	–	۲۸۷۰	۸۷۴۰	۱۴۴۰	۲۹۴۰	۳۱۸۰	۲۵۳۰	۰	۹۶۰۰	۲۸۷۰	۸۷۴۰	۱۴۴۰	۲۹۴۰	۳۱۸۰	۲۵۳۰	۰	۹۶۰۰
R_8	–	–	۶۲۵۰	۲۷۶۰	۹۰۶۰	۶۵۷۰	۹۸۶۰	۸۹۰۰	۹۶۰۰	۰	۶۲۵۰	۲۷۶۰	۹۰۶۰	۶۵۷۰	۹۸۶۰	۸۹۰۰	۹۶۰۰	۰

جدول ۵: اطلاعات مراکز توزیع فرعی

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
هزینه احداث زیرساخت	۵،۰۰۰،۰۰۰	۴،۰۰۰،۰۰۰	۴،۲۰۰،۰۰۰	۴،۰۰۰،۰۰۰	۴،۶۰۰،۰۰۰
هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری	۱۵،۰۰۰،۰۰۰	۱۱،۶۰۰،۰۰۰	۱۲،۶۰۰،۰۰۰	۱۱،۶۰۰،۰۰۰	۱۴،۰۰۰،۰۰۰
ظرفیت	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶: اطلاعات خرده‌فروشان فرعی

	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8
هزینه احداث	۲،۸۰۰،۰۰۰	۲،۸۰۰،۰۰۰	۳،۱۰۰،۰۰۰	۳،۸۰۰،۰۰۰	۴،۶۰۰،۰۰۰	۳،۸۰۰،۰۰۰	۴،۰۰۰،۰۰۰	۳،۴۰۰،۰۰۰
هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری	۸،۲۰۰،۰۰۰	۸،۲۰۰،۰۰۰	۹،۴۰۰،۰۰۰	۱۱،۲۰۰،۰۰۰	۱۴،۰۰۰،۰۰۰	۱۱،۲۰۰،۰۰۰	۱۲،۲۰۰،۰۰۰	۱۰،۰۰۰،۰۰۰
ظرفیت	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

جدول ۷: اطلاعات تولیدکنندگان

	هزینه تولید یک واحد محصول		**ظرفیت تولید**		**هزینه ایجاد هر واحد ظرفیت تولید مازاد**		**حداکثر ظرفیت مازاد قابل ایجاد**	
	P_1	P_2	P_1	P_2	P_1	P_2	P_1	P_2
C_1	۱۰۸،۸۰۰	۱۱۰،۰۰۰	۱۹۳۰	۲۳۰۰	۶،۰۰۰	۷،۰۰۰	۲۶۵	۳۳۰
C_2	۱۰۳،۸۰۰	۱۰۵،۰۰۰	۱۹۲۰	۲۴۰۰	۶،۰۰۰	۷،۰۰۰	۲۷۰	۳۴۰
C_3	۹۸،۰۰۰	۹۹،۳۰۰	۱۹۵۰	۲۳۰۰	۶،۰۰۰	۷،۰۰۰	۲۶۵	۳۳۰

جدول ۸: اطلاعات مشتریان

		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
تقاضای مشتری	C_1	۴۷۰	۵۷۵	۵۱۰	۵۰۵	۶۴۵	۵۲۵	۵۰۰	۴۹۰
	C_2	۴۸۰	۴۸۵	۶۴۰	۵۰۰	۵۲۵	۵۳۵	۶۰۵	۵۳۵
	C_3	۶۳۰	۵۵۵	۴۶۵	۶۵۵	۴۸۵	۴۹۰	۴۸۵	۴۷۰
قیمت فروش هر واحد محصول	C_1	۱۷۲،۴۰۰	۱۷۳،۰۰۰	۱۷۲،۸۰۰	۱۷۲،۵۰۰	۱۷۲،۰۰۰	۱۷۳،۰۰۰	۱۷۳،۱۰۰	۱۷۲،۸۰۰
	C_2	۱۶۵،۰۰۰	۱۶۵،۶۰۰	۱۶۵،۴۰۰	۱۶۵،۱۰۰	۱۶۴،۶۰۰	۱۶۵،۶۰۰	۱۶۵،۷۰۰	۱۶۵،۴۰۰
	C_3	۱۵۶،۳۰۰	۱۵۶،۹۰۰	۱۵۶،۷۰۰	۱۵۶،۴۰۰	۱۵۵،۹۰۰	۱۵۶،۹۰۰	۱۵۷،۰۰۰	۱۵۶،۷۰۰

در این مثال، فرض بر این است که احتمال وقوع شش سناریو اختلال وجود دارد. سناریوی اول شرایط عادی را نشان می‌دهد که تمام تسهیلات و راه‌های مواصلاتی بین رده‌های مختلف در دسترس است. احتمال وقوع سناریوی اول برابر ۰/۴ است. در سناریوی دوم تولیدکننده اول با احتمال وقوع ۰/۱۵ با اختلال در خط تولید رو به‌رو می‌شود و امکان تولید در داخل کارخانه را از دست می‌دهد. در سناریوی سوم با احتمال وقوع ۰/۱۲۵ مراکز توزیع ۱ و ۲ با اختلال مواجه می‌شوند. در سناریوی چهارم مراکز توزیع ۳ و ۴ با اختلال رو به‌رو می‌شوند و امکان سرویس‌دهی به شبکه را از دست می‌دهند. احتمال وقوع سناریوی چهارم برابر ۰/۱۲۵ است. در سناریوی پنجم با احتمال وقوع ۰/۱ خرده فروشان ۱، ۲ و ۳ از سرویس‌دهی شبکه زنجیره تأمین خارج می‌شوند. در سناریوی ششم خرده‌فروشان ۴، ۵ و ۶ با اختلال مواجه می‌شوند و توانایی سرویس‌دهی به شبکه را از دست می‌دهند. احتمال وقوع سناریوی ششم برابر ۰/۱ است. در این بخش باید به سه سؤال تحقیقاتی زیر پاسخ داده شود:

- سؤال اول: استفاده از استراتژی‌های کاهش ریسک در طراحی شبکه زنجیره تأمین چه تأثیری بر میزان سود و عرضه محصول می‌گذارد؟
- سؤال دوم: هر یک از استراتژی‌های کاهش ریسک به صورت انحصاری، چه تأثیری بر بهبود عرضه محصولات و میزان سود شبکه دارد؟
- سؤال سوم: در استراتژی احداث تسهیلات دومرحله‌ای، احداث تسهیلات دومرحله‌ای در کدام رده (مراکز توزیع یا خرده‌فروشان) تأثیر بیشتری بر بهبود سود و عرضهٔ محصول دارد؟

برای مقایسه زنجیره تأمین ارتجاعی و غیرارتجاعی، مدل بازطراحی شبکه زنجیره تأمین غیرارتجاعی و مدل بازطراحی شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی را با ترکیب تمام سناریوها و احتمال وقوع آن‌ها حل می‌کنیم. مدل

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهادی در این پژوهش، جزء مدل‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط است. پیچیدگی و زمان حل مدل، به تعداد متغیرها بستگی دارد. با توجه به ابعاد مثال عددی ارائه‌شده برای حل مدل، نرم‌افزار GAMS نسخه ۲۴,۱,۲ و حل‌کننده CPLEX مورد استفاده قرار گرفته است. حل مدل پیشنهادی بر روی رایانه Intel Core i7، ۳/۱ گیگاهرتز با ۸ گیگابایت حافظه دسترسی تصادفی، انجام شده است.

جدول ۹: مقدار عرضه و سود شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی و غیر ارتجاعی

میانگین عرضه محصولات ضروری	مقدار عرضه محصولات ضروری	میانگین سود	سود	میانگین عرضه (بر اساس احتمال هر سناریو)	مقدار عرضه کل	سناریو	
۳۷۹۹	۴۳۰۵	۴۹۶،۶۱۲،۳۰۰	۵۷۹،۱۴۹،۹۰۰	۱۱۲۳۰	۱۲۷۶۰	سناریو ۱	زنجیره تأمین غیر ارتجاعی
	۲۴۰۰		۲۷۹،۰۶۴،۷۰۰		۷۰۰۰	سناریو ۲	
	۴۳۰۵		۵۲۰،۳۶۶،۸۰۰		۱۲۰۰۰	سناریو ۳	
	۴۳۰۵		۵۳۵،۳۶۶،۸۰۰		۱۲۰۰۰	سناریو ۴	
	۲۱۰۰		۳۳۲،۱۰۹،۰۰۰		۸۰۰۰	سناریو ۵	
	۴۳۰۵		۵۷۹،۱۴۹،۹۰۰		۱۲۷۶۰	سناریو ۶	
۴۰۷۰	۴۳۰۵	۱۰۰،۹۱۴،۵۲۳	۶۰۰،۹۹۹،۵۹۳	۱۱۷۴۰	۱۲۷۶۰	سناریو ۱	زنجیره تأمین ارتجاعی
	۲۷۴۰		۳۰۰،۹۳۶،۳۴۳		۸۰۰۰	سناریو ۲	
	۴۳۰۵		۱۰۰،۵۶۳،۵۲۰		۱۲۰۰۰	سناریو ۳	
	۴۳۰۵		۱۰۰،۸۴۵،۵۳۸		۱۲۰۰۰	سناریو ۴	
	۴۳۰۵		۸۰۰،۹۷۸،۴۲۸		۱۱۶۰۰	سناریو ۵	
	۴۳۰۵		۶۰۰،۹۹۹،۵۹۳		۱۲۷۶۰	سناریو ۶	
۷/۱٪		۵/۵٪		۴/۵٪			بهبود

جدول ۱۰: مقایسه استراتژی‌های کاهش ریسک

سود شبکه			مقدار عرضه			
قابلیت ارتجاعی از طریق ذخیره اضطراری	قابلیت ارتجاعی از طریق ظرفیت مازاد	قابلیت ارتجاعی از طریق تسهیلات دومرحله‌ای	قابلیت ارتجاعی از طریق ذخیره اضطراری	قابلیت ارتجاعی از طریق ظرفیت مازاد	قابلیت ارتجاعی از طریق تسهیلات دومرحله‌ای	سناریو
۵۷۸،۲۱۰،۰۰۰	۵۷۲،۱۴۹،۹۰۰	۵۹۸،۳۵۱،۶۰۰	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	سناریو ۱
۲۷۸،۱۲۴،۷۰۰	۳۲۵،۸۹۹،۱۰۰	۳۰۱،۳۴۹،۸۰۰	۷۰۰۰	۸۰۰۰	۷۰۰۰	سناریو ۲
۵۱۹،۴۲۶،۸۰۰	۵۱۳،۳۶۶،۹۰۰	۵۲۵،۱۱۲،۲۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	سناریو ۳
۵۳۴،۴۲۶،۸۰۰	۵۲۸،۳۶۶،۸۰۰	۵۴۳،۰۹۰،۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	سناریو ۴
۴۰۱،۲۴۴،۵۰۰	۳۲۵،۱۰۹،۰۰۰	۳۷۷،۶۵۲،۴۰۰	۱۰۴۰۰	۸۰۰۰	۹۰۰۰	سناریو ۵
۵۷۸،۲۰۹،۹۰۰	۵۷۲،۱۴۹،۹۰۰	۵۹۸،۳۵۱،۶۰۰	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	سناریو ۶
۵۰۲،۶۷۹،۸۰۰	۴۹۷،۶۸۷،۵۰۰	۵۱۵،۶۶۸،۸۰۰	۱۱۴۷۰	۱۱۳۸۰	۱۱۳۳۰	میانگین (بر اساس احتمال هر سناریو)
۱/۲٪	۰/۲٪	۳/۸٪	۲/۱٪	۱/۳٪	۰/۹٪	بهبود نسبت به زنجیره تأمین غیرارتجاعی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱: مقایسه استراتژی احداث تسهیلات دومرحله‌ای در مراکز توزیع در و احداث تسهیلات دومرحله‌ای در خرده‌فروشان

سود شبکه		مقدار عرضه		
احداث تسهیلات دو مرحله‌ای در خرده‌فروشان	احداث تسهیلات دو مرحله‌ای در مراکز توزیع	احداث تسهیلات دومرحله‌ای در خرده‌فروشان	احداث تسهیلات دومرحله‌ای در مراکز توزیع	سناریو
۵۶۴،۴۱۲،۱۰۰	۵۹۴،۵۵۸،۵۰۰	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	سناریو ۱
۲۶۵،۳۸۵،۱۰۰	۲۹۰،۵۳۶،۷۰۰	۷۰۰۰	۷۰۰۰	سناریو ۲
۵۰۴،۸۵۶،۸۰۰	۵۱۸،۲۶۲،۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	سناریو ۳
۵۵۶،۹۱۲،۱۰۰	۵۳۷،۳۴۷،۵۰۰	۱۲۷۶۰	۱۲۰۰۰	سناریو ۴
۴۸۸،۱۴۸،۵۰۰	۳۳۴،۶۶۹،۰۰۰	۱۲۰۰۰	۸۰۰۰	سناریو ۵
۵۶۴،۴۱۲،۱۰۰	۵۹۴،۵۵۸،۵۰۰	۱۲۷۶۰	۱۲۷۶۰	سناریو ۶
۵۰۳،۵۴۹،۸۰۰	۵۰۶،۲۷۷،۹۰۰	۱۱۷۲۵	۱۱۲۳۰	میانگین (بر اساس احتمال هر
۱/۴٪	۱/۹٪	۴/۴٪	۰٪	بهبود نسبت به زنجیره تأمین غیرارتجاعی

در مدل بازطراحی شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی، شبکه زنجیره 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 احداث تسهیلات دومرحله‌ای در دو رده مراکز توزیع و خرده‌فروشان، موجب می‌شود آثار اختلالات، کاهش و عرضهٔ محصولات، بهبود پیدا کند. مقدار عرضه و سود شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی و غیرارتجاعی در هر یک از سناریوها، در جدول ۹ نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود، میانگین عرضه زنجیره تأمین غیر ارتجاعی ۱۱۲۳۰ واحد محصول و میانگین عرضه زنجیره تأمین ارتجاعی ۱۱۷۴۰ واحد محصول است. از طرف دیگر، میانگین سود زنجیره تأمین غیرارتجاعی ۴۹۶،۶۱۲،۳۰۰ یوان و میانگین سود زنجیره تأمین ارتجاعی ۵۲۳،۹۱۴،۱۰۰ یوان است؛ در حالی که اگر بدترین سناریو، یعنی سناریوی دوم رخ دهد، عرضه محصول در حالت ارتجاعی نسبت به حالت غیرارتجاعی ٪۱۴/۳ (معادل ۱۰۰۰ واحد محصول) و سود زنجیره تأمین ٪۲۳/۵ افزایش پیدا می‌کند.

برای مقایسه بین استراتژی‌های مختلف کاهش ریسک، مدل بازطراحی زنجیره تأمین را در سه آزمایش، مورد ارزیابی قرار می‌دهیم که شامل: ۱. ایجاد قابلیت ارتجاعی از طریق استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای؛ ۲. ایجاد قابلیت ارتجاعی از طریق استراتژی ظرفیت مازاد؛ ۳. ایجاد قابلیت ارتجاعی از طریق استراتژی ذخیره اضطراری می‌شود. نتایج این سه آزمایش در جدول ۱۰ ارائه شده است.

برای مقایسهٔ استراتژی احداث تسهیلات دومرحله‌ای در مراکز توزیع و احداث تسهیلات دومرحله‌ای در خرده‌فروشان، مدل بازطراحی زنجیره تأمین را در دو آزمایش مورد ارزیابی قرار می‌دهیم که شامل: ۱. ایجاد قابلیت ارتجاعی از طریق استراتژی احداث تسهیلات دومرحله‌ای صرفاً در مراکز توزیع و ۲. ایجاد قابلیت ارتجاعی از طریق استراتژی احداث تسهیلات دومرحله‌ای صرفاً در خرده‌فروشان می‌شود. نتایج این مقایسه در جدول ۱۱ ارائه شده است.

با توجه به نتایج حاصل از جداول ۹، ۱۰ و ۱۱ پاسخ سؤالات تحقیق عبارت است از:

- پاسخ سؤال اول: استفاده از استراتژی‌های کاهش ریسک در طراحی شبکه زنجیره تأمین موجب بهبود قابلیت عرضه محصولات و افزایش سود شبکه زنجیره تأمین می‌شود؛ به گونه‌ای که میانگین قابلیت عرضه شبکه زنجیره تأمین ارتجاعی ٪۴/۵ بیشتر از شبکه زنجیره تأمین غیرارتجاعی است، همچنین سود حاصل از شبکه ارتجاعی ٪۵/۵ بالاتر از شبکه غیرارتجاعی است و استفاده از استراتژی‌های کاهش ریسک در زنجیره تأمین، به‌ویژه استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای، موجب بهبود ۷/۱ درصدی در عرضهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

محصولات ضروری می‌شود.

- پاسخ سؤال دوم: مقایسهٔ استراتژی‌های مختلف کاهش ریسک نشان می‌دهد استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای در بهبود سود شبکه زنجیره تأمین در رتبه اول و استراتژی‌های ذخیره اضطراری و ظرفیت مازاد به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. در بهبود قابلیت عرضه محصولات شبکه زنجیره تأمین، استراتژی ذخیره اضطراری در رتبه اول و استراتژی‌های ظرفیت مازاد و تسهیلات دومرحله‌ای به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند.
- پاسخ سؤال سوم: مقایسه احداث تسهیلات دومرحله‌ای در رده مراکز توزیع و خرده‌فروشان نشان می‌دهد احداث تسهیلات دومرحله‌ای در مراکز توزیع نسبت به احداث تسهیلات دومرحله‌ای در خرده‌فروشان، موجب بهبود بیشتر سود شبکه زنجیره تأمین می‌شود؛ در حالی که احداث تسهیلات دومرحله‌ای در خرده‌فروشان تأثیر بیشتری در بهبود قابلیت عرضه شبکه زنجیره تأمین دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای بازطراحی شبکه زنجیره تأمین با هدف ایجاد قابلیت ارتجاعی توسعه یافته است. مدل، شامل مجموعه‌ای از تولیدکنندگان، مراکز توزیع موجود و بالقوه، خرده‌فروشان موجود و بالقوه و مشتریان است. سه امکان در قسمت بازطراحی برای مراکز توزیع و خرده‌فروشان در نظر گرفته شده است: ۱. افتتاح تسهیلات بالقوه؛ ۲. بستن تسهیلات موجود؛ ۳. تغییر سطح ظرفیت تسهیلات موجود. در این تحقیق یک استراتژی جدید برای کاهش اثرات ریسک، به نام «تسهیلات دومرحله‌ای» معرفی شد. استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای در دو لایه مراکز توزیع و خرده‌فروشان زنجیره تأمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. تسهیل دومرحله‌ای بخشی از فعالیت انجام‌شده توسط تسهیل اصلی را پشتیبانی می‌کند. آزمایش‌های عددی به‌منظور بررسی کارایی استراتژی مذکور در کنار استراتژی‌های ظرفیت مازاد و ذخیره اضطراری، بر روی مقاوم‌سازی زنجیره تأمین انجام شد.

نتایج نشان می‌دهد سیاست‌های ایجاد قابلیت ارتجاعی، موجب بهبود قابلیت عرضه محصولات و افزایش سود شبکه زنجیره تأمین می‌شود. مقایسهٔ استراتژی‌های کاهش ریسک نشان می‌دهد در بهبود سود شبکه زنجیره تأمین، استراتژی تسهیلات دومرحله‌ای و در بهبود قابلیت عرضه محصولات شبکه زنجیره تأمین، استراتژی ذخیره اضطراری بیشترین تأثیر را دارند. همچنین مقایسهٔ احداث تسهیلات دومرحله‌ای در رده مراکز توزیع و خرده‌فروشان نشان می‌دهد احداث تسهیلات دومرحله‌ای در مراکز توزیع، در بهبود سود شبکه زنجیره تأمین تأثیر بیشتری دارد. ارائه این اطلاعات مفید به تصمیم‌گیرنده برای تجزیه و تحلیل بهتر و نهایتاً ایجاد تصمیم‌گیری بهینه کمک می‌کند.

در نظر گرفتن آثار عدم قطعیت پارامترها بر روی مدل به‌وسیله روش‌هایی مانند بهینه‌سازی فازی یا استوار می‌تواند زمینه‌های پژوهشی جذّابی برای تحقیقات آتی باشد. ارائه یک روش حل ابتکاری، برای حل مسائل با ابعاد بزرگ و مقایسه زمان و نتایج آن با نتایج حل دقیق مسئله، می‌تواند کار پژوهشی باارزشی برای آینده باشد. بررسی کارایی استراتژی ارائه‌شده برای طراحی زنجیره تأمین سبز یا زنجیره تأمین پایدار می تواند زمینه تحقیق مناسبی برای سایر پژوهشگران باشد. ارائه استراتژی جدید کاهش ریسک برای مقاوم‌سازی شبکه زنجیره تأمین در برابر اختلال و مقایسه کارایی آن با سایر استراتژی‌های کاهش ریسک موجود، به‌عنوان فرصت تحقیقاتی دیگر مطرح می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۶- مراجع

[۱] امیر تربتی، محمدعلی ارسنجانی و محسن فیروزشاهی، «تدوین نقشه استراتژی مدیریت زنجیره تأمین با تلفیق نمودار حلقه علی و کارت امتیازی متوازن»، مجلهٔ مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۴۲، پاییز ۱۳۹۴، صفحه ۱۶۵-۱۵۱.

[۲] حمید صفاری، احمد ماکویی، میرسامان پیشوایی و وحید محمودیان، «یک مدل چندهدفه استوار برای طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظرگیری جریان رو به جلو و عقب و مسئولیت‌پذیری اجتماعی»، مجلهٔ مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۴، شماره ۴۷، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۱۸۵-۱۷۱.

[3] L. Zhou, X. Xu, S. Deng and X. Liu, "Redesigning a supply chain distribution network: formulation and genetic algorithm-based solution procedure ,"International Journal of Information Technology & Decision Making, Vol. 14, No. 4, Jul 2015, pp. 847-876.

[4] R.H. Ballou, "Unresolved issues in supply chain network design ,"Information Systems Frontiers, Vol. 3, No. 4, Dec 2001, pp. 417-426.

[5] L.V. Snyder and M.S. Daskin, "Reliability models for facility location: the expected failure cost case ," Transportation Science, Vol. 39, No. 3, Aug 2005, pp.400-416.

[6] Y. Sheffi, The resilient enterprise: overcoming vulnerability for competitive advantage, 1th ed, MIT Press Books, Cambridge, 2005.

[7] E. Melachrinoudis and H. Min, "The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: A multiple objective approach ,"European Journal of Operational Research, Vol. 123, No. 1, May 2000, pp. 1-15.

[8] E. Melachrinoudis and H. Min, "Redesigning a warehouse network ,"European Journal of Operational Research, Vol. 176, No. 1, Jan 2007, pp. 210-229.

[9] X. Bing, J. Bloemhof-Ruwaard, A. Chaabane and J. van der Vorst, "Global reverse supply chain redesign for household plastic waste under the emission trading scheme ,"Journal of cleaner production, Vol. 103, No. 1, Sep 2015, pp. 28-39.

[10] R. Hammami and Y. Frein, "Redesign of global supply chains with integration of transfer pricing: Mathematical modeling and managerial insights ,"International Journal of Production Economics, Vol. 158, No. 1, Dec 2014, pp. 267-277.

[11] J. Paz, J. Orozco, J. Salinas, N. Buriticá and J. Escobar, "Redesign of a supply network by considering stochastic demand ,"International Journal of Industrial Engineering Computations, Vol.6, No. 4, 2015, pp. 521-528.

[12] J.F. Lundin, "Redesigning a closed-loop supply chain exposed to risks ,"International Journal of Production Economics, Vol.140, No. 4, Dec 2012, pp. 596-603.

[13] M.T. Melo, S. Nickel and F. Saldanha-da-Gama, "An efficient heuristic approach for a multi-period logistics network redesign problem ,"Top, Vol.22, No. 1, Apr 2014, pp. 80-108.

[14] M.T. Melo, S. Nickel and F. Saldanha-da-Gama, "A tabu search heuristic for redesigning a multi-echelon supply chain network over a planning horizon ,"International Journal of Production Economics, Vol.136, No. 1, Mar 2012, pp. 218-230.

[15] J. Razmi, A. Zahedi-Anaraki and M. Zakerinia, "A bi-objective stochastic optimization model for reliable warehouse network redesign ,"Mathematical and Computer Modelling, Vol. 58, No. 11, 2013 Dec, pp. 1804-1813.

[16] M. Khatami, M. Mahootchi and R.Z. Farahani, "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, Vol. 79, No. 1, Jul 2015, pp. 1-21.

[17] L.V. Snyder, M.P. Scaparra, M.S. Daskin and R.L. Church, "Planning for disruptions in supply chain networks ,"Tutorials in operations research, Vol. 2, No. 1, Sep 2006, pp. 234-257.

[18] Y. Hu, J. Li and L.E. Holloway, "Towards modeling of resilience dynamics in manufacturing enterprises: Literature review and problem formulation ,"IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Washington, USA, Vol. 4, Aug 2008, pp. 279-284.

www.SID.ir

Archive of SID

[19] S. Ratick, B. Meacham and Y. Aoyama, "Locating backup facilities to enhance supply chain disaster resilience ,"Growth and Change, Vol. 39, No. 4, Dec 2008, pp. 642-666.

[20] M.B. Aryanezhad, S.G. Jalali and A. Jabbarzadeh, "An integrated supply chain design model with random disruptions consideration ,"African Journal of Business Management, Vol. 4, No. 12, Sep 2010, pp. 2393-2401.

[21] H. Carvalho, A.P. Barroso, V.H. Machado, S. Azevedo and V. Cruz-Machado, "Supply chain redesign for resilience using simulation ,"Computers & Industrial Engineering, Vol. 62, No. 1, Feb 2012, pp. 329-341.

[22] M. Turnquist and E. Vugrin, "Design for resilience in infrastructure distribution networks ,"Environment Systems & Decisions, Vol. 33, No. 1, Mar 2013, pp. 104-120.

[23] T. Sawik, "Selection of resilient supply portfolio under disruption risks ,"Omega, Vol. 41, No. 2, Apr 2013, pp. 259-269.

[24] S.L. Mari, Y.H. Lee and M.S. Memon, "Sustainable and resilient supply chain network design under disruption risks ,"Sustainability, Vol. 6, No. 10, Sep 2014, pp. 6666-6686.

[۲۵] محمدرضا فضلی خلف، سیدکمال چهارسوقی و میرسامان پیشوایی، «طراحی پایای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت: مطالعه موردی یک تولیدکننده باتری اسیدی»، مجلهٔ مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۲، شماره ۳۹، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۶۰-۴۵.

[26] N.S. Sadghiani, S.A. Torabi and N. Sahebjamnia, "Retail supply chain network design under operational and disruption risks ,"Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 75, No. 1, Mar 2015, pp. 95-114.

[27] S. Rezapour, R.Z. Farahani and M. Pourakbar, "Resilient supply chain network design under competition: A case study ,"European Journal of Operational Research, Vol. 259, No. 3, Jun 2017, pp. 1017-1035.

[28] M. Kamalahmadi and M.M. Parast, "A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research ,"International Journal of Production Economics, Vol. 171, No. 1, Jan 2016, pp. 116-133.

www.SID.ir