




Supply Chain Design Based on Two-Stage Mean-CVaR Stochastic Programming with the Possibility of Equipping Suppliers in Disruption

E. Gholamian , S. M. R. Davoodi*  , M. R. Sharifi Qazvini

* Assistant Professor, Department of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran

(Received: 09/06/2022, Revised: 06/09/2022, Accepted: 19/12/2022 , Published: 21/01/2023)

DOR: 20.1001.1.20089198.1401.24.76.7.8


ABSTRACT

Location-allocation in a supply chain is a strategic level decision due to high cost, impossibility of change and the scope of its impact on other decisions and activities, and the selection of suppliers and production and transportation policies is at a tactical level. Integrating different levels of supply chain decisions helps overall costs reduction and performance improvement. To this end, in this paper, a two-stage mean-conditional value at risk model is used to allocate locations and calculate the flow of materials and manufactured products of a multi-product-multi-level supply chain. In this model, distributors and suppliers face the possibility of disruption, and to prevent disruption on the side of suppliers, they can be equipped by spending additional costs. Sources of uncertainty in the model include shipping costs, end-user demand, and the possibility of disruption to distribution centers and suppliers. The research model uses the conditional value at risk along with the risk aversion factor to control the risk of long distances. The designed model is eventually transformed into a single-level linear programming with the help of Monte Carlo simulation. At the end, while solving a numerical example, the model is implemented and the related sensitivity analysis is presented.

Keywords: Supply Chain, Two Stage Stochastic Programming, CVaR, Disruption Possibility

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

 Authors



* Corresponding Author Email: smrdavoodi@ut.ac.ir

طراحی زنجیره تأمین بر اساس برنامه ریزی تصادفی دومرحله‌ای میانگین - ارزش در معرض خطر شرطی با امکان تجهیز تأمین کنندگان در شرایط اختلال

الهام غلامیان^۱، سید محمد رضا داودی^{۲*}، محمدرضا شریفی قزوینی^۳

۱- دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی گرایش مالی، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران، ۲- استادیار گروه مدیریت، واحد دهقان،

دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران، ۳- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران

DOR: 20.1001.1.20089198.1401.24.76.7.8

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

چکیده

تخصیص مکان در طراحی یک زنجیره تأمین به دلیل هزینه بری بالا، عدم امکان تغییر و دامنه تأثیر آن بر سایر تصمیم‌ها و فعالیت‌ها، یک تصمیم سطح استراتژیک می‌باشد و انتخاب تأمین کنندگان و سیاست‌های تولید و حمل‌ونقل در سطح تاکتیکی جای می‌گیرد. ادغام سطوح مختلف تصمیمات در زنجیره تأمین به کاهش هزینه‌های کلی و بهبود عملکرد آن کمک می‌کند. برای این منظور در پژوهش حاضر یک مدل تصادفی دومرحله‌ای میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی برای تخصیص مکان و محاسبه جریان مواد و کالاهای ساخته شده یک زنجیره تأمین چندمحصولی-چندسطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل، توزیع کنندگان و تأمین کنندگان با امکان اختلال مواجه هستند و برای جلوگیری از اختلال در تأمین کنندگان می‌توان آن‌ها را با صرف هزینه، مورد تجهیز قرار داد. منابع عدم قطعیت در مدل شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، تقاضای مشتریان نهایی و احتمال اختلال در مراکز توزیع و تأمین کنندگان می‌باشد. مدل پژوهش از ارزش در معرض ریسک شرطی به همراه ضریب ریسک گریزی برای کنترل ریسک ناشی از فاصله گرفتن زیاد از مقادیر مورد انتظار استفاده می‌کند. مدل طراحی شده در نهایت به کمک شبیه‌سازی مونت کارلو به یک برنامه‌ریزی خطی تک‌سطح تبدیل می‌گردد. در پایان ضمن یک مثال عددی، به پیاده‌سازی مدل و تحلیل حساسیت آن اقدام می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی تصادفی دوسطحی، ارزش در معرض ریسک شرطی، امکان اختلال

۱- مقدمه

خدمات افزایش باید [۲]. یکی از عوامل بنیادی در طراحی بهینه زنجیره تأمین، در نظر گرفتن محیط عدم قطعیت می‌باشد که زنجیره تأمین در بستر آن فعالیت می‌کند. عدم قطعیت می‌تواند از منابع مختلفی مانند تقاضا و سلیقه متغیر مشتریان، هزینه‌های متغیر نهاده‌های تولید مانند مواد اولیه و نیروی کار، ظهور فن‌آوری‌های جدید و شرایط رقابتی شرکت‌ها، شرایط اقتصادی مانند تحریم، حوادث طبیعی، خرابکاری و تروریستی، تغییر قوانین، تصمیمات سیاسی و ... ناشی شود. در نظر نگرفتن عدم قطعیت می‌تواند آثار مخربی بر عملکرد زنجیره تأمین داشته باشد. این آثار مخرب گاه می‌تواند باعث اختلال در عملکرد اجزای زنجیره تأمین گردیده، هزینه سنگینی را بر زنجیره تأمین وارد کند و آن را به سمت انحلال و ورشکستگی سوق دهد [۱۱]. از این رو ضروری است تا در طراحی زنجیره تأمین سناریوهایی برای عدم قطعیت در نظر گرفته شود و در هر سناریو، تصمیمات بهینه‌ای اتخاذ شود تا زنجیره تأمین از کشسانی^۳، استواری^۴ و چابکی^۴ برخوردار گردد. در این میان مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره تأمین یک تصمیم استراتژیک می‌باشد؛ زیرا مستلزم صرف

جهانی‌شدن فعالیت‌های اقتصادی در کنار رشد سریع فن‌آوری و منابع محدود، شرکت‌ها را در یک رقابت تنگاتنگ قرار داده است. در این شرایط هدف سازمان‌ها و شرکت‌ها، حفظ و افزایش سود و همچنین بقا و دوام بیشتر در بازار است. از جمله مزیت‌های رقابتی برای شرکت‌ها، کارا تر و اثربخش تر کردن فعالیت‌هایی نظیر زنجیره تأمین است. در بازارهای بسیار رقابتی جهانی امروز، رقابت بین زنجیره‌های تأمین به‌جای شرکت‌ها به‌عنوان اعضای زنجیره تأمین رخ می‌دهد [۱]. زنجیره تأمین^۱ شامل تسهیلات و فعالیت‌های مختلفی برای تولید، توزیع و تحویل محصولات گوناگون به‌منظور برآوردن تقاضای مشتریان می‌باشد. طراحی و مدیریت زنجیره تأمین مجموعه‌ای از رویکردها برای هماهنگ کردن فعالیت‌ها بین تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و خرده‌فروشان باهدف تولید و توزیع یک کالا در شرایط مناسب می‌باشد؛ به‌طوری‌که به‌طور هم‌زمان هزینه‌های کل زنجیره تأمین به حداقل برسد و سطح

² Resilience

³ Robustness

⁴ Agility

* رایانامه نویسنده مسئول: smrdavoodi@ut.ac.ir

¹ Supply chain

تصمیمات در زنجیره تأمین به کاهش هزینه‌های کلی و بهبود عملکرد آن کمک می‌کند [۱۷]. مسئله تخصیص مکان یکی از مسائل کلاسیک در تحقیق در عملیات است و کاربرد عمومی آن در تولید، تدارکات، درمان و حتی امور نظامی مانند محل کارخانه‌ها، انبارها، مراکز توزیع، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و انبارهای موشکی است. اهمیت تخصیص مکان در این است که پس از تعیین حالت توزیع، دیگر امکان تغییر در آن به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد و این به‌طور مستقیم بر مواردی مانند کیفیت، کارایی و هزینه خدمات، سود و رقابت در بازار و حتی تعیین بقای شرکت‌ها تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، مطالعه مکان‌یابی از اهمیت اقتصادی و اجتماعی بالایی برخوردار است. در پژوهش حاضر مکان‌یابی بهینه تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان البته در یک محیط با شرایط عدم اطمینان و ریسکی موردبررسی قرار خواهد گرفت.

همه فرآیندها و تصمیمات در محیط کسب‌وکار در معرض عدم اطمینان قرار دارند. تخمین‌های غلط و قضاوت‌های اشتباه ناشی از عدم اطمینان است. باید عدم اطمینان را همواره کنترل و مدیریت کرد زیرا اگر دیر آشکار شود، تأثیرات بسیار جدی خواهند داشت. ریسک در نتیجه عدم آگاهی دقیق از اتفاقات آینده روی می‌دهد. تصمیمات مختلف در فرآیندهای مدیریت ریسک می‌تواند شامل اجتناب از ریسک، پذیرش ریسک، انتقال و کاهش ریسک باشد. طی دو دهه اخیر، پیچیدگی محیط کسب‌وکار، پویایی، عدم اطمینان و نوسانات محیطی بالاتر، پیچیدگی فناوری‌های پیشرفته، کوتاه و کوتاه‌تر شدن چرخه عمر محصولات، نیازمندی‌های متمایز مشتریان و گسترش میل به تنوع خواهی و تقاضا برای محصولات متنوع در بازار جهانی بعلاوه مفاهیمی همچون جهانی‌شدن و رقابت فزاینده باعث تغییرات بسیاری در معادلات حاکم بر زنجیره تأمین صنایع شده است. در چنین شرایطی کسب‌وکارها باید برای مواجهه با جریان پیوسته‌ای از چالش‌ها از قبیل بحران‌های اقتصادی، تحریم‌ها، نوسانات نرخ ارز و قیمت‌ها، محدودیت‌های سیستم تولیدی و یا بلایای طبیعی خود را آماده نمایند [۸]. با توجه به موارد بیان شده برای طراحی یک زنجیره تأمین نیاز است تا سناریوهایی برای آینده سیستم در نظر گرفته شود و تحت هر سناریو مشخصات و روابط اجزای زنجیره تأمین موردبررسی قرار گیرد. هر سناریو متناظر با یک مقدار احتمال است که نشان‌دهنده میزان احتمال وقوع است. در نظر گرفتن سناریوهای مختلف این امکان را به زنجیره تأمین می‌دهد که بتواند در شرایط مختلف به کار خود ادامه بدهد و یا به اصطلاح از پایداری و کسب‌وکار برخوردار باشد.

هزینه زیاد است، اصلاح یا تغییر آن هزینه‌بر و مشکل است و تمامی عملکردهای بعدی زنجیره تأمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در پژوهش حاضر مسئله طراحی زنجیره تأمین چندسطحی چندمحصولی در یک بستر تصادفی بر اساس رویکرد ترکیبی میانگین-ریسک مورد مطالعه قرار می‌گیرد که معیار سنجش ریسک، ارزش در معرض ریسک شرطی می‌باشد. تخصیص مکان مراکز تولید و توزیع و تجهیز تأمین‌کنندگان در جهت مقابله با احتمال اختلال و استراتژی بهینه تأمین مواد اولیه، تولید کالا و توزیع آن متغیرهای تصمیم مورد مطالعه می‌باشد و تقاضای مشتریان، هزینه‌های حمل‌ونقل و امکان اختلال در مراکز توزیع منبع‌های تصادفی در مدل پژوهش می‌باشند.

۲- روش تحقیق

۱-۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین شبکه‌ای از فرآیندها باهدف نهایی تأمین کالاها و خدمات موردنیاز مشتریان است و دربرگیرنده تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، عمده‌فروشان، خرده‌فروشان و لجستیک معکوس است که باهم به‌طور هماهنگ و منسجم در جهت راضی کردن مشتریان همکاری می‌کنند. هدف مدیریت زنجیره تأمین فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل عملیات مرتبط با زنجیره تأمین در بهینه‌ترین حالت ممکن است (رضایی و دهقانیان، ۱۳۹۲). تصمیمات مختلف در طراحی و مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان در قالب سه سطح تقسیم‌بندی کرد [۱۶]:

۱- سطح استراتژیک: در این سطح تصمیماتی با اثرات بلندمدت اتخاذ می‌شود. به‌طور کلی، برنامه‌ریزی استراتژیک در ارتباط با مکان تأسیسات، استقرار زیرساخت، تخصیص ظرفیت و پارامترهای دیگر که برای چند سال دوام می‌آورد.

۲- سطح تاکتیکی: این سطح شامل برنامه‌ریزی میان‌مدت در زنجیره تأمین شامل عملیات و فعالیت‌های با اثر در محدوده یک‌ساله مانند سیاست‌های مدیریت کنترل موجودی می‌باشد.

۳- سطح عملیاتی: این سطح شامل تصمیمات کوتاه‌مدت است که روزانه یا هفتگی متفاوت است و در طول زمان تحت تأثیر تصادفی بودن قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، انجام سفارش‌ها، برنامه‌های مسیریابی و ...

در سال‌های اخیر، یک حرکت قوی به سمت ادغام تصمیم‌های استراتژیک و تاکتیکی از طریق توسعه مدل‌های تخصیص مکان صورت گرفته است. ادغام سطوح مختلف

تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان می‌باشد و مکان‌هایی از قبل مشخص برای احداث تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و خرده‌فروشان نامزد هستند که مدل پژوهش مکان‌های منتخب بهینه را بر اساس کمینه‌سازی تابع هدف مرتبط با هزینه‌های شبکه و با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف محاسبه خواهد کرد. در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در زنجیره تأمین، مسائل بهینه‌سازی این حوزه را به بهینه‌سازی تصادفی مرتبط می‌کند و بنابراین، با یک مسئله بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ای اعداد صحیح مختلط مواجه هستیم. در برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای، دو دسته متغیر تصمیم وجود دارند. متغیرهای تصمیم سطح اول که از نوع تصمیم‌های استراتژیک بوده و وابسته به سناریوهای احتمالی نیستند (قبل از وقوع سناریو مورد تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند) و متغیرهای تصمیم سطح دوم که وابسته به سناریو هستند و در پاسخ به انتخاب متغیرهای سطح یک و سناریوی احتمالی بهینه می‌گردند.

در مدل پژوهش جزء دوم تابع هدف در مدل دوسطحی تصادفی، امید ریاضی هزینه‌های سیستم می‌باشد. در نظر گرفتن امید ریاضی به‌تنهایی می‌تواند مدل پژوهش را با عدم استواری روبرو کند. این عدم استواری ناشی از این مطلب است که ممکن است سناریو یا سناریوهایی وجود داشته باشد که هزینه زنجیره تأمین در صورت رخداد آن‌ها از امید ریاضی هزینه محاسبه‌شده توسط مدل (در سناریوهای مختلف) فاصله زیادی بگیرد در این صورت عملکرد زنجیره از مقدار مورد انتظار فاصله قابل توجهی خواهد داشت. برای استواری مدل پژوهش، فاکتور ریسک نیز مورد توجه قرار می‌گیرد و برای این منظور از معیار سنجش ریسک ارزش در معرض ریسک شرطی استفاده می‌شود. ارزش در معرض ریسک شرطی یا ریزش برای متغیر تصادفی که در اینجا متغیر تصادفی نشان‌دهنده هزینه‌های زنجیره می‌باشد، محاسبه می‌گردد و به‌عنوان یک جزء به تابع هدف کلی زنجیره تأمین اضافه می‌شود. ارزش در معرض ریسک در یک سطح اطمینان مشخص، امید ریاضی هزینه‌های زنجیره تأمین می‌باشد در صورتی که هزینه‌ها از یک مقدار بحرانی فراتر رود؛ بنابراین، تابع هدف کلی زنجیره تأمین ترکیبی از سطح اول برنامه‌ریزی تصادفی (هزینه‌های مرتبط با تأسیس مراکز)، سطح دوم برنامه‌ریزی تصادفی (هزینه‌های زنجیره پس از یک مکان‌یابی نوعی) و ارزش در معرض ریسک (به‌عنوان معیار سنجش ریسک) می‌باشد. برای بهینه‌سازی مدل پژوهش از برنامه‌ریزی خطی مخلوط صفر و یک استفاده می‌شود و تحلیل حساسیت جواب بهینه نسبت به پارامترهای مختلف ارزیابی می‌شود.

در پژوهش حاضر، تقاضای مشتریان در خرده‌فروشی‌ها، هزینه‌های حمل‌ونقل و امکان اختلال (که در ادامه معرفی می‌شود) به‌صورت تصادفی وابسته به سناریو در نظر گرفته می‌شود. در زندگی واقعی، با توجه به نوسانات بازار، نمی‌توان با قطعیت هزینه‌های حمل‌ونقل، مقدار تقاضا را برآورد کرد. در مسئله سنتی تخصیص مکان، همیشه فرض می‌شود که هزینه حمل واحد از مبدأ تا مقصد یک عدد واقعی مشخص است. با این حال، تحت شرایط خاص، مانند بلایای طبیعی، اعتصابات، جنگ، تراکم ترافیک در شهرها، هزینه‌های تأمین سوخت، امنیت راه‌ها و... شبکه مسیر برنامه‌ریزی شده ممکن است از بین برود که باعث می‌شود هزینه حمل‌ونقل واحد از مبدأ تا مقصد نامشخص باشد، یعنی عدد نامشخصی باشد؛ بنابراین، در این مقاله، مشکل تخصیص مکان با هزینه حمل‌ونقل تصادفی را در نظر می‌گیریم.

یکی دیگر از پارامترهای تصادفی در مدل پژوهش، امکان اختلال در عملکرد مراکز توزیع می‌باشد. یک نظرسنجی در سال ۲۰۱۱ توسط مؤسسه تداوم کسب‌وکار یا به‌اختصار BCI^۱ زوریخ، با پاسخ‌هایی از بیش از ۵۵۹ شرکت در ۶۵ کشور، نشان داد که بیش از ۸۵٪ از شرکت‌ها حداقل یک‌بار در طول سال دچار اختلال در زنجیره تأمین. پاسخ‌دهندگان نظرسنجی سال ۲۰۱۱ همچنین خاطر نشان کردند که ۴۰ درصد از اختلالات گزارش شده در بالادست با پیمانکاران فرعی به‌جای پیمانکاران اصلی یا تأمین‌کنندگان ردیف اول منشأ می‌گیرند. نظرسنجی سال ۲۰۱۶ همچنین اشاره کرد که از هر سه سازمان، یک سازمان به دلیل اختلالات زنجیره تأمین خسارت جمعی بیش از ۱ میلیون یورو در سال را تجربه کرده است و ۲۲ درصد از کسب‌وکارها ۱۱ یا بیشتر اختلال را تجربه کرده‌اند (کانگوالسانگ و همکاران^۲، ۲۰۲۱). در پژوهش حاضر بعلاوه، فرض می‌شود که مراکز توزیع و تأمین‌کنندگان می‌توانند در وضعیت اختلال قرار گیرند و از چرخه فعالیت متداول مورد انتظار خارج شوند. این مورد می‌تواند به دلایل مختلف چون بلایای طبیعی، مشکلات فنی و عملیاتی، وقایع مرتبط با حوزه فناوری و اطلاعات و... رخ دهد. در پژوهش حاضر امکان اختلال در خدمت‌رسانی مراکز توزیع در نظر گرفته می‌شود و امکان تجهیز تأمین‌کنندگان در جهت مقابله با اختلال، در مدل پژوهش گنجانده می‌شود.

بنا بر آنچه تاکنون بیان شد، پارامترهای زنجیره تأمین پژوهش، ثابت نیستند و مقادیری وابسته به سناریو هستند و قرار است تحت این شرایط، مسئله مکان‌یابی بهینه موردبررسی قرار گیرد. زنجیره تأمین موردبررسی شامل بخش‌های تأمین‌کنندگان،

¹ The Business Continuity Institute

² Kungwalsong et al.

شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن جریان‌های مستقیم و برگشتی به صورت توأم متعلق به چندین محصول در طی چند دوره زمانی ارائه کرده است. عدم قطعیت پارامترهای تقاضا، نرخ‌های برگشت، احیا و امحا محصولات و هزینه‌های حمل‌ونقل، نگهداری و مدیریت جریان برگشتی با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده با استفاده از یک روش حل کارا مبتنی بر تقریب میانگین نمونه و الگوریتم تجزیه بندرز شتاب‌یافته جدید حل شده است. طولایی و همکاران (۱۳۹۴) به توسعه مدل برنامه ریزی خطی با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و جریان‌های نقدی در میان مدت پرداختند. در این مقاله مدلی به منظور فرموله کردن برنامه‌ریزی تصادفی در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین که شامل خرید مواد اولیه از تأمین کننده، تبدیل آن‌ها به محصول در کارخانه و در نهایت ذخیره و انبار و فروش محصولات تولیدی که با عدم قطعیت در تقاضا روبروست، ارائه خواهیم داد. آقا احمدی و ماهوتچی (۱۳۹۲) یک زنجیره تأمین برای مواد فسادپذیر در شرایط عدم قطعیت تقاضا ارائه کردند. مسئله شامل تعیین تعداد و مکان مراکز توزیع، تخصیص خرده فروشان به مراکز توزیع و تعیین سیاست کنترل موجودی مراکز توزیع راه اندازی شده است به نحوی که کل هزینه‌های زنجیره حداقل گردد. عدم قطعیت از طریق سناریوهای گسسته در مدل اعمال شده و برای تولید سناریو از روش‌های تولید و کاهش سناریو بهره گرفته شده است. مسئله به روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و در غالب یک مدل غیرخطی عدد صحیح آمیخته فرمول بندی شده است. برای حل این مدل از الگوریتم ترکیبی شبیه‌سازی تبرید استفاده گردیده است. رضایی و دهقانیان (۱۳۹۲) به طراحی استراتژیک یک شبکه زنجیره تأمین در محیط تجارت با مجوزهای نشر آلودگی و با در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی و محدودیت بودجه پرداختند. تقاضا و قیمت مجوزهای نشر آلودگی به عنوان پارامترهای تصادفی مهم تأثیرگذار در طراحی شبکه لحاظ شده اند. بدین منظور ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای ارائه و حل شده است.

آزرون و همکاران^۱ (۲۰۲۱) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای چندهدفه را توسعه دادند که انتخاب سایت‌های انبار و خرده‌فروش و تصمیم‌گیری در مورد سطح تولید، سطح موجودی و مقادیر حمل‌ونقل را بین نهادهای شبکه زنجیره تأمین در نظر می‌گیرد. هدف اول به حداکثر رساندن سود کل زنجیره و هدف دوم کمینه‌سازی زمان پاسخگویی می‌باشد و فرض می‌شود که پارامترهای نامشخص به صورت متغیرهای تصادفی پیوسته توزیع شده‌اند و از یک روش شبیه‌سازی به نام طرح تقریب

در ادامه پیشینه تحقیق موردبررسی قرار می‌گیرد و در پایان با توجه به تحقیقات صورت گرفته، جنبه‌های نوآوری پژوهش بیان می‌گردد.

برزگر و همکاران (۱۴۰۱) به شناسایی و تحلیل اختلالات زنجیره‌ی تأمین پوشاک عملیاتی یک سازمان دفاعی از طریق مدل‌سازی تفسیری ساختاری پرداختند. در این پژوهش، ابتدا با کنکاش در پیشینه‌ی تحقیق، اختلالات مرتبط با زنجیره‌ی تأمین شمارش شد. سپس با انجام تحقیق میدانی و نظرخواهی از خبرگان، اختلالات متناسب با زنجیره‌ی تأمین پوشاک عملیاتی یک سازمان دفاعی، شناسایی شد. در ادامه، با مدل‌سازی تفسیری ساختاری، میزان وابستگی و محرک بودن اختلال‌ها و روابط درونی آن‌ها طی هفت مرحله، به دست آمد. موسوی و همکاران (۱۴۰۱) به مطالعه مجموعه‌ای از تحلیل‌های شبکه‌ای و موضوعی به روز برای شناسایی مشارکت‌کنندگان تأثیرگذار، جریان‌های تحقیقاتی اصلی و استراتژی‌های مدیریت اختلال مرتبط با عملکرد زنجیره تأمین تحت تنظیمات کووید-۱۹ پرداختند. تجزیه و تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که تاب‌آوری و پایداری موضوعات اولیه زنجیره تأمین هستند. علاوه بر این، مضامین اصلی تحقیقات مواد غذایی، زنجیره تأمین‌های مرتبط با سلامت و ابزارهای به کمک فناوری هستند.

میرحسینی و خالقی (۱۴۰۰) در پژوهشی یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای مسئله مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ در مناطق شهری ارائه دادند و یک الگوریتم ابتکاری کارآمد مبتنی بر تجزیه بندرز برای حل مدل استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش اکتشافی می‌تواند یک راه حل تقریباً مطلوب (با شکاف بهینه حداکثر ۰/۰۵٪) در یک زمان کوتاه پیدا کند. جعفری و همکاران (۱۳۹۹) یک زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه ریسک ناشی از عدم قطعیت در پارامترها طراحی کردند که برای مدل‌سازی این مسئله از برنامه‌ریزی تصادفی استفاده شده و همچنین با استفاده از مقیاس ارزش در معرض ریسک شرطی به اندازه‌گیری ریسک‌ها پرداخته می‌شود. بهزادی و سیف برقی (۱۳۹۷) به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته شامل تأمین‌کننده خارجی، مراکز تولید/بازیابی، مراکز ترکیبی توزیع/جمع‌آوری، مراکز دفع و مشتریان پرداختند. در این مقاله فرض شده است پارامترهای تقاضا، کمیت و کیفیت محصولات برگشتی و هزینه‌های متغیر دارای عدم قطعیت‌اند. برای ارزیابی عدم قطعیت پارامترها از دو رویکرد بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ای و بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد کارایی بهینه‌سازی استوار نسبت به بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ای در شرایط عدم قطعیت بهتر است. حسنی (۱۳۹۶) یک مدل ریاضی جامع برای طراحی

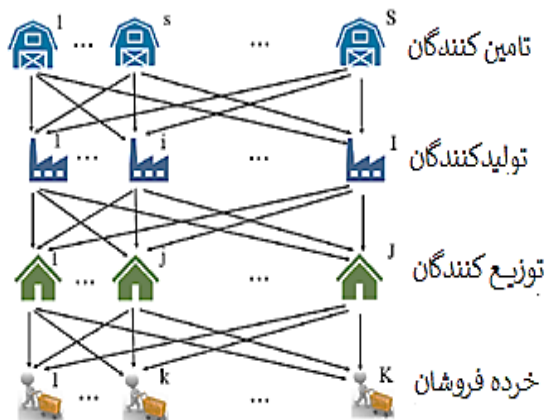
^۱ Azaron et al

مدیریت ریسک‌های مرتبط با خرابی‌های تصادفی تجهیزات را با بهینه‌سازی تصمیم‌گیری در مورد کمیت و قرارداد قطعات حیاتی روی شبکه‌ای از سایت‌های صنعتی مرتبط بررسی کردند. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی دومرحله‌ای با معیار ارزش در خطر شرطی برای ترکیب ریسک‌گریزی توسعه داده شده است. نتایج محاسباتی برای نشان دادن مزایای رویکرد ارزش در خطر شرطی در مقایسه با رویکرد کمینه‌سازی هزینه مورد انتظار مربوطه ارائه شده‌اند. مدل ارزش در خطر شرطی منجر به سیاست‌هایی می‌شود که ضرر کمتری نسبت به مدل خنثی ریسک مربوطه دارند. نویان^۷ (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای ریسک‌گریز را ارائه کردند که در آن، ارزش در معرض خطر شرطی به‌عنوان معیار ریسک استفاده می‌شود. دو الگوریتم تجزیه بر اساس رویکرد عمومی تجزیه بندرز برای حل چنین مسائلی پیشنهاد می‌شود.

با مطالعه ادبیات و پیشینه پژوهش، جنبه‌های نوآوری مدل پژوهش عبارت‌اند از: ۱- لحاظ کردن امکان اختلال در مراکز توزیع و تأمین‌کنندگان در مدل برنامه‌ریزی تصادفی دوسطحی میانگین-ریسک (ارزش در معرض خطر شرطی)؛ ۲- امکان تجهیز تأمین‌کنندگان در جهت مقابله با امکان اختلال؛ ۳- در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل به‌صورت توأم؛ و ۴- مدل‌سازی مدل میانگین-ریسک به‌صورت برنامه‌ریزی خطی.

۲-۲- مدل پژوهش

ساختار زنجیره تأمین پژوهش، چندسطحی-چندمحصولی است و از چهار سطح یا لایه تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع (انبارها) و خرده‌فروشان تشکیل شده است که شمای کلی آن در نمودار (۱) نشان داده شده است.



نمودار (۱). ساختار زنجیره چندسطحی پژوهش

میانگین نمونه برای محاسبه راه‌حل‌های بهینه مدل تصادفی با تعداد بی‌نهایت سناریو استفاده می‌کنیم. کنگوالسانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۱) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین چهار مرحله‌ای با توجه به اختلالات احتمالی در تأسیسات پیشنهاد کردند. یک الگوریتم تریبید شبیه‌سازی شده اصلاح شده برای تعیین تصمیم استراتژیک در مرحله اول توسعه یافته است. مقایسه چارچوب تصمیم‌گیری شبکه زنجیره تأمین سنتی نشان می‌دهد که تحت اختلال، راه‌حل‌های تصادفی از راه‌حل سنتی بهتر عمل می‌کنند. اکسوز و ساتلو^۲ (۲۰۲۰) به تعیین مکان و تعداد مراکز درمانی موقت در صورت وقوع بلایا با در نظر گرفتن موقعیت بیمارستان‌های موجود، طبقه بندی مصدومان، ظرفیت مراکز درمانی و احتمال آسیب به جاده‌ها و بیمارستان‌ها پرداختند. برای این منظور، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای توسعه داده شد. مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن انواع مصدومان، تقاضا، احتمال خسارت به جاده‌ها و بیمارستان‌ها و فاصله بین مناطق حادثه‌دیده و مراکز درمانی، یک راه‌حل مکانی مطلوب را پیدا می‌کند. دنگ و همکاران^۳ (۲۰۱۹) یک مدل ارزش مورد انتظار تصادفی را برای مدل‌سازی تصادفی دومرحله‌ای تخصیص موقعیت مکانی با ظرفیت مشخص در تدارکات اضطراری توسعه دادند. تعداد و ظرفیت مراکز تأمین هر دو متغیر تصمیم هستند و برای حل این مدل‌ها، یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با اپراتور ابر گاوس، استراتژی شروع مجدد و استراتژی پارامترهای تطبیقی توسعه یافته است. لیو و همکاران^۴ (۲۰۲۱) مسئله تخصیص مکان بهینه کارخانه و مراکز توزیع را برای زنجیره تأمین تحت هزینه حمل‌ونقل نامشخص بررسی کردند. با در نظر گرفتن عدم قطعیت و معیار ریسک زنجیره تأمین، یک مدل بهینه‌سازی اعداد صحیح مختلط تصادفی صفر و یک دومرحله‌ای میانگین-ریسک ایجاد شده و با توجه به پیچیدگی مدل، این مقاله یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات باینری هیبریدی اصلاح شده را برای حل مدل حاصل پیشنهاد می‌دهد. سان و همکاران^۵ (۲۰۱۸) برای رویارویی با مسائل بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ای از اندازه ریسکی استفاده می‌کنند که در آن معیار ریسک به‌عنوان مقادیر مورد انتظار در بدترین حالت در مجموعه‌ای از توزیع‌های محدود تعریف می‌شود و نشان داده شده است این مسئله بهینه‌سازی تصادفی درجه دوم دومرحله‌ای با معیارهای ریسک معادل یک مسئله بهینه‌سازی مخروطی است که می‌تواند در زمان چندجمله‌ای حل شود. تراسروویچ و همکاران^۶ (۲۰۱۴) مسئله

¹ Kungwalsong et al.

² Oksuz and satoglu

³ Deng et al.

⁴ Liu et al.

⁵ Sun

⁶ Trusevych et al.

بردار تصادفی نشان دهنده پارامترهای تصادفی شبکه شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، تقاضا و اختلال در مراکز توزیع و تأمین کنندگان.	$\xi^{(w)}$
ضریب ریسک گریزی.	λ
پارامتر باینری: مقدار یک را در صورتی اخذ می‌کند که تأمین کننده s در سناریوی w با اختلال مواجه شود.	$B_s^{(w)}$

متغیرهای تصمیم مدل پژوهش در جدول (۳) معرفی شده‌اند. متغیرهای سطح یک مرتبط با تخصیص مکان تولیدکنندگان و توزیع کنندگان و تجهیز یا عدم تجهیز تأمین کنندگان به منظور جلوگیری از اختلال می‌باشد. متغیرهای تصمیم سطح دو در مورد مقدار مواد اولیه و کالای نهایی جابجا شده بین اجزای زنجیره تأمین می‌باشد.

جدول (۳). متغیرهای تصمیم مورد استفاده در مدل پژوهش

متغیر تصمیم	تعریف
e_i	متغیر باینری نشان دهنده باز شدن کارخانه i .
c_j	متغیر باینری نشان دهنده باز شدن مرکز توزیع j .
lev_s	متغیر باینری نشان دهنده تجهیز مرکز توزیع s .
$x_{vis}^{(1)}$	مقدار مواد اولیه v که توسط تأمین کننده s به کارخانه i ارسال می‌شود.
$x_{ij}^{(2)}$	مقدار کالای l که توسط کارخانه i به مرکز توزیع j فرستاد می‌شود.
$x_{ijk}^{(3)}$	مقدار کالای l که توسط مرکز توزیع j به مصرف کننده k ارسال می‌شود.

برای رسیدن به تابع هدف مدل، نیاز است تا ارزش در معرض ریسک (خطر) شرطی معرفی گردد. فرض کنیم x متغیر تصادفی نشان دهنده هزینه یا ضرر باشد. در این صورت ارزش در معرض ریسک شرطی x در سطح اطمینان α به صورت رابطه (۱) تعریف می‌گردد.

$$CVar_{\alpha}(X) = \min_{\eta} \left\{ \eta + \frac{1}{1-\alpha} E(|X - \eta|_+) \right\} \quad (1)$$

که $|x|_+ = \max\{x, 0\}$. درک مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی مستلزم درک ارزش در معرض ریسک یا $Var_{\alpha}(X)$ می‌باشد. ارزش در معرض ریسک، حداکثر هزینه یا ضرر ناشی از متغیر X را در یک سطح اطمینان مانند $\alpha = 0.95$ اندازه می‌گیرد. به عنوان نمونه $Var_{0.95}(X) = 10\$$ نشان می‌دهد که در ۹۵٪ مواقع حداکثر ضرر ناشی از متغیر تصادفی از ۱۰ دلار تجاوز نمی‌کند؛ بنابراین، می‌توان این سؤال را مطرح کرد که در ۵٪ باقی مانده با چه میزان ضرری مواجه هستیم. ارزش در معرض ریسک شرطی، امید ریاضی متغیر تصادفی را برای مقادیر بزرگ‌تر از ارزش در معرض ریسک اندازه می‌گیرد.

مطابق نمودار (۱)، از مجموعه اندیس‌ها و مجموعه‌های معرفی شده در جدول (۱) برای نشان دادن اجزای زنجیره تأمین، مواد اولیه و محصولات نهایی استفاده می‌شود.

جدول (۱). اندیس‌ها و مجموعه‌های مورد استفاده در مدل زنجیره تأمین

نماد (اندیس)	تعریف
s	اندیس تأمین کننده در مجموعه تأمین کنندگان S
i	اندیس تولید کننده در مجموعه تولید کنندگان I
j	اندیس توزیع کننده در مجموعه توزیع کنندگان J
k	اندیس خرده‌فروشی در مجموعه خرده‌فروشان K
v	اندیس ماده اولیه در مجموعه مواد اولیه V
l	اندیس محصول در مجموعه محصولات L

مطابق جدول (۱)، $|S|$ مکان نامزد برای بازگشایی کارخانه و $|J|$ مکان نامزد برای بازگشایی مراکز توزیع، موجود می‌باشد که تولیدکنندگان و مراکز توزیع بهینه از بین آن‌ها با مفروضات و شرایطی که در ادامه بیان می‌شود، انتخاب می‌شوند. پارامترهای مورد استفاده در مدل پژوهش به همراه تعریف آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. تأمین کنندگان نیز مانند مراکز توزیع، با امکان اختلال مواجه هستند و برای از بین بردن این احتمال، مدل بهینه می‌تواند آن‌ها را با صرف هزینه بیشتر مورد تجهیز قرار دهد. هزینه‌های حمل‌ونقل، مقدار تقاضای مشتریان نهایی و رخداد اختلال در تأمین کنندگان، دارای ماهیت تصادفی (احتمالی) و وابسته به سناریو می‌باشد و تمام سناریوها در مجموعه Ω قرار دارد.

جدول (۲). پارامترهای مورد استفاده در مدل پژوهش

پارامتر	تعریف
f_i	هزینه ثابت عملیاتی کارخانه i .
g_j	هزینه ثابت عملیاتی مرکز توزیع j .
$equip_s$	هزینه تجهیز تأمین کننده s به منظور جلوگیری از اختلال.
a_{vs}	مقدار ماده اولیه (ظرفیت) v که تأمین کننده s قادر به تأمین می‌باشد.
r_{vs}	هزینه تأمین ماده اولیه v توسط تأمین کننده s .
n_{vl}	مقدار ماده اولیه v که برای تولید محصول l مورد نیاز است.
b_{il}	مقدار کالایی که تولید کننده i از محصول l قادر به تولید می‌باشد.
q_{il}	هزینه تولید هر واحد محصول l در تولید کننده i .
τ_{ij}	مقدار کالای l که مرکز j می‌تواند ذخیره کند.
w_{lj}	هزینه انبارداری هر واحد کالای l در مرکز توزیع j .
h_l	قیمت عمده‌فروشی کالای l .
$t_{vis}^{(1)}$	هزینه حمل‌ونقل یک واحد ماده اولیه v از تأمین کننده s به تولید کننده i .
$t_{ij}^{(2)}$	هزینه حمل‌ونقل یک واحد کالای l از تولید کننده i به مرکز توزیع j .
$t_{ijk}^{(3)}$	هزینه حمل‌ونقل یک واحد کالای l از توزیع کننده j مصرف کننده k .
d_{lk}	تقاضای مصرف کننده k برای کالای l .

رخداد آن‌ها می‌باشد. از طرفی همواره این احتمال وجود دارد که هزینه متناظر با یک یا چند سناریو از امید ریاضی هزینه‌ها، فاصله زیادی بگیرد که در این صورت هزینه مورد انتظار در مرحله طراحی و بهینه‌سازی زنجیره تأمین از مقادیر واقعی فاصله زیادی می‌گیرد. برای رفع این مشکل از ارزش در معرض ریسک شرطی به‌عنوان معیار محاسبه ریسک استفاده می‌شود. ضریب λ موسوم به ضریب ریسک گریزی، برای توازن بین بازده و ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد، به صورتی که $\lambda = 0$ متناظر با سرمایه‌گذار کاملاً ریسک‌پذیر و $\lambda = 1$ متناظر با سرمایه‌گذار ریسک‌گریز می‌باشد. بدین صورت تابع هدف مدل پژوهش عبارت است از:

$$\min_{e,c} z = \sum_{i \in I} f_i e_i + \sum_{j \in J} g_j c_j + \sum_{s \in S} lev_s equip_s + (1-\lambda)E(Q(e,c,\omega)) + \lambda CVaR_\alpha(Q(e,c,\omega)) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij}^{(2)} \leq e_i b_{il} \quad \forall i, l \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijk}^{(3)} \leq \sum_{i \in I} x_{lij}^{(2)} \quad \forall l, j \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijk}^{(3)} \leq c \tau_{ij} \quad \forall l, j \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijk}^{(3)} \leq d_{lk}(w) \quad \forall l, k \quad (9)$$

$$e_i, cu_j, cr_j \in \{0,1\}, x_{vsi}^{(1)}, x_{lij}^{(2)}, x_{ijk}^{(3)} \geq 0 \quad \forall i, j, k, s, l, v \quad (10)$$

در جدول (۴)، توضیح عملکرد محدودیت‌های مدل مشخص شده است.

تابع هدف مدل، کمینه‌سازی هزینه است و از دو بخش یا مرحله تشکیل می‌گردد. مرحله اول از هزینه‌های متناظر با متغیرهای سطح یک (هزینه‌های عملیاتی باز شدن کارخانه‌ها، مراکز توزیع و تجهیز تأمین‌کنندگان) و مرحله دوم از هزینه عملکرد زنجیره تأمین پس از تخصیص مکان صورت گرفته در مرحله یک، تشکیل شده است. هزینه‌های بخش دوم شامل هزینه‌های حمل‌ونقل و انبارداری می‌باشد که درآمد حاصل از فروش از آن کسر می‌گردد. در مدل چهار منبع تصادفی شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، تقاضای مشتریان، امکان اختلال در مراکز توزیع و تأمین‌کنندگان وجود دارد. امید ریاضی هزینه سیستم به‌عنوان تابع هدف بخش دوم انتخاب می‌گردد که در واقع جمع‌کننده هزینه‌های همه سناریوهای با در نظر گرفتن احتمال

که هزینه‌های سطح دوم در یک سناریوی مشخص و یک تخصیص مکان مشخص شده از سطح یک، عبارت است از:

$$Q(e,c,w) = \min_{x^{(1)}, x^{(2)}, x^{(3)}} \sum_{v \in V} \sum_{s \in S} (r_{vs} \sum_{i \in I} x_{vsi}^{(1)}) + \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} (q_{il} \sum_{j \in J} x_{lij}^{(2)}) + \sum_{v \in V} \sum_{s \in S} \sum_{i \in I} f_{vsi}^{(1)}(w) x_{vsi}^{(1)} + \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} f_{lij}^{(2)}(w) x_{lij}^{(2)} + \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_{ijk}^{(3)}(w) x_{ijk}^{(3)} \quad (3)$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (w_{ij} (\sum_{l \in L} x_{lij}^{(2)} - \sum_{k \in K} x_{ijk}^{(3)})) - \sum_{i \in I} (h_i \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijk}^{(3)}) \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{vsi}^{(1)} \leq (B_s(\omega) lev_s + 1 - B_s(\omega)) a_{vs} \quad \forall v, s \quad (4)$$

$$\sum_{l \in L} (n_{vl} \sum_{j \in J} x_{lij}^{(2)}) \leq \sum_{s \in S} x_{vsi}^{(1)} \quad \forall v, i \quad (5)$$

جدول (۴). تعریف محدودیت‌های مدل

شماره محدودیت	توضیح
۴	محدودیت ظرفیت تأمین ماده اولیه هر تأمین‌کننده که تابعی از ظرفیت تأمین‌کننده، امکان اختلال و تجهیز یا عدم تجهیز آن می‌باشد.
۵	محدودیت تأمین مواد اولیه لازم برای ساخت محصول در تولیدکننده.
۶	محدودیت ظرفیت تولید در کارخانه.
۷	تأمین نیاز مشتریان بر اساس مقدار موجودی کالا در مراکز توزیع.
۸	محدودیت مقدار موجودی کالا در مراکز توزیع که تابعی از باز شدن مرکز، ظرفیت مرکز و عدم وجود اختلال می‌باشد.
۹	تأمین نیاز مشتریان به‌صورت حداکثری.
۱۰	مثبت بودن متغیرهای تصمیم.

جدول (۵). تأثیر اختلال و تجهیز بر ظرفیت تأمین‌کننده

$B_s(w)$	lev_s	z
۱	۱	۱
۱	۰	۰
۰	۱	۱
۰	۰	۱

محدودیت شماره چهار یعنی $\sum_{i \in I} x_{vsi}^{(1)} \leq z a_{vs}$ مرتبط با رعایت ظرفیت تأمین‌کننده می‌باشد. پارامتر باینری z وابسته به وقوع اختلال $B_s(w)$ و تجهیز یا عدم تجهیز lev_s می‌باشد که مطابق جدول (۵)، مقدار می‌پذیرد.

جدول (۶). پارامترهای مورد استفاده در مدل

اندیس	f_i	g_j	$equip_s$	a_{vs}	b_{il}	τ_{lj}	w_{lj}	q_{il}	r_{vs}	n_{vl}	h_l
۱	۱۰۰۰	۲۰۰	۲۴۵	۹۰۰	۴۵۰	۵۰۰	۲	۱۲	۴	۱	۲۸
۲	۱۰۵۰	۲۰۲	۲۵۵	۱۰۰۰	۵۵۰	۴۰۰	۲	۱۰	۳		
۳	۱۰۲۰	۲۰۵	۲۶۰	۸۰۰	۷۵۰	۳۵۰	۲	۹	۴		
۴		۱۹۸				۲۵۰	۲				

$$\min_{\eta} \left\{ \eta + \frac{1}{1-\alpha} \sum_{j \in [n]} p_j w_j : w_j \geq x_j - \eta \quad \forall j \in [n], w \in R_{\tau}^n, \eta \in R \right\} \quad (13)$$

که $p(\omega)$ احتمال رخداد سناریوی ω می باشد. بدین صورت امید ریاضی به فرم خطی (جهت استفاده در برنامه ریزی خطی) تبدیل می گردد. در صورتی که X یک متغیر تصادفی گسسته باشد که مقادیر x_1, x_2, \dots, x_n را با احتمالات p_1, p_2, \dots, p_n اخذ کند در این صورت ارزش در معرض ریسک شرطی در سطح اطمینان α به صورت زیر محاسبه می شود.

با توجه به متناهی بودن فضای احتمال Ω از رابطه (۱۳) برای محاسبه بخش ریسک یعنی ارزش در معرض خطر شرطی استفاده می شود. بدین صورت این بخش نیز به صورت خطی وارد مدل می شود، زیرا هم تابع هدف و هم محدودیت های (۱۳) خطی هستند و متغیرها نیز به شکل حقیقی مثبت هستند. با در نظر گرفتن روابط (۱۲) و (۱۳) در مجموع تابع هدف (۲) به فرم خطی تبدیل گردید که به کمک برنامه ریزی خطی حل می گردد.

۳- نتایج و بحث

در مثال عددی که در این بخش بررسی می شود، ساختار زنجیره تأمین از سه تأمین کننده، سه تولیدکننده، چهار توزیع کننده و شش خرده فروش تشکیل شده است و بعلاوه، فرض می شود که تنها یک کالا تولید می شود و یک ماده اولیه نیز مورد نیاز می باشد. پارامترهای ثابت و غیر تصادفی مورد استفاده در مدل پژوهش در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول (۷). پارامترهای توزیع یکنواخت تقاضا در خرده فروشی ها

خرده فروشی	توزیع تقاضا	خرده فروشی	توزیع تقاضا
۱	$U(195, 225)$	۴	$U(245, 260)$
۲	$U(200, 235)$	۵	$U(195, 230)$
۳	$U(90, 120)$	۶	$U(185, 215)$

جدول (۸). هزینه حمل و نقل در سه سناریو بین تأمین کنندگان و تولیدکنندگان

$S \setminus i$	۱	۲	۳
۱	۱/۶, ۱/۵, ۱/۲	۲/۴, ۲/۶, ۲/۸	۴/۴, ۵/۵, ۴/۸
۲	۱/۱, ۱/۳, ۱/۵	۱/۲, ۱/۵, ۱/۶	۳/۱, ۳/۳, ۳/۸
۳	۳, ۳/۵, ۴	۱/۲, ۱/۳, ۱/۴	۱/۲, ۱/۴, ۱/۵

به کمک محاسبات در منطق بولی می توان نشان داد که

$$z = B_s(\omega) lev_s + 1 - B_s(\omega) \quad (11)$$

مجموعه پارامترهای تصادفی معرفی شده، ضمن یک فضای سناریوی Ω تجمیع می گردد؛ بنابراین، یک سناریوی نوعی $\omega \in \Omega$ متشکل از تقاضای رسیده به خرده فروشان، هزینه های حمل و نقل و وجود یا عدم اختلال برای مراکز توزیع و تأمین کنندگان می باشد. فضای احتمال کلی با توجه به فرض استقلال پیشامدها، بر اساس حاصل ضرب دکارتی فضاهای احتمال مرتبط با تقاضا، هزینه حمل و نقل و اختلال تعریف می شود. از آنجا که توزیع تقاضا، هزینه های حمل و نقل و اختلال در حالت کلی می توانند پیوسته باشد، برای محاسبه امید ریاضی و ارزش در معرض خطر شرطی در تابع هدف، از شبیه سازی مونت کارلو^۱ استفاده می شود که در آن از توزیع های پیوسته و گسسته نمونه گیری می شود. تجمیع سناریوها به سرعت مسئله را با پیچیدگی محاسباتی بالا مواجه می کند. خوشبختانه صورت خطی مدل اجازه می دهد تا به کمک نرم افزارهای موجود «خصوصاً در فرم تجاری» بهینه سازی در ابعاد بالا نیز صورت گیرد.

براین اساس فرض می شود که فضای احتمال Ω متناهی است و امید ریاضی بر اساس میانگین نمونه مطابق رابطه (۱۲) تقریب زده می شود.

$$E(Q(e, c, \omega)) = \sum_{\omega \in \Omega} p(\omega) Q(e, c, \omega) \quad (12)$$

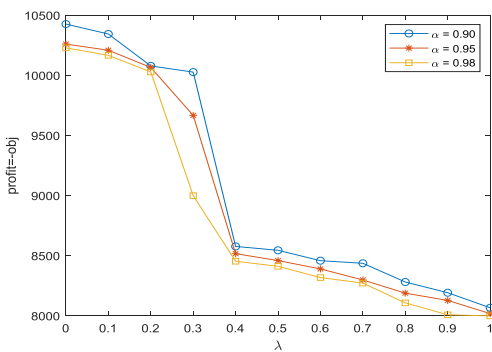
از دیگر پارامترهای تصادفی مدل، هزینه های حمل و نقل به ازای یک کیلو از محموله بین سطوح مختلف زنجیره تأمین می باشد. برای هزینه حمل و نقل سه سناریو در نظر گرفته شده است که در جدول های (۸) تا (۱۰) ارائه شده است. در هر خانه جدول به ترتیب سه عدد ذکر شده که مقادیر هزینه حمل و نقل متناظر با سه سناریو می باشد. احتمال رخداد سناریوی اول برابر $0/60$ و دو سناریوی دیگر هر کدام $0/20$ در نظر گرفته شده است.

¹ Monte Carlo

جدول (۱۲). مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم و مقدار بهینه تابع هدف

مقدار بهینه	متغیر
(۰,۱,۱)	(e_1^*, e_2^*, e_3^*)
(۱,۱,۱,۱)	$(c_1^*, c_2^*, c_3^*, c_4^*)$
(۰,۰,۱)	$(level_1^*, level_2^*, level_3^*)$
(۰,۰,۰,۴۵۰)	$(x_{1,1,1}^{(1)*}, x_{1,1,2}^{(1)*}, x_{1,1,3}^{(1)*})$
(۰,۲۵۰,۲۵۰)	$(x_{1,2,1}^{(1)*}, x_{1,2,2}^{(1)*}, x_{1,2,3}^{(1)*})$
(۰,۲۰۰,۰)	$(x_{1,3,1}^{(1)*}, x_{1,3,2}^{(1)*}, x_{1,3,3}^{(1)*})$
(۰,۰,۰,۰)	$(x_{1,1,1}^{(2)*}, x_{1,1,2}^{(2)*}, x_{1,1,3}^{(2)*}, x_{1,1,4}^{(2)*})$
(۹۰,۳۶۰,۰,۰)	$(x_{1,2,1}^{(2)*}, x_{1,2,2}^{(2)*}, x_{1,2,3}^{(2)*}, x_{1,2,4}^{(2)*})$
(۲۱۰,۰,۲۸۰,۲۱۰)	$(x_{1,3,1}^{(2)*}, x_{1,3,2}^{(2)*}, x_{1,3,3}^{(2)*}, x_{1,3,4}^{(2)*})$
(۱۵۰,۰,۱۵۰,۰,۰,۰)	$(x_{1,1,1}^{(3)*}, x_{1,1,2}^{(3)*}, x_{1,1,3}^{(3)*}, x_{1,1,4}^{(3)*}, x_{1,1,5}^{(3)*}, x_{1,1,6}^{(3)*})$
(۰,۲۰۰,۰,۱۶۰۰,۰)	$(x_{1,2,1}^{(3)*}, x_{1,2,2}^{(3)*}, x_{1,2,3}^{(3)*}, x_{1,2,4}^{(3)*}, x_{1,2,5}^{(3)*}, x_{1,2,6}^{(3)*})$
(۴۰,۰,۰,۶۰,۱۸۰,۰)	$(x_{1,3,1}^{(3)*}, x_{1,3,2}^{(3)*}, x_{1,3,3}^{(3)*}, x_{1,3,4}^{(3)*}, x_{1,3,5}^{(3)*}, x_{1,3,6}^{(3)*})$
(۰,۰,۰,۰,۰,۲۱۰)	$(x_{1,4,1}^{(3)*}, x_{1,4,2}^{(3)*}, x_{1,4,3}^{(3)*}, x_{1,4,4}^{(3)*}, x_{1,4,5}^{(3)*}, x_{1,4,6}^{(3)*})$
-۸۵۴۶/۶	Z^*

بر اساس جدول (۱۱)، تولیدکنندگان دوم و سوم و هر چهار توزیع کننده بازگشایی می‌شوند و تنها تأمین کننده سوم مورد تجهیز واقع می‌شوند. مقدار بهینه تابع هدف نیز برابر ۶/۸۵۴۶- می‌باشد که علامت منفی نشان دهنده سود می‌باشد. در ادامه، مدل پژوهش برای سه سطح اطمینان ۰/۹۸، ۰/۹۵، ۰/۹۰ و $a = 0/۹۰$ و یازده سطح ضریب ریسک گریزی مطابق نمودار (۲) بهینه گردید. از آنجاکه مقادیر تابع هدف برای مقادیر مذکور منفی می‌باشد، در نمودار (۲)، قرینه مقدار بهینه تابع هدف به عنوان سود مورد استفاده قرار گرفته است.



نمودار (۲). حساسیت تابع هدف به سطوح اطمینان و ضریب ریسک گریزی

جدول (۹). هزینه حمل و نقل در سه سناریو بین تولیدکنندگان و

توزیع کنندگان

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۵,۵/۸,۶	۴,۴/۸,۵	۲,۳,۳/۵	۱/۲,۱/۴,۱/۶
۲	۳/۱,۳/۳,۳/۶	۱/۱,۱/۴,۱/۶	۴,۴/۵,۴/۸	۳,۳/۵,۳/۸
۳	۱,۱/۲,۱/۴	۱/۲,۱/۴,۱/۶	۱/۱,۱/۳,۱/۵	۲/۲,۲/۴,۲/۶

جدول (۱۰). هزینه حمل و نقل در سه سناریو بین توزیع کنندگان و

خرده‌فروشان

$j \backslash k$	۱	۲	۳	۴
۱	۱,۱/۲,۱/۴	۱,۱/۲,۱/۴	۳,۳/۸,۴	۳,۳/۶,۳/۸
۲	۲,۲/۵,۲/۸	۴,۴/۸,۵	۱/۲,۱/۴,۱/۶	۲/۲,۲/۴,۲/۶
۳	۳,۳/۶,۳/۸	۱/۲,۱/۵,۱/۸	۳,۳/۸,۴	۲,۲/۵,۲/۸
۴	۴,۴/۸,۵	۴,۴/۸,۵	۱,۱/۶,۱/۸	۱,۱/۲,۱/۴
۵	۲,۲/۸,۳	۲,۲/۵,۲/۸	۱/۲,۱/۵,۱/۸	۱/۴,۱/۶,۱/۸
۶	۲,۲/۵,۲/۸	۱/۲,۱/۴,۱/۶	۴,۴/۸,۵	۲/۵,۲/۸,۳

امکان اختلال در مراکز توزیع نیز از جمله پارامترهای تصادفی می‌باشد که دارای توزیع دوجمله‌ای مطابق جدول (۱۱) می‌باشد.

جدول (۱۱). توزیع اختلال در تأمین کنندگان

احتمال اختلال	مرکز
۰/۱۰	۱
۰/۰۵	۲
۰/۱۵	۳

با در نظر گرفتن مجموعه سناریوها و پارامترهای ذکر شده برای مدل زنجیره تأمین، نسبت به بهینه‌سازی آن با ضریب ریسک $\lambda = 0.50$ و سطح اطمینان $\alpha = 0.90$ اقدام گردید. ۱۰۰۰ سناریو برای تقاضا و ۱۰۰ سناریو برای اختلال در نظر گرفته شد که با توجه به سه سناریو برای هزینه‌های حمل و نقل، فضای احتمال دارای ۳۰۰۰۰۰ سناریو می‌باشد. برای پیاده‌سازی مدل خطی پژوهش از بسته نرم‌افزاری پایومو^۱ استفاده گردید این بسته نرم‌افزاری که بر اساس زبان برنامه‌نویسی پایتون نوشته شده امکان یک مدل‌سازی بر پایه کلاس و به صورت منعطف را فراهم می‌کند. نتیجه حاصل از بهینه‌سازی در جدول (۱۲) ارائه شده است.

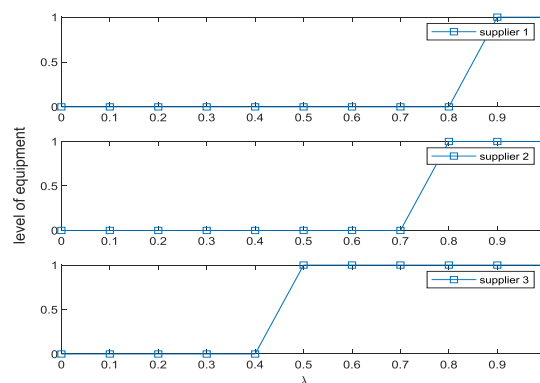
^۱ Pyomo

شرکت‌های رقیب، حوادث طبیعی و... ایجاب می‌کند که پارامترهای مدل مقادیری وابسته به سناریو باشند و همچنین امکان اختلال در عملکرد نهاده‌های مدل زنجیره تأمین در نظر گرفته شود. استفاده از معیارهایی چون امید ریاضی برای تجمیع نتایج سناریوهای مختلف، مسئله را با ریسک استواری نتایج مواجه می‌کند؛ زیرا این امکان وجود دارد که نتایج عملی از مقادیر مورد انتظار در مرحله طراحی مدل فاصله بگیرد. برای رفع این مشکل، ارزش در معرض ریسک شرطی به‌عنوان یک سنجه اندازه‌گیری ریسک، در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت. براین اساس پژوهش حاضر مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک با امکان اختلال در تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان را معرفی کرد که می‌توان با تجهیز تأمین‌کنندگان از بروز اختلال در آنها جلوگیری کرد. کاربرد اصلی مدل در مسئله مکان‌یابی مراکز تولید و توزیع با امکان اختلال می‌باشد و لحاظ فاکتور ریسک بر اساس ارزش در معرض ریسک شرطی باعث می‌شود تا جواب بهینه مدل از استواری برخوردار باشد. نتایج مثال عددی نشان می‌دهد که با افزایش ضریب ریسک گریزی، تابع هدف در کلیه سطوح اطمینان نزولی می‌باشد و برای یک ضریب ریسک گریزی مشخص نیز با افزایش سطح اطمینان، مقدار تابع هدف نزولی می‌باشد. همچنین با افزایش ضریب ریسک گریزی تعداد تمام تأمین‌کنندگان مورد تجهیز افزایش می‌یابند و با افزایش میزان احتمال اختلال تأمین‌کنندگان، مدل بهینه، تصمیم بر تجهیز تمام تأمین‌کنندگان می‌گیرد. با توجه به ریسک‌های سیاسی، اقتصادی کشور و تغییرات قیمتی مداوم و تحولات پویای محیط کسب‌وکار مانند امکان اختلال، استفاده از مدل پژوهش به‌منظور طراحی زنجیره تأمین پیشنهاد می‌شود. عامل مهمی که در مدل‌سازی باید مورد توجه قرار گیرد، کیفیت استخراج سناریوها و مقادیر احتمال می‌باشد که در نهایت کیفیت نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۵- مراجع

- [۱] آقا احمدی، فرزانه و ماهوتچی، مسعود. (۱۳۹۲). طراحی زنجیره تأمین بر اساس برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، اصفهان.
- [۲] بهزادی، مونا و سیف برقی، مهدی. (۱۳۹۷). رویکردهای بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ای و استوار در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت. مدیریت تولید و عملیات، ۹(۹): ۷۷-۹۰.
- [۳] جعفری اسکندری، میثم و امامی سلوط، هانی. (۱۳۹۹). مدل بهینه‌سازی چند هدف جهت ارزیابی ریسک در زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار تحت شرایط عدم قطعیت در پارامترها: استفاده از رویکرد ارزش در معرض ریسک شرطی، مطالعات مدیریت صنعتی. ۱۲-۳۲.

همان‌طور که نمودار (۲) نشان می‌دهد با افزایش ضریب ریسک گریزی، تابع هدف در کلیه سطوح اطمینان نزولی می‌باشد و برای یک ضریب ریسک گریزی مشخص نیز با افزایش سطح اطمینان، مقدار تابع هدف نزولی می‌باشد. همچنین تجهیز یا عدم تجهیز تأمین‌کنندگان در جواب بهینه برحسب ضریب ریسک گریزی در نمودار (۳) ارائه شده است.



نمودار (۳). تجهیز یا عدم تجهیز تأمین‌کنندگان در جواب بهینه برحسب ضریب ریسک گریزی

بر اساس نمودار (۳)، با افزایش ضریب ریسک گریزی در نهایت تمام تأمین‌کنندگان مورد تجهیز واقع می‌شوند. همچنین وضعیت تجهیز تأمین‌کنندگان برحسب افزایش احتمال اختلال تأمین‌کنندگان در جدول (۱۳) ارائه شده است

جدول (۱۳). وضعیت تجهیز تأمین‌کنندگان برحسب افزایش احتمال اختلال تأمین‌کنندگان

میزان افزایش در احتمال اختلال در تمامی واحدها	سطح تجهیز		
	تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۳
۰/۰۵	۰	۰	۱
۰/۱۰	۰	۰	۱
۰/۱۵	۰	۰	۱
۰/۲۰	۰	۱	۱
۲۵ درصد و بیشتر	۱	۱	۱

براین اساس جدول (۱۳)، با افزایش میزان احتمال اختلال تأمین‌کنندگان، مدل بهینه، تصمیم بر تجهیز تمام تأمین‌کنندگان می‌گیرد به صورتی که با افزایش تمامی احتمالات به‌اندازه ۰/۲۵، تمامی مراکز باید تجهیز گردد.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

غالباً در مدل‌سازی متداول زنجیره تأمین، پارامترهای مدل مانند تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل ثابت در نظر گرفته می‌شود. این در حالی است که پویایی شرایط اقتصادی، سیاسی، قانون‌گذاری، تجارت، کسب‌وکار، ظهور فن‌آوری‌های جدید، سیاست‌های

- [14] H. Barzegar, H. A. Hasanpour, and Y. Ali, "Structural interpretive modeling of operational apparel supply chain disruptions of a defense organization," *Scientific Journal of Supply Chain Management*, vol. 23, pp 53-61, 2022. (In Persian)
- [15] J. Sun, L. Liao, and B. Rodrigues, "Quadratic two-stage stochastic optimization with coherent measures of risk," *Mathematical Programming*, vol. 168, pp. 559-613. 2018.
- [16] K. Kungwalsong, C.Y. Cheng and C. Yuangyai, "Two-Stage Stochastic Program for Supply Chain Network Design under Facility Disruptions," *Sustainability*, vol. 13, no. 5, pp. 1-19, 2021. (In Persian)
- [17] M. Behzadi, and M. Saif Barghi, "Two-stage and robust stochastic optimization approaches in closed-loop supply chain network under uncertainty," *Production and Operations Management*, vol. 2, no. 9, pp. 77-90, 2017.
- [18] M. Jafari Eskandari, and H. Emamislut, "Multi-objective optimization model for risk assessment in a sustainable closed loop supply chain under conditions of uncertainty in parameters: using the value-at-risk approach," *Industrial management studies*, vol. 12, pp. 12-32, 2019. (In Persian)
- [19] M. K. Oksuz, and S. I. Satoglu, "A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 44, pp. 120-135, 2020.
- [20] M. Toulabi, A.M. Majid and H. Jamshidi Kakhki, "Application of stochastic planning method in supply chain planning assuming uncertainty in demand," *International conference of applied research in management, industrial engineering, economics and accounting with business development approach*, Tehran, 2014.
- [21] N. Noyan, "Risk-averse two-stage stochastic programming with an application to disaster management," *Computers and Operations Research*, vol. 39, pp. 541-555, 2021.
- [22] S. Mirhasani, and A. Khaleghi, "Location of charging stations for electric vehicles," *The third international conference of industrial engineering and management*, Tehran.
- [23] Y. Deng, W. Zhu, J. Tang and J. Qin, "Solving a Two-Stage Stochastic Capacitated Location-Allocation Problem with an Improved PSO in Emergency Logistics," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 12, pp. 1-15, 2019. (In Persian)
- [24] Z. Liu, S. Qu, H. Raza and Z. Wu, "Two-stage mean-risk stochastic mixed integer optimization model for location-allocation problems under uncertain environment," *Journal of Industrial & Management Optimization*, vol. 17, 2016. (In Persian)
- [۴] حسنی، علی‌اکبر. (۱۳۹۶). برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای مبتنی بر روش تقریب میانگین نمونه و الگوریتم تجزیه بندرز شتاب‌یافته برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت. مدل‌سازی در مهندسی، ۱۵(۴۹). ۲۱۷-۲۳۴.
- [۵] رضایی، احمد و دهقانیان، فرزاد. (۱۳۹۲). ارائه یک مدل تصادفی دومرحله‌ای برای طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز با در نظر گرفتن تجارت مجوزهای نشر آلودگی. دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران.
- [۶] طولایی، مجید؛ جمشیدی کاخکی، امیرحسین و هراتی، محمدحسین. (۱۳۹۴). به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی تصادفی در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین با فرض عدم قطعیت در تقاضا، کنفرانس بین‌المللی تحقیقات کاربردی در مدیریت، مهندسی صنایع، اقتصاد و حسابداری با رویکرد توسعه کسب‌وکار، تهران.
- [۷] میرحسینی، شیدعلی و خالقی، آذین. (۱۳۹۴). مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ برای وسایل نقلیه‌ی الکتریکی، سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و مهندسی صنایع، تهران.
- [8] A. Azaron, U. Venkatadri and A. Farhang Doost, "Designing profitable and responsive supply chains under uncertainty," *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 1, pp.213-225. 2021. (In Persian)
- [9] A. Hasani, "Two-stage stochastic programming based on sample mean approximation method and accelerated Bander's analysis algorithm for designing closed loop supply chain network under uncertainty," *Modeling in Engineering*, vol. 15, pp. 217-234. 2016.
- [10] A. Rezaei, and F. Dehghanian, "Presenting a two-stage stochastic model for green supply chain network design considering pollution emissions trading," *10th International Industrial Engineering Conference*, Tehran, 2012.
- [11] A. Trusevych, R. H. Kwon and A. Jardine, "Optimizing critical spare parts and location based on the conditional value-at-risk criterion," *The Engineering Economist*, vol. 59, pp. 116-135. 2014.
- [12] F. Agha Ahmadi and M. Mahotchi, "Supply chain design based on multi-stage stochastic planning," *The second national industrial and systems engineering conference*, Isfahan, 2012.
- [13] F. Moosavi, A. Fathollahi-Fard and M.A. Dulebenets, "Supply chain disruption during the COVID-19 pandemic: Recognizing potential disruption management strategies," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 102983, 2022.