نشریه علمی «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و چهارم، شماره ۷۶، پاییز ۱۴۰۱؛ ص ۱۱۷- ۱۰۷

علمی ـ ترویجی

طراحی زنجیره تأمین بر اساس برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای میانگین– ارزش در معرض خطر شرطی با امکان تجهیز تأمین‌کنندگان در شرایط اختلال

الهام غلامیان[۱]، سید محمد رضا داودی[۲*]، محمدرضا شریفی قزوینی[۳]

۱- دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی گرایش مالی، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران، ۲- استادیار گروه مدیریت، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران، ۳- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸)

چکیده

تخصیص مکان در طراحی یک زنجیره تأمین به دلیل هزینه‌بری بالا، عدم امکان تغییر و دامنه تأثیر آن بر سایر تصمیم‌ها و فعالیت‌ها، یک تصمیم سطح استراتژیک می‌باشد و انتخاب تأمین‌کنندگان 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 ساخته‌شده یک زنجیره تأمین چندمحصولی-چندسطحی مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این مدل، توزیع‌کنندگان و تأمین‌کنندگان با امکان اختلال مواجه هستند و برای جلوگیری از اختلال در تأمین‌کنندگان 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 تأمین‌کنندگان 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 طراحی‌شده در نهایت به کمک شبیه‌سازی مونت‌کارلو 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

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، کاراتر و اثربخش‌تر 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 تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان باهدف تولید و توزیع یک کالا در شرایط مناسب می‌باشد؛ به‌طوری‌که به‌طور هم‌زمان هزینه‌های کل زنجیره تأمین به حداقل برسد و سطح خدمات افزایش یابد [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]. ازاین‌رو 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[۲]، استواری[۳] و چابکی[۴] برخوردار گردد. در این میان مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره تأمین یک تصمیم استراتژیک می‌باشد؛ زیرا مستلزم صرف هزینه زیاد است، اصلاح یا تغییر آن

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

[1] Supply chain

[2] Resilence
[3] Robustness
[4] Agility

هزینه‌بر و مشکل است و تمامی عملکردهای بعدی زنجیره تـأمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در پژوهش حاضر مسئله طراحی زنجیره تأمین چندسـطحی چندمحصولی در یک بستر تصـادفی بـر اسـاس رویکـرد ترکیبـی میانگین- ریسک موردمطالعه قرار مـی‌گیـرد کـه معیـار سـنجش ریسک، ارزش در معرض ریسک شرطی می‌باشد. تخصیص مکـان مراکز تولید و توزیع و تجهیز تأمین‌کنندگان در جهـت مقابلـه بـا احتمال اختلال و استراتژی بهینه تأمین مواد اولیه، تولیـد کـالا و توزیع آن متغیرهـای تصـمیم موردمطالعـه مـی‌باشـد و تقاضـای مشتریان، هزینه‌های حمل‌ونقل و امکان اختلال در مراکـز توزیـع منبع‌های تصادفی در مدل پژوهش می‌باشند.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین شبکه‌ای از فرآیندها باهدف نهایی تـأمین کالاهـا و خدمات موردنیاز مشتریان است و دربرگیرنده‌ی تـأمین‌کننـدگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، عمـده‌فروشـان، خـرده‌فروشـان و لجستیک معکوس است که باهم به‌طـور هماهنـگ و منسـجم در جهت راضی کردن مشتریان همکاری مـی‌کننـد. هـدف مـدیریت زنجیره تأمین فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل عملیات مرتبط با زنجیـره تـأمین در بهینـه‌تـرین حالـت ممکـن اسـت (رضـایی و دهقانیان،۱۳۹۲). تصمیمات مختلف در طراحی و مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان در قالب سه سطح تقسیم‌بندی کرد [۱۶]:

۱- سـطح اسـتراتژیک: در ایـن سـطح تصـمیماتی بـا اثـرات بلندمدت اتخاذ می‌شود. به‌طورکلی، برنامـه‌ریـزی اسـتراتژیک در ارتباط با مکان تأسیسات، استقرار زیرساخت، تخصیص ظرفیـت و پارامترهای دیگر که برای چند سال دوام می‌آورد.

۲- سطح تاکتیکی: این سطح شامل برنامه‌ریزی میان‌مدت در زنجیره تأمین شامل عملیات و فعالیـت‌هـای بـا اثـر در محـدوده یک‌ساله مانند سیاست‌های مدیریت کنترل موجودی می‌باشد.

۳- سطح عملیاتی: این سطح شـامل تصـمیمات کوتـاه‌مـدت است که روزانه یا هفتگی متفاوت اسـت و در طـول زمـان تحـت تأثیر تصادفی بودن قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، انجام سفارش‌ها، برنامه‌های مسیریابی و... .

در سـال‌هـای اخیـر، یـک حرکـت قـوی بـه سـمت ادغـام تصمیم‌های استراتژیک و تـاکتیکی از طریـق توسـعه مـدل‌هـای تخصـیص مکـان صـورت گرفتـه اسـت. ادغـام سـطوح مختلـف تصمیمات در زنجیره تأمین به کاهش هزینـه‌هـای کلـی و بهبـود عملکرد آن کمک می‌کند [۱۷]. مسئله تخصـیص مکـان یکـی از مسائل کلاسیک در تحقیق در عملیات است و کاربرد عمـومی آن در تولیـد، تـدارکات، درمـان و حتـی امـور نظـامی ماننـد محـل کارخانه‌هـا، انبارهـا، مراکـز توزیـع، ایسـتگاه‌هـای آتـش‌نشـانی و انبارهای موشکی است. اهمیت تخصیص مکان در ایـن اسـت کـه پس از تعیین حالت توزیع، دیگـر امکـان تغییـر در آن بـه‌راحتـی امکان‌پذیر نمی‌باشد و ایـن بـه‌طـور مسـتقیم بـر مـواردی ماننـد کیفیت، کارایی و هزینه خدمات، سـود و رقابـت در بـازار و حتـی تعیین بقای شرکت‌ها تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، مطالعه مکان‌یـابی از اهمیت اقتصادی و اجتماعی بالایی برخوردار است. در پـژوهش حاضر مکان‌یابی بهینه تولیدکنندگان و توزیـع‌کننـدگان البتـه در یک محیط با شرایط عدم اطمینـان و ریسـکی موردبررسـی قـرار خواهد گرفت.

همه فرآیندها و تصمیمات در محیط کسـب‌وکـار در معـرض عدم اطمینان قرار دارند. تخمین‌های غلط و قضاوت‌هـای اشـتباه ناشی از عدم اطمینان است. باید عدم اطمینان را همواره کنترل و مدیریت کرد زیرا اگـر دیـر آشـکار شـود، تـأثیرات بسـیار جـدی خواهند داشت. ریسک در نتیجـه عـدم آگـاهی دقیـق از اتفاقـات آینده روی می‌دهد. تصـمیمات مختلـف در فرآینـدهای مـدیریت ریسک می‌تواند شامل اجتناب از ریسک، پذیرش ریسک، انتقال و کـاهش ریسـک باشـد. طـی دو دهـه اخیـر، پیچیـدگی محـیط کسب‌وکار، پویـایی، عـدم اطمینـان و نوسـانات محیطـی بـالاتر، پیچیـدگی فنّاوری‌های پیـشرفته، کوتـاه و کوتـاه‌تـر شـدن چرخـه عمـر محصـولات، نیازمنـدی‌هـای متمـایز مشـتریان و گسترش میل بـه تنـوع خـواهی و تقاضـا بـرای محصولات متنوع در بازار جهانی بعلاوه مفـاهیمی همچـون جهـانی‌شـدن و رقابـت فزاینده باعث تغییرات بسیاری در معادلات حاکم بر زنجیره تأمین صـنایع شـده اسـت. در چنین شرایطی کسـب‌وکارهـا باید برای مواجهـه با جریان پیوسـته‌ای از چـالش‌هـا از قبیـل بحران‌هـای اقتصادی، تحریم‌ها، نوسانات نرخ ارز و قیمت‌ها، محـدودیت‌هـای سیستم تولیدی و یا بلایای طبیعی خود را آماده نمایند [۸]. بـا توجه به موارد بیان‌شده برای طراحی یک زنجیره تأمین نیاز است تا سناریوهایی برای آینده سیستم در نظر گرفته شود و تحت هـر سناریو مشخصات و روابط اجزای زنجیره تأمین موردبررسی قـرار گیـرد. هـر سـناریو متنـاظر بـا یـک مقـدار احتمـال اسـت کـه نشان‌دهنده میزان احتمال وقوع است. در نظر گرفتن سـناریوهای مختلف این امکان را بـه زنجیـره تـأمین مـی‌دهـد کـه بتوانـد در شرایط مختلف به کار خود ادامه بدهد و یا به‌اصطلاح از پایداری و کشسانی برخوردار باشد.

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. بااین‌حال، تحت شرایط خاص، مانند بلایای طبیعی، اعتصابات، جنگ، تراکم ترافیک در شهرها، هزینه‌های تأمین سوخت، امنیت راه‌ها و... شبکه مسیر برنامه‌ریزی‌شده 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[1] 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 خاطرنشان کردند که ۴۰ درصد از اختلالات گزارش‌شده 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 تجمعی 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[2]، 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، 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 قابل‌توجهی خواهد داشت. برای استواری مدل پژوهش، فاکتور ریسک نیز موردتوجه 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 درصورتی‌که 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.

[1] The Business Continuity Institute
[2] Kungwalsong et al.

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 به‌روز برای شناسایی مشارکت‌کنندگان تأثیرگذار، جریان‌های تحقیقاتی اصلی و استراتژی‌های مدیریت اختلال مرتبط با عملکرد زنجیره تأمین تحت تنظیمات کووید-۱۹ پرداختند. تجزیه‌وتحلیل‌های انجام‌شده 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.

میرحسنی و خالقی (۱۴۰۰) در پژوهشی یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای مسئله مکان‌یابی ایستگاه های 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 یک‌راه 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 شبکهٔ زنجیره تأمین حلقه بسته شامل تأمین‌کنندهٔ 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 شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن جریان‌های مستقیم و برگشتی به‌صورت 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 گرفته‌شده است. مدل ارائه‌شده با استفاده از یک روش حل کارا مبتنی بر تقریب میانگین نمونه و الگوریتم تجزیه بندرز شتاب‌یافته جدید حل‌شده است. طولایی و همکاران (۱۳۹۴) به توسعه مدل برنامه ریزی خطی با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و جریان‌های نقدی در میان‌مدت پرداختند. در این مقاله مدلی به‌منظور فرموله کردن برنامه‌ریزی تصادفی در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین که شامل خرید مواد اولیه از تأمین‌کننده، 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 به‌نحوی‌که 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 برنامه ریزی 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 به‌عنوان پارامترهای تصادفی مهم تأثیرگذار در طراحی شبکه لحاظ شده‌اند. بدین منظور ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای ارائه و حل شده است.

آزرون و همکاران[1] (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 به‌صورت متغیرهای تصادفی پیوسته توزیع‌شده‌اند و از یک روش شبیه‌سازی به نام طرح تقریب

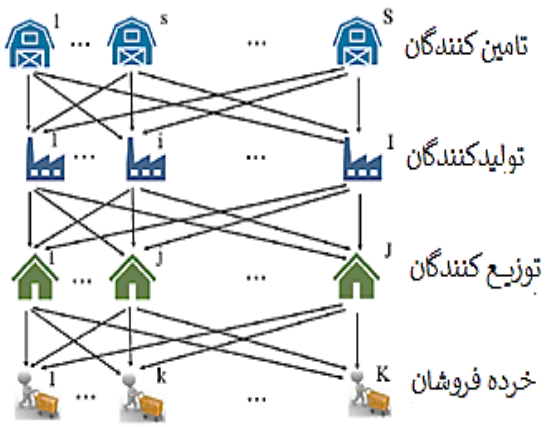
[1] Azaron et al

میانگین نمونه برای محاسبه راه‌حل‌های بهینه مدل تصادفی با تعداد بی‌نهایت سناریو استفاده می‌کنیم. کانگوالسانگ و همکاران[1] (۲۰۲۱) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین چهار مرحله ای با توجه به اختلالات احتمالی در تأسیسات پیشنهاد کردند. یک الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده اصلاح‌شده برای تعیین تصمیم استراتژیک در مرحله اول توسعه یافته است. مقایسه چارچوب تصمیم‌گیری شبکه زنجیره تأمین سنتی نشان می دهد که تحت اختلال، راه‌حل‌های تصادفی از راه‌حل سنتی بهتر عمل می‌کنند. اکسوز و ساتقلو[2] (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، یک‌راه حل مکانی مطلوب را پیدا می‌کند. دنگ و همکاران[3] (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[4] (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 ایجادشده و با توجه به پیچیدگی مدل، این مقاله یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات باینری هیبریدی اصلاح‌شده را برای حل مدل حاصل پیشنهاد می‌دهد. سان و همکاران[5] (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. تراسرویچ و همکاران[6] (۲۰۱۴) مسئله 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 ریسک گریزی توسعه داده‌شده 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[7] (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای ریسک گریز 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 تشکیل‌شده است که شمای کلی آن در نمودار (۱) نشان داده‌شده است.



نمودار (۱). ساختار زنجیره چندسطحی پژوهش

[1] Kungwalsong et al.
[2] Oksuz and satoghlu
[3] Deng et al.
[4] Liu et al.
[5] Sun
[6] Trusevych et al.
[7] Noyan

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

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

نماد (اندیس)	تعریف
s	اندیس تأمین‌کننده در مجموعه تأمین‌کنندگان S
i	اندیس تولیدکننده در مجموعه تولیدکنندگان I
j	اندیس توزیع‌کننده در مجموعه توزیع‌کنندگان 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 مورداستفاده در مدل پژوهش به همراه تعریف آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. تأمین‌کنندگان 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 تأمین‌کنندگان، دارای ماهیت تصادفی (احتمالی) و وابسته به سناریو می‌باشد و تمام سناریوها در مجموعه Ω قرار دارد.

جدول (۲). پارامترهای مورداستفاده در مدل پژوهش

پارامتر\	تعریف
f_i	هزینه ثابت عملیاتی کارخانه i.
g_j	هزینه ثابت عملیاتی مرکز توزیع j.
$equip_s$	هزینه تجهیز تأمین‌کننده s به‌منظور جلوگیری از اختلال.
a_{vs}	مقدار ماده اولیه (ظرفیت) v که تأمین‌کننده s قادر به تأمین می‌باشد.
r_{vs}	هزینه تأمین ماده اولیه v توسط تأمین‌کننده s.
n_{vl}	مقدار ماده اولیه v که برای تولید محصول l موردنیاز است.
b_{il}	مقدار کالایی که تولیدکننده i از محصول l قادر به تولید می‌باشد.
q_{il}	هزینه تولید هر واحد محصول l در تولیدکننده i.
τ_{lj}	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.
$t^{(1)}_{vsi}$	هزینه حمل‌ونقل یک واحد ماده اولیه v از تأمین‌کننده s به تولیدکننده i.
$t^{(2)}_{lij}$	هزینه حمل‌ونقل یک واحد کالای l از تولیدکننده i به مرکز توزیع j.
$t^{(3)}_{ljk}$	هزینه حمل‌ونقل یک واحد کالای l از توزیع‌کننده j مصرف‌کننده k.
d_{lk}	تقاضای مصرف‌کننده k برای کالای l.
$\xi(\omega)$	بردار تصادفی نشان‌دهنده پارامترهای تصادفی شبکه شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، تقاضا و اختلال در مراکز توزیع و تأمین‌کنندگان.
λ	ضریب ریسک گریزی.
$B_s(\omega)$	پارامتر باینری: مقدار یک را در صورتی اخذ می‌کند که تأمین‌کننده s در سناریوی ω با اختلال مواجه شود.

متغیرهای تصمیم مدل پژوهش در جدول (۳) معرفی‌شده‌اند. متغیرهای سطح یک مرتبط با تخصیص مکان تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان و تجهیز یا عدم تجهیز تأمین‌کنندگان به‌منظور 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 مورداستفاده در مدل پژوهش

متغیر تصمیم	تعریف
e_i	متغیر باینری نشان‌دهنده باز شدن کارخانه i.
c_j	متغیر باینری نشان‌دهنده باز شدن مرکز توزیع j.
lev_s	متغیر باینری نشان‌دهنده تجهیز مرکز توزیع s.
$x^{(1)}_{vsi}$	مقدار مواد اولیه v که توسط تأمین‌کننده s به کارخانه i ارسال می‌شود.
$x^{(2)}_{lij}$	مقدار کالای l که توسط کارخانه i به مرکز توزیع j فرستاد می‌شود.
$x^{(3)}_{ljk}$	مقدار کالای l که توسط مرکز توزیع j به مصرف‌کننده 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 نشان‌دهنده هزینه یا ضرر باشد. در این صورت ارزش در معرض ریسک شرطی x در سطح اطمینان α به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌گردد.

$$\mathrm{CVar}_{\alpha}(X)=\min_{\eta}\{\eta+\frac{1}{1-\alpha}E(|X-\eta|_{+})\} \qquad (۱)$$

که $|x|_{+}=\max\{x,0\}$. درک مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی مستلزم درک ارزش در معرض ریسک یا $\mathrm{Var}_{\alpha}(X)$ می‌باشد. ارزش در معرض ریسک، حداکثر هزینه یا ضرر ناشی از متغیر X را در یک سطح اطمینان مانند $\alpha=0.95$ اندازه می‌گیرد. به‌عنوان 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٪ باقی‌مانده 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.

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، تشکیل‌شده 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 درواقع تجمیع کننده هزینه‌های همه سناریوهای با در نظر گرفتن احتمال 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 مورداستفاده قرار می‌گیرد، به صورتی که $\lambda=0$ متناظر با سرمایه‌گذار کاملاً ریسک‌پذیر و $\lambda=1$ متناظر با سرمایه‌گذار ریسک گریز می‌باشد. بدین‌صورت تابع هدف مدل پژوهش عبارت است از:

$$\min_{e,c} \; z=\sum_{i\in I} f_i e_i+\sum_{j\in J} g_j c_j+\sum_{s\in S} lev_s equip_s+(1-\lambda)E(Q(e,c,\omega))+\lambda CVaR_\alpha(Q(e,c,\omega)) \qquad (۲)$$

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

$$\begin{aligned} Q(e,c,w)=&\min_{x^{(1)},x^{(2)},x^{(3)}} \sum_{v\in V}\sum_{s\in S}(r_{vs}\sum_{i\in I}x_{vsi}^{(1)})+\sum_{i\in I}\sum_{l\in L}(q_{il}\sum_{j\in J}x_{lij}^{(2)})\\ &+\sum_{v\in V}\sum_{s\in S}\sum_{i\in I}t_{vsi}^{(1)}(w)x_{vsi}^{(1)}+\sum_{l\in L}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}t_{lij}^{(2)}(w)x_{lij}^{(2)}+\sum_{l\in L}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}t_{ljk}^{(3)}(w)x_{ljk}^{(3)}\\ &+\sum_{l\in L}\sum_{j\in J}(w_{lj}(\sum_{i\in I}x_{lij}^{(2)}-\sum_{k\in K}x_{ljk}^{(3)}))-\sum_{l\in L}(h_l\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}x_{ljk}^{(3)}) \end{aligned} \qquad (۳)$$

$$\sum_{i\in I} x_{vsi}^{(1)}\le (B_s(\omega)lev_s+1-B_s(\omega))a_{vs} \quad \forall v,s \qquad (۴)$$

$$\sum_{l\in L}(n_{vl}\sum_{j\in J}x_{lij}^{(2)})\le\sum_{s\in S}x_{vsi}^{(1)} \quad \forall v,i \qquad (۵)$$

$$\sum_{j\in J} x_{lij}^{(2)}\le e_i b_{il} \quad \forall i,l \qquad (۶)$$

$$\sum_{k\in K} x_{ljk}^{(3)}\le\sum_{i\in I}x_{lij}^{(2)} \quad \forall l,j \qquad (۷)$$

$$\sum_{k\in K} x_{ljk}^{(3)}\le c\tau_{lj} \quad \forall l,j \qquad (۸)$$

$$\sum_{j\in J} x_{ljk}^{(3)}\le d_{lk}(w) \;\forall l,k \qquad (۹)$$

$$e_i,cu_j,cr_j\in\{0,1\},x_{vsi}^{(1)},x_{lij}^{(2)},x_{ljk}^{(3)}\ge 0 \quad \forall i,j,k,s,l,v \qquad (۱۰)$$

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

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.

محدودیت شماره چهار یعنی $\sum_{i\in I} x_{vsi}^{(1)}\le za_{vs}$ 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 (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

جدول (۶). پارامترهای مورداستفاده در مدل

اندیس	f_i	g_j	$equip_s$	a_{vs}	b_{il}	τ_{1j}	w_{1j}	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				

به کمک محاسبات در منطق بولی می‌توان نشان داد که

$$z = B_s(\omega) lev_s + 1 - B_s(\omega) \qquad (۱۱)$$

مجموعه پارامترهای تصادفی معرفی‌شده، ضمن یک فضای سناریوی Ω تجمیع می‌گردد؛ بنابراین، یک سناریوی نوعی $\omega \in \Omega$ متشکل از تقاضای رسیده به خرده‌فروشان، هزینه‌های حمل‌ونقل و وجود یا عدم اختلال برای مراکز توزیع و تأمین‌کنندگان می‌باشد. فضای احتمال کلی با توجه به فرض استقلال پیشامدها، بر اساس حاصل‌ضرب دکارتی فضاهای احتمال مرتبط با تقاضا، هزینه حمل‌ونقل و اختلال تعریف می‌شود. ازآنجاکه توزیع تقاضا، هزینه‌های حمل‌ونقل و اختلال در حالت کلی می‌توانند پیوسته باشد، برای محاسبه امید ریاضی و ارزش در معرض خطر شرطی در تابع هدف، از شبیه‌سازی مونت‌کارلو[1] استفاده می‌شود که در آن از توزیع‌های پیوسته و گسسته نمونه‌گیری می‌شود. تجمیع سناریوها به‌سرعت مسئله را با پیچیدگی محاسباتی بالا مواجه می‌کند. خوشبختانه صورت خطی مدل اجازه می‌دهد تا به کمک نرم‌افزارهای موجود «خصوصاً در فرم تجاری» بهینه‌سازی در ابعاد بالا نیز صورت گیرد.

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

$$E(Q(e,c,\omega)) = \sum_{\omega \in \Omega} p(\omega) Q(e,c,\omega) \qquad (۱۲)$$

$$\min_{\eta} \{\eta + \frac{1}{1-\alpha} \sum_{j \in [n]} p_j w_j : w_j \geq x_j - \eta \quad \forall j \in [n], w \in R_+^n, \eta \in R\} \qquad (۱۳)$$

که $p(\omega)$ احتمال رخداد سناریوی ω می‌باشد. بدین‌صورت امید ریاضی به فرم خطی (جهت استفاده در برنامه‌ریزی خطی) تبدیل می‌گردد. درصورتی‌که X یک متغیر تصادفی گسسته باشد که مقادیر $x_1, x_2, ..., x_n$ را با احتمالات $p_1, p_2, ..., p_n$ اخذ کند در این صورت ارزش در معرض ریسک شرطی در سطح اطمینان α به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

با توجه به متناهی بودن فضای احتمال Ω از رابطه (۱۳) برای محاسبه بخش ریسک یعنی ارزش در معرض خطر شرطی استفاده می‌شود. بدین‌صورت این بخش نیز به‌صورت خطی وارد مدل می‌شود، زیرا هم تابع هدف و هم محدودیت‌های (۱۳) خطی هستند و متغیرها نیز به شکل حقیقی مثبت هستند. با در نظر گرفتن روابط (۱۲) و (۱۳) درمجموع تابع هدف (۲) به فرم خطی تبدیل گردید که به کمک برنامه‌ریزی خطی حل می‌گردد.

۳- نتایج و بحث

در مثال عددی که در این بخش بررسی می‌شود، ساختار زنجیره تأمین از سه تأمین‌کننده، سه تولیدکننده، چهار توزیع‌کننده و شش خرده‌فروش تشکیل‌شده است و بعلاوه، فرض می‌شود که تنها یک کالا تولید می‌شود و یک ماده اولیه نیز موردنیاز می‌باشد. پارامترهای ثابت و غیر تصادفی مورداستفاده در مدل پژوهش در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول (۷). پارامترهای توزیع یکنواخت تقاضا در خرده‌فروشی‌ها

خرده‌فروشی	توزیع تقاضا	خرده‌فروشی	توزیع تقاضا
۱	U(۱۹۵,۲۲۵)	۴	U(۲۴۵,۲۶۰)
۲	U(۲۰۰,۲۳۵)	۵	U(۱۹۵,۲۳۰)
۳	U(۹۰,۱۲۰)	۶	U(۱۸۵,۲۱۵)

از دیگر پارامترهای تصادفی مدل، هزینه‌های حمل‌ونقل به ازای یک کیلو از محموله بین سطوح مختلف زنجیره تأمین می‌باشد. برای هزینه حمل‌ونقل سه سناریو در نظر گرفته‌شده است که در جدول‌های (۸) تا (۱۰) ارائه‌شده است. در هر خانه جدول به ترتیب سه عدد ذکرشده که مقادیر هزینه حمل‌ونقل متناظر با سه سناریو می‌باشد. احتمال رخداد سناریوی اول برابر ۰/۶۰ و دو سناریوی دیگر هرکدام ۰۰/۲۰ در نظر گرفته‌شده است.

جدول (۸). هزینه حمل‌ونقل در سه سناریو بین تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان

s \ i	۱	۲	۳
	۱/۶,۱/۵,۱/۲	۲/۴,۲/۶,۲/۸	۴,۴/۵,۴/۸
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

[1] Monte Carlo

جدول (۹). هزینه حمل‌ونقل در سه سناریو بین تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان

i \ 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 حمل‌ونقل در سه سناریو بین توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان

k \ j	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 تأمین‌کنندگان

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

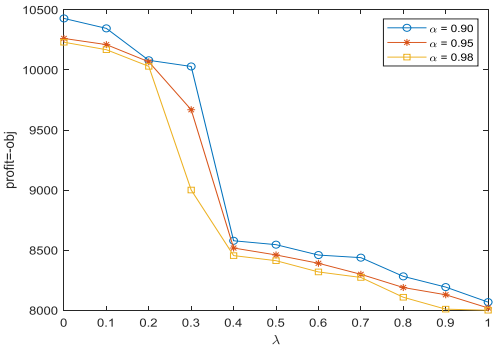
با در نظر گرفتن مجموعه سناریوها و پارامترهای ذکرشده برای مدل زنجیره تأمین، نسبت به بهینه‌سازی آن با ضریب ریسک $\lambda = 0.50$ و سطح اطمینان $\alpha = 0.90$ اقدام گردید. ۱۰۰۰ سناریو برای تقاضا و ۱۰۰ سناریو برای اختلال در نظر گرفته شد که با توجه به سه سناریو برای هزینه‌های حمل‌ونقل، فضای احتمال دارای ۳۰۰۰۰۰ سناریو می‌باشد. برای پیاده‌سازی مدل خطی پژوهش از بسته نرم‌افزاری پایومو[1] استفاده گردید این بسته نرم‌افزاری که بر اساس زبان برنامه‌نویسی پایتون نوشته شده امکان یک مدل‌سازی بر پایه کلاس و به‌صورت منعطف را فراهم می‌کند. نتیجه حاصل از بهینه‌سازی در جدول (۱۲) ارائه‌شده است.

[1] Pyomo

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

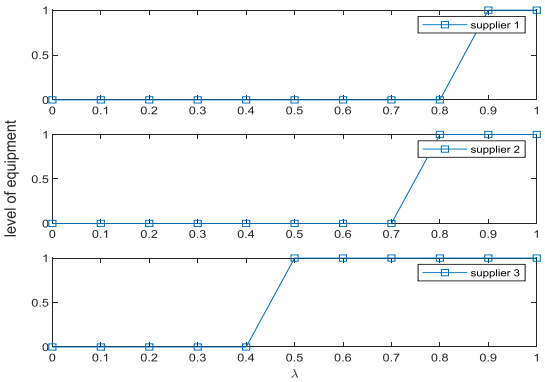
متغیر	مقدار بهینه
(e_1^*, e_2^*, e_3^*)	(۰،۱،۱)
$(c_1^*, c_2^*, c_3^*, c_4^*)$	(۱،۱،۱،۱)
$(level_1^*, level_2^*, level_3^*)$	(۰،۰،۱)
$(x_{1,1,1}^{(1)*}, x_{1,1,2}^{(1)*}, x_{1,1,3}^{(1)*})$	(۰،۰،۴۵۰)
$(x_{1,2,1}^{(1)*}, x_{1,2,2}^{(1)*}, x_{1,2,3}^{(1)*})$	(۰،۲۵۰.۲۵۰)
$(x_{1,3,1}^{(1)*}, x_{1,3,2}^{(1)*}, x_{1,3,3}^{(1)*})$	(۰،۲۰۰،۰)
$(x_{1,1,1}^{(2)*}, x_{1,1,2}^{(2)*}, x_{1,1,3}^{(2)*}, x_{1,1,4}^{(2)*})$	(۰،۰،۰،۰)
$(x_{1,2,1}^{(2)*}, x_{1,2,2}^{(2)*}, x_{1,2,3}^{(2)*}, x_{1,2,4}^{(2)*})$	(۹۰،۳۶۰،۰،۰)
$(x_{1,3,1}^{(2)*}, x_{1,3,2}^{(2)*}, x_{1,3,3}^{(2)*}, x_{1,3,4}^{(2)*})$	(۲۱۰،۰،۲۸۰،۲۱۰)
$(x_{1,1,1}^{(3)*}, x_{1,1,2}^{(3)*}, x_{1,1,3}^{(3)*}, x_{1,1,4}^{(3)*}, x_{1,1,5}^{(3)*}, x_{1,1,6}^{(3)*})$	(۱۵۰،۰،۱۵۰،۰،۰،۰)
$(x_{1,2,1}^{(3)*}, x_{1,2,2}^{(3)*}, x_{1,2,3}^{(3)*}, x_{1,2,4}^{(3)*}, x_{1,2,5}^{(3)*}, x_{1,2,6}^{(3)*})$	(۰،۲۰۰،۰،۱۶۰.۰،۰)
$(x_{1,3,1}^{(3)*}, x_{1,3,2}^{(3)*}, x_{1,3,3}^{(3)*}, x_{1,3,4}^{(3)*}, x_{1,3,5}^{(3)*}, x_{1,3,6}^{(3)*})$	(۴۰،۰،۰،۶۰،۱۸۰،۰)
$(x_{1,4,1}^{(3)*}, x_{1,4,2}^{(3)*}, x_{1,4,3}^{(3)*}, x_{1,4,4}^{(3)*}, x_{1,4,5}^{(3)*}, x_{1,4,6}^{(3)*})$	(۰،۰،۰،۰،۰،۲۱۰)
z^*	-۸۵۴۶/۶

بر اساس جدول (۱۱)، تولیدکنندگان دوم و سوم و هر چهار توزیع‌کننده بازگشایی می‌شوند و تنها تأمین‌کننده سوم مورد تجهیز واقع می‌شوند. مقدار بهینه تابع هدف نیز برابر ۶/۸۵۴۶- می‌باشد که علامت منفی نشان‌دهنده سود می‌باشد. در ادامه، مدل پژوهش برای سه سطح اطمینان ۰/۹۸، ۰/۹۵، ۰/۹۰ = a و یازده سطح ضریب ریسک گریزی مطابق نمودار (۲) بهینه گردید. ازآنجاکه مقادیر تابع هدف برای مقادیر مذکور منفی می‌باشد، در نمودار (۲)، قرینه مقدار بهینه تابع هدف به‌عنوان سود مورداستفاده قرارگرفته است.



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

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 ریسک‌گریزی 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) ارائه‌شده است

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

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

براین‌اساس 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 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 مورداستفاده قرار گرفت. براین‌اساس 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 موردتوجه 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 شبکهٔ زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت. *مدیریت تولید و عملیات*، ۲(۹).۹-۷۷.

[۳] جعفری اسکندری، میثم و امامی‌سلوط، هانی. (۱۳۹۹). مدل بهینه‌سازی چند هدفِ 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.

[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). ۲۳۴-۲۱۷.

[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] طولابی، 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] میرحسنی، 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 Persion)

[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.

[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 Persion)

[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 Persion)

[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. Emamisalut, "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 Persion)

[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 Persion)

[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 Persion)

Iranian Journal of Supply Chain Management

Vol. 24, No. 76, Autumn, 2022

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; Accepted: 19/12/2022)

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

*Corresponding Author E-mail: smrdavoodi@ut.ac.ir