

## طراحی زنجیره تأمین بر اساس برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای میانگین-ارزش در معرض خطر شرطی با امکان اختلال در مراکز توزیع

مقاله علمی - پژوهشی

الهام غلامیان، دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی-مالی، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران

سید محمد رضا داودی\*، دانشیار، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران

محمد رضا شریفی قزوینی، استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: smrdavoodi@ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

صفحه ۲۹۲-۲۷۷

### چکیده

در سال‌های اخیر، یک حرکت قوی به سمت ادغام تصمیم‌های استراتژیک و تاکتیکی صورت گرفته است. تصمیم‌های استراتژیک مانند تخصیص مکان دارای اثرات بلندمدت بوده و به راحتی قابل تغییر نمی‌باشند و تصمیم‌های سطح تاکتیکی شامل برنامه‌ریزی میان‌مدت در محدوده یک‌ساله مانند سیاست‌های حمل‌ونقل می‌باشد. ادغام سطوح مختلف تصمیمات در زنجیره تأمین به کاهش هزینه‌های کلی و بهبود عملکرد آن کمک می‌کند. در پژوهش حاضر یک مدل تصادفی دومرحله‌ای میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی برای تخصیص مکان و محاسبه جریان مواد خام و کالاهای ساخته‌شده یک زنجیره تأمین چندمحصولی-چندسطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مدل پژوهش، مراکز توزیع می‌تواند در دو نوع قابل اطمینان (بدون امکان اختلال) و غیر قابل اطمینان (با امکان اختلال) انتخاب شوند. منابع نا اطمینانی در مدل شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، تقاضای مشتریان نهایی و احتمال اختلال در مراکز توزیع 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 هزینه استفاده می‌کند. مدل طراحی‌شده در نهایت به کمک شبیه‌سازی مونت‌کارلو به یک برنامه‌ریزی خطی تک سطح 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

رقابتی جهانی امروز، رقابت بین زنجیره‌های تأمین به جای شرکت‌ها، به‌عنوان اعضای زنجیره تأمین رخ می‌دهد (آزرون و همکاران، ۲۰۲۱). زنجیره تأمین 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

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، علاوه بر حفظ و افزایش سود، بقا و دوام بیشتر در بازار می‌باشد. ازجمله مزیت‌های رقابتی برای شرکت‌ها، کاراتر و اثربخش‌تر کردن فعالیت‌هایی نظیر زنجیره تأمین است. در بازارهای بسیار

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 دهقانان، ۱۳۹۲). تصمیمات مختلف در طراحی و مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان در قالب سه سطح تقسیم‌بندی کرد (دنگ و همکاران، ۲۰۱۹).

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 تصمیمات در زنجیره تأمین به کاهش هزینه‌های کلی و بهبود عملکرد آن کمک می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۲۱). 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 به‌راحتی 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

فعالیت‌های تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان، باهدف تولید و توزیع یک کالا در شرایط مناسب می‌باشد؛ به‌طوری‌که به‌طور هم‌زمان هزینه‌های کل زنجیره تأمین به حداقل رسیده، و سطح خدمات افزایش یابد (حسینی، ۱۳۹۶). یکی از عوامل بنیادی در طراحی بهینه زنجیره تأمین، در نظر گرفتن محیط نا اطمینانی می‌باشد که زنجیره تأمین در بستر آن فعالیت می‌کند. نا اطمینانی 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 نا اطمینانی می‌تواند آثار مخربی بر عملکرد زنجیره تأمین داشته باشد. این آثار مخرب گاه می‌تواند بعضاً باعث اختلال در عملکرد اجزای زنجیره تأمین گردیده و آن را به سمت انحلال و ورشکستگی سوق دهد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۹). از این‌رو ضروری است تا در طراحی زنجیره تأمین، سناریوهایی برای نا اطمینانی‌ها در نظر گرفته شود و در هر سناریو، تصمیمات بهینه‌ای اتخاذ شود تا زنجیره تأمین از کشسانی، استواری و چابکی لازم برخوردار گردد. در این میان مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره تأمین یک تصمیم استراتژیک می‌باشد؛ زیرا مستلزم صرف هزینه زیاد است، از طرفی اصلاح یا تغییر آن هزینه‌بر و مشکل بوده 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 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- پیشینه تحقیق

زنجیره تأمین شبکه‌ای از فرآیندها باهدف نهایی تأمین کالاها و خدمات موردنیاز مشتریان است و دربرگیرنده‌ی

مقصد نامشخص باشد، یعنی عدد نامشخصی باشد. بنابراین، در این مقاله، مشکل تخصیص مکان با هزینه حمل و نقل 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 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 شده‌اند. پاسخ‌دهندگان نظرسنجی سال ۲۰۱۱ همچنین خاطرنشان 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 کرده 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 درصد یا بیشتر اختلال را تجربه کرده‌اند (کانگوالسانگ و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهش حاضر بعلاوه فرض می‌شود که مراکز توزیع 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 آی تی و اطلاعات و ... رخ دهد. در پژوهش حاضر امکان اختلال در خدمت‌رسانی مراکز توزیع در نظر گرفته 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 مورد بررسی قرار گیرد. زنجیره تأمین مورد بررسی 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، دودسته

عدم اطمینان قرار دارند. تخمین‌های غلط و قضاوت‌های اشتباه ناشی از عدم اطمینان است. از این رو برای مقابله با تأثیرات مخرب این تصمیمات ضروریست عدم اطمینان را همواره کنترل و مدیریت کرد. 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 (سان و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به موارد بیان‌شده 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 مورد بررسی 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 دهد، و یا به اصطلاح از پایداری و کسب‌وکار برخوردار باشد.

در پژوهش حاضر، تقاضای مشتریان در خرده‌فروشی‌ها، هزینه‌های حمل و نقل و امکان اختلال (که در ادامه معرفی می‌شود) به صورت تصادفی وابسته به سناریو در نظر گرفته می‌شود. در زندگی واقعی، با توجه به نوسانات بازار، نمی‌توان با قطعیت هزینه‌های حمل و نقل، 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 حمل و نقل واحد از مبدأ تا

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 یک‌زمان 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/بازایی، 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 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 برنامه‌ریزی خطی با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و جریان‌های نقدی در میان‌مدت پرداختند. در این مقاله مدلی به منظور 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

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

میرحسینی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای مسئله مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ در مناطق شهری ارائه دادند و یک الگوریتم

کردند. مسئله شامل تعیین تعداد و مکان مراکز توزیع، تخصیص خرده‌فروشان به مراکز توزیع و تعیین سیاست کنترل موجودی مراکز توزیع راه‌اندازی 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 فرمول‌بندی 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 (۲۰۲۱) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای چند هدف 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 توزیع شده‌اند و از یک روش شبیه‌سازی به نام طرح تقریب میانگین نمونه برای محاسبه راه‌حل‌های بهینه مدل تصادفی با تعداد بی‌نهایت سناریو استفاده می‌کنیم. کانگوالسانگ و همکاران (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 تبرید 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 ساتقلو (۲۰۲۰) به تعیین مکان و تعداد مراکز درمانی موقت در صورت وقوع بلایا با در نظر گرفتن موقعیت بیمارستان‌های موجود، طبقه‌بندی 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 (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 (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 (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. تراسروچ و همکاران (۲۰۱۴) مسئله مدیریت ریسک‌های مرتبط با خرابی‌های تصادفی تجهیزات را با بهینه‌سازی تصمیم‌گیری در مورد کمیت و قرار دادن قطعات حیاتی روی شبکه‌ای از سایت‌های صنعتی مرتبط بررسی کردند. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی دومرحله‌ای با معیار ارزش درخطر شرطی برای ترکیب ریسک‌گریزی توسعه داده شده است. نتایج محاسباتی برای نشان دادن مزایای رویکرد ارزش درخطر شرطی در مقایسه با رویکرد کمینه‌سازی هزینه مورد انتظار مربوطه ارائه شده‌اند. مدل ارزش درخطر شرطی منجر به سیاست‌هایی می‌شود که ضرر کمتری نسبت به مدل خشتی ریسک مربوطه دارند. نویمان (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی

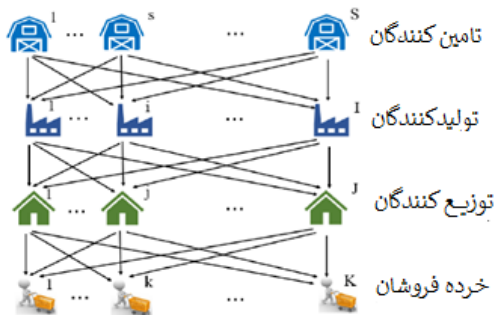
هزینه‌های حمل‌ونقل به صورت توأم؛ ۴-مدل‌سازی مدل میانگین-ریسک به صورت برنامه‌ریزی خطی.

### ۳-مدل پژوهش

ساختار زنجیره تأمین مورد مطالعه، 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. در ادامه از مجموعه اندیس‌ها و مجموعه‌های جدول (۱) برای نشان دادن اجزای زنجیره تأمین، مواد اولیه و محصولات نهایی استفاده می‌شود.

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 حاضر عبارت‌اند از: ۱-لحاظ کردن امکان اختلال در مراکز توزیع در مدل برنامه‌ریزی تصادفی دوسطحی میانگین-ریسک (ارزش در معرض خطر شرطی)؛ ۲-تخصیص مکان بهینه مراکز توزیع برحسب دو نوع قابل‌اطمینان و غیر قابل‌اطمینان و تحلیل حساسیت تأثیر پارامترهای مدل بر نوع هر مرکز توزیع؛ ۳-در نظر گرفتن نا اطمینانی ناشی از تقاضا و



نمودار ۱. ساختار زنجیره تأمین چند سطحی پژوهش

جدول ۱. اندیس‌ها و مجموعه‌های مورد استفاده 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 $L$

قابل‌اطمینان نسبت به مراکز غیر قابل‌اطمینان بیشتر است. پارامترهای مورد استفاده در مدل پژوهش به همراه تعریف آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. هزینه‌های حمل‌ونقل، تقاضای مشتریان نهایی و رخداد اختلال در مراکز غیر قابل‌اطمینان، دارای ماهیت تصادفی و وابسته به سناریو می‌باشد و تمام سناریوها در مجموعه  $\Omega$  قرار دارد.

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. مراکز توزیع در دو شکل قابل‌اطمینان (بدون امکان اختلال) و غیر قابل‌اطمینان (با امکان اختلال) می‌توانند بازگشایی گردند. بدیهی است هزینه‌های عملیاتی مراکز

جدول ۲. پارامترهای مورد استفاده در مدل پژوهش

پارامتر	تعریف
$f_i$	هزینه ثابت عملیاتی کارخانه $i$ .
$gr_j$	هزینه ثابت عملیاتی مرکز توزیع قابل اطمینان $j$ .
$gu_j$	هزینه ثابت عملیاتی مرکز توزیع غیر قابل اطمینان $j$ .
$a_{vs}$	مقدار ماده اولیه (ظرفیت) $v$ که تأمین کننده $s$ قادر به تأمین آن می باشد.
$r_{vs}$	هزینه تأمین ماده اولیه $v$ توسط تأمین کننده $s$ .
$n_{vl}$	مقدار ماده اولیه $v$ که برای تولید هر واحد محصول $l$ مورد نیاز است.
$b_{il}$	مقدار کالایی که تولید کننده $i$ از محصول $l$ قادر به تولید می باشد.
$q_{il}$	هزینه تولید هر واحد محصول $l$ در تولید کننده $i$ .
$\tau_{lj}$	مقدار کالای $l$ که مرکز $j$ می تواند ذخیره کند.
$w_{lj}$	هزینه انبارداری هر واحد کالای $l$ در مرکز توزیع $j$ .
$h_l$	قیمت خرده فروشی کالای $l$ .
$t_{vsi}^{(1)}$	هزینه حمل و نقل یک واحد ماده اولیه $v$ از تأمین کننده $s$ به تولید کننده $i$ .
$t_{lij}^{(2)}$	هزینه حمل و نقل یک واحد کالای $l$ از تولید کننده $i$ به مرکز توزیع $j$ .
$t_{ljk}^{(3)}$	هزینه حمل و نقل یک واحد کالای $l$ از توزیع کننده $j$ به مصرف کننده $k$ .
$d_{lk}$	تقاضای مصرف کننده $k$ برای کالای $l$ .
$\xi(w)$	بردار تصادفی نشان دهنده پارامترهای تصادفی شبکه شامل هزینه های حمل و نقل، تقاضا و اختلال.
$\lambda$	ضریب ریسک گریزی.
$B_j(w)$	پارامتر باینری: مقدار یک را در صورتی اخذ می کند که مرکز توزیع $j$ در سناریوی $w$ با اختلال مواجه شود.

متغیرهای تصمیم مدل پژوهش در جدول (۳) معرفی شده اند. بین مکان های نامزد می باشد و متغیرهای تصمیم سطح دو در متغیرهای سطح یک مرتبط با تخصیص مکان تولید کنندگان و مورد مقدار مواد اولیه و کالای نهایی جابجا شده بین اجزای توزیع کنندگان به دو صورت قابل اطمینان یا غیر قابل اطمینان از زنجیره تأمین می باشد.

جدول ۳. متغیرهای تصمیم مورد استفاده در مدل پژوهش

متغیر تصمیم	تعریف
$e_i$	متغیر باینری نشان دهنده باز شدن کارخانه $i$ .
$cr_j$	متغیر باینری نشان دهنده باز شدن مرکز توزیع $j$ به صورت قابل اطمینان.
$cu_j$	متغیر باینری نشان دهنده باز شدن مرکز توزیع $j$ به صورت غیر قابل اطمینان.
$x_{vsi}^{(1)}$	مقدار مواد اولیه $v$ که توسط تأمین کننده $s$ به کارخانه $i$ ارسال می شود.
$x_{lij}^{(2)}$	مقدار کالای $l$ که توسط کارخانه $i$ به مرکز توزیع $j$ فرستاد می شود.
$x_{ljk}^{(3)}$	مقدار کالای $l$ که توسط مرکز توزیع $j$ به مصرف کننده $k$ ارسال می شود.

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  $\alpha$  به صورت رابطه (۱) تعریف می گردد.

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

اختلال در مراکز توزیع وجود دارد. مراکز توزیع در دو شکل قابل اطمینان یا بدون امکان اختلال و غیر قابل اطمینان یا با امکان اختلال می‌توانند انتخاب گردند. بدیهی است هزینه‌های عملیاتی مراکز قابل اطمینان نسبت به غیر قابل اطمینان بیشتر است و بنابراین هزینه زنجیره تأمین برای دوره تولید به صورت یک متغیر تصادفی وابسته به سناریو می‌باشد. امید ریاضی هزینه سیستم به عنوان تابع هدف بخش دوم انتخاب می‌گردد که در واقع 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 به عنوان معیار محاسبه ریسک استفاده می‌شود. ضریب  $\lambda$  موسوم به ضریب ریسک‌گریزی، 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:

که  $|x|_+ = \max\{x, 0\}$ . درک مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی مستلزم درک ارزش در معرض ریسک یا  $\text{Var}_\alpha(X)$  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  $\text{VaR}_{0.95}(X) = 10\$$  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 از نوع 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 و مراکز توزیع به دو شکل قابل اعتماد و غیرقابل اعتماد) 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 حمل و نقل و انبارداری می‌باشد که درآمد حاصل از فروش از آن کسر می‌گردد. در مدل سه منبع تصادفی شامل هزینه‌های حمل و نقل، تقاضای مشتریان و امکان

$$\min_{e,c} z = \sum_{i \in I} f_i e_i + \sum_{j \in J} g u_j c u_j + \sum_{j \in J} g r_j c r_j + (1 - \lambda) E(Q(e, c, w)) + \lambda C \text{VaR}_\alpha(Q(e, c, w)) \quad (2)$$

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

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

مجموعه محدودیت‌های مدل نیز در ادامه بیان خواهد شد.



$$cu_j + cr_j \leq 1 \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{vsi}^{(1)} \leq a_{vs} \quad \forall v, s \quad (5)$$

$$\sum_{l \in L} (n_{vl} \sum_{j \in J} x_{lij}^{(2)}) \leq \sum_{s \in S} x_{vsi}^{(1)} \quad \forall v, i \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} x_{lij}^{(2)} \leq e_i b_{il} \quad \forall i, l \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ljk}^{(3)} \leq \sum_{i \in I} x_{lij}^{(2)} \quad \forall l, j \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ljk}^{(3)} \leq (1 - B_j(w)) c_j \tau_{lj} \quad \forall l, j \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ljk}^{(3)} \leq d_{lk}(w) \quad \forall l, k \quad (10)$$

$$e_i, cu_j, cr_j \in \{0, 1\}, x_{vsi}^{(1)}, x_{lij}^{(2)}, x_{ljk}^{(3)} \geq 0 \quad \forall i, j, k, s, l, v \quad (11)$$

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

جدول ۴. تعریف محدودیت‌های مدل

شماره محدودیت	توضیح
۴	مرکز توزیعی می‌تواند تنها یکی از دو نوع قابل اطمینان یا غیر قابل اطمینان باشد.
۵	محدودیت ظرفیت تأمین ماده اولیه هر تأمین‌کننده.
۶	محدودیت تأمین مواد اولیه لازم برای ساخت محصول در تولیدکننده.
۷	محدودیت ظرفیت تولید در کارخانه.
۸	تأمین نیاز مشتریان بر اساس مقدار موجودی کالا در مراکز توزیع.
۹	محدودیت مقدار موجودی کالا در مراکز توزیع که تابعی از باز شدن مرکز، ظرفیت مرکز و عدم وجود اختلال می‌باشد.
۱۰	تأمین نیاز مشتریان به صورت حداکثری.
۱۱	مثبت بودن متغیرهای تصمیم.

ریاضی و ارزش در معرض خطر شرطی در تابع هدف، از شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده می‌شود که در آن از توزیع‌های پیوسته و گسسته نمونه‌گیری می‌شود. بر این اساس فرض می‌شود که فضای احتمال  $\Omega$  متناهی است و امید ریاضی بر اساس میانگین نمونه مطابق رابطه (۱۲) تقریب زده می‌شود.

مجموعه پارامترهای تصادفی معرفی شده، ضمن یک فضای سناریوی  $\Omega$  تجمع می‌گردد. بنابراین یک سناریوی نوعی  $\omega \in \Omega$  متشکل از تقاضای رسیده به خرده‌فروشان، هزینه‌های حمل و نقل و وجود یا عدم وجود اختلال برای مراکز توزیع می‌باشد. از آنجا که توزیع تقاضا، هزینه‌های حمل و نقل و اختلال در حالت کلی می‌تواند پیوسته باشد، برای محاسبه امید

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

معروض خطر شرطی استفاده می‌شود. بدین صورت این بخش نیز به صورت خطی وارد مدل می‌شود، زیرا هم تابع هدف و هم محدودیت‌های ذکر شده در رابطه (۱۳) خطی هستند. با در نظر گرفتن روابط (۱۲) و (۱۳) در مجموع تابع هدف (۲) به فرم خطی تبدیل گردید. بر این اساس با توجه به اینکه تمام محدودیت‌ها نیز خطی هستند، فرم نهایی مدل پژوهش به صورت خطی می‌باشد و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی قابل حل می‌باشد.

که  $p(w)$  احتمال رخداد سناریوی  $w$  می‌باشد. بدین صورت امید ریاضی به فرم خطی (جهت استفاده در برنامه‌ریزی خطی) تبدیل می‌گردد. 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  $\alpha$  به صورت زیر محاسبه می‌شود. با توجه به متناهی بودن فضای احتمال  $\Omega$  از رابطه (۱۳) برای محاسبه بخش ریسک یعنی ارزش در

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

#### ۴- پیاده‌سازی مدل

مورد استفاده در مدل پژوهش در جدول (۵) نشان داده شده است.

یکی از پارامترهای تصادفی مدل، تقاضای محصول نهایی در خرده‌فروش‌ها می‌باشد که فرض می‌شود از توزیع یکنواخت با پارامترهای ذکر شده در جدول (۶) پیروی می‌کند.

در مثال عددی که در این بخش بررسی می‌شود، ساختار زنجیره تأمین از سه تأمین‌کننده، سه تولیدکننده، چهار توزیع‌کننده و شش خرده‌فروش تشکیل شده است و بعلاوه فرض می‌شود که تنها یک کالا تولید می‌شود و یک ماده اولیه نیز مورد نیاز می‌باشد. پارامترهای ثابت و غیر تصادفی

جدول ۵. پارامترهای مورد استفاده در مدل

اندیس	$f_i$	$gr_j$	$gu_j$	$a_{vs}$	$b_{il}$	$\tau_{lj}$	$w_{lj}$	$q_{il}$	$r_{vs}$	$n_{vi}$	$h_i$
۱	۱۰۰۰	۲۰۰	۱۴۵	۹۰۰	۴۵۰	۵۰۰	۲	۱۲	۴	۱	۲۸
۲	۱۰۵۰	۲۰۲	۱۵۵	۱۰۰۰	۵۵۰	۴۰۰	۲	۱۰	۳		
۳	۱۰۲۰	۲۰۵	۱۶۰	۸۰۰	۷۵۰	۳۵۰	۲	۹	۴		
۴		۱۹۸	۱۴۰			۲۵۰	۲				

جدول ۶. پارامترهای توزیع یکنواخت تقاضا در خرده‌فروشی‌ها

خرده‌فروشی	توزیع تقاضا	خرده‌فروشی	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)

است. در هر خانه جدول به ترتیب سه عدد ذکر شده که مقادیر هزینه حمل‌ونقل متناظر با سه سناریو می‌باشد. احتمال رخداد سناریوی اول برابر  $0/60$  و دو سناریوی دیگر هر کدام  $0/20$  در نظر گرفته شده است.

از دیگر پارامترهای تصادفی مدل، هزینه‌های حمل‌ونقل به ازای یک کیلو از ماده اولیه یا محصول بین سطوح مختلف زنجیره تأمین می‌باشد. برای هزینه حمل‌ونقل، سه سناریو در نظر گرفته شده است که در جدول‌های (۷) تا (۹) ارائه شده

جدول ۷. هزینه حمل و نقل در سه سناریو بین تأمین کنندگان و تولید کنندگان

$i \backslash s$	1	2	3
1	1/2, 1/5, 1/6	2/4, 2/6, 2/8	4, 4/5, 4/8
2	1/1, 1/3, 1/5	1/2, 1/5, 1/6	3/1, 3/3, 3/8
3	3, 3/5, 4	1/2, 1/3, 1/4	1/2, 1/4, 1/5

جدول ۸. هزینه حمل و نقل در سه سناریو بین تولید کنندگان و توزیع کنندگان

$j \backslash i$	1	2	3	4
1	5, 5/8, 6	4, 4/8, 5	2, 3, 3/5	1/2, 1/4, 1/6
2	3/1, 3/3, 3/6	1/1, 1/4, 1/6	4, 4/5, 4/8	3, 3/5, 3/8
3	1, 1/2, 1/4	1/2, 1/4, 1/6	1/1, 1/3, 1/5	2/2, 2/4, 2/6

جدول ۹. هزینه حمل و نقل در سه سناریو بین توزیع کنندگان و خرده فروشان

$k \backslash j$	۱	۲	۳	۴
1	1, 1/2, 1/4	1, 1/2, 1/4	3, 3/8, 4	3, 3/6, 3/8
2	2, 2/5, 2/8	4, 4/8, 5	1/2, 1/4, 1/6	2/2, 2/4, 2/6
3	3, 3/6, 3/8	1/2, 1/5, 1/8	3, 3/8, 4	2, 2/5, 2/8
4	4, 4/8, 5	4, 4/8, 5	1, 1/6, 1/8	1, 1/2, 1/4
5	2, 2/8, 3	2, 2/5, 2/8	1/2, 1/5, 1/8	1/4, 1/6, 1/8
6	2, 2/5, 2/8	1/2, 1/4, 1/6	4, 4/8, 5	2/5, 2/8, 3

امکان اختلال در مراکز توزیع غیر قابل اطمینان (در صورت باز شدن) نیز از جمله پارامترهای تصادفی می باشد که دارای توزیع دو جمله ای مطابق جدول (۱۰) می باشد.

جدول ۱۰. توزیع اختلال در مراکز غیر قابل اطمینان

مرکز	احتمال اختلال	مرکز	احتمال اختلال
۱	۰/۱۰	۳	۰/۱۰
۲	۰/۰۵	۴	۰/۰۵

برای پیاده سازی مدل خطی پژوهش از بسته نرم افزاری پایومو استفاده گردید این بسته نرم افزاری که بر اساس زبان برنامه نویسی پایتون نوشته شده امکان یک مدل سازی بر پایه کلاس و به صورت منعطف را فراهم می کند. نتیجه حاصل از بهینه سازی در جدول (۱۱) ارائه شده است.

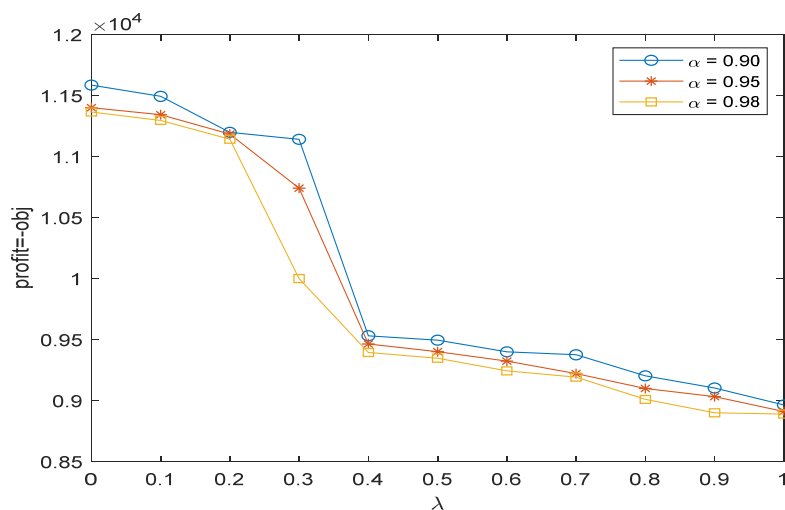
با در نظر گرفتن مجموعه سناریوها و پارامترهای ذکر شده برای مدل زنجیره تأمین، نسبت به بهینه سازی آن با ضریب ریسک  $\lambda = 0.50$  و سطح اطمینان  $\alpha = 0.90$  اقدام گردید. ۱۰۰۰ سناریو برای تقاضا و ۱۰۰ سناریو برای اختلال در نظر گرفته شد که با توجه به سه سناریو برای هزینه های حمل و نقل، فضای احتمال دارای ۳۰۰۰۰۰ سناریو می باشد.

جدول ۱۱. مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم و مقدار بهینه تابع هدف

مقدار بهینه	متغیر
(0,1,1)	$(e_1^*, e_2^*, e_3^*)$
(1,0,1,0)	$(cr_1^*, cr_2^*, cr_3^*, cr_4^*)$
(0,1,0,1)	$(cu_1^*, cu_2^*, cu_3^*, cu_4^*)$
(0,0,550)	$(x_{1,1,1}^{(1)*}, x_{1,1,2}^{(1)*}, x_{1,1,3}^{(1)*})$
(0,200,150)	$(x_{1,2,1}^{(1)*}, x_{1,2,2}^{(1)*}, x_{1,2,3}^{(1)*})$
(0,250,0)	$(x_{1,3,1}^{(1)*}, x_{1,3,2}^{(1)*}, x_{1,3,3}^{(1)*})$
(0,0,0,0)	$(x_{1,1,1}^{(2)*}, x_{1,1,2}^{(2)*}, x_{1,1,3}^{(2)*}, x_{1,1,4}^{(2)*})$
(115,335,0,0)	$(x_{1,2,1}^{(2)*}, x_{1,2,2}^{(2)*}, x_{1,2,3}^{(2)*}, x_{1,2,4}^{(2)*})$
(185,0,320,195)	$(x_{1,3,1}^{(2)*}, x_{1,3,2}^{(2)*}, x_{1,3,3}^{(2)*}, x_{1,3,4}^{(2)*})$
(200,0,100,0,0,0)	$(x_{1,1,1}^{(3)*}, x_{1,1,2}^{(3)*}, x_{1,1,3}^{(3)*}, x_{1,1,4}^{(3)*}, x_{1,1,5}^{(3)*}, x_{1,1,6}^{(3)*})$
(0,190,0,120,25,0)	$(x_{1,2,1}^{(3)*}, x_{1,2,2}^{(3)*}, x_{1,2,3}^{(3)*}, x_{1,2,4}^{(3)*}, x_{1,2,5}^{(3)*}, x_{1,2,6}^{(3)*})$
(0,20,0,120,180,0)	$(x_{1,3,1}^{(3)*}, x_{1,3,2}^{(3)*}, x_{1,3,3}^{(3)*}, x_{1,3,4}^{(3)*}, x_{1,3,5}^{(3)*}, x_{1,3,6}^{(3)*})$
(0,0,0,0,0,195)	$(x_{1,4,1}^{(3)*}, x_{1,4,2}^{(3)*}, x_{1,4,3}^{(3)*}, x_{1,4,4}^{(3)*}, x_{1,4,5}^{(3)*}, x_{1,4,6}^{(3)*})$
-9496/4	$z^*$

در ادامه، مدل پژوهش برای سه سطح اطمینان  $\alpha = 0.90, 0.95, 0.98$  و یازده سطح ضریب ریسک گزینی مطابق نمودار (۲) بهینه گردید. از آنجاکه مقادیر تابع هدف برای پارامترهای مذکور منفی می‌باشد، در نمودار (۲)، قرینه مقدار بهینه تابع هدف به‌عنوان سود مورد استفاده قرار گرفته است.

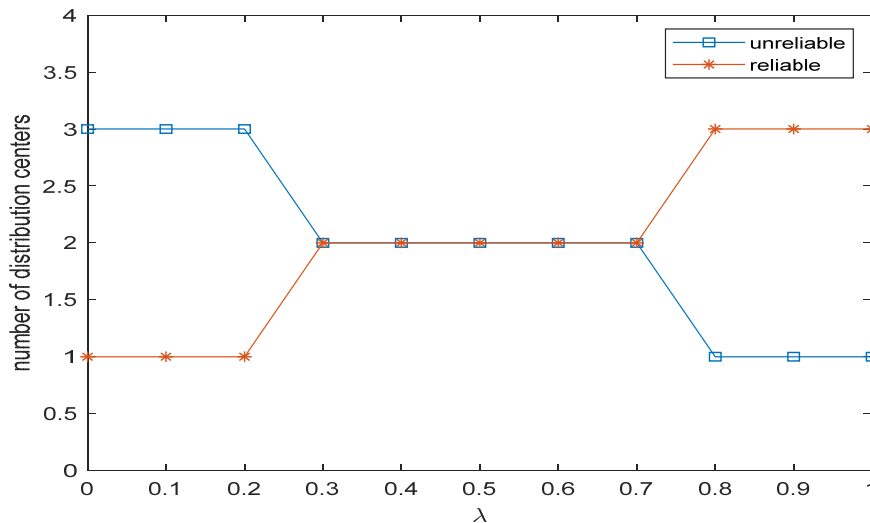
بر اساس جدول (۱۱)، تولیدکنندگان دوم و سوم و هر چهار توزیع‌کننده بازگشایی می‌شوند که توزیع‌کننده اول و سوم به شکل قابل اطمینان و دوم و چهارم به شکل غیر قابل اطمینان بازگشایی می‌شوند. مقدار بهینه تابع هدف نیز برابر می‌باشد که علامت منفی نشان‌دهنده سود می‌باشد.



نمودار ۲. حساسیت تابع هدف به سطوح اطمینان و ضریب ریسک گزینی

همچنین تعداد مراکز غیر قابل اطمینان و قابل اطمینان در فرم بهینه برحسب ضریب ریسک گریزی در نمودار (۳)، ارائه شده است.

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.



نمودار ۳. تعداد مراکز غیر قابل اطمینان و قابل اطمینان در فرم بهینه برحسب ضریب ریسک گریزی

مراکز غیر قابل اطمینان برحسب افزایش احتمال اختلال در تمامی واحدهای غیر قابل اطمینان در جدول (۱۳) ارائه شده است.

بر اساس نمودار (۳)، در تمام سطوح ریسک گریزی هر چهار مرکز باز می‌باشد، اما با افزایش ضریب ریسک گریزی، تعداد مراکز غیر قابل اطمینان کاهش می‌یابد. همچنین تعداد

جدول ۱۲. تعداد مراکز غیر قابل اطمینان و قابل اطمینان در فرم بهینه برحسب احتمال اختلال

میزان افزایش در احتمال اختلال در تمامی واحدها	تعداد مرکز توزیع غیر قابل اطمینان	تعداد مرکز توزیع قابل اطمینان
۰/۰۵	۲	۲
۰/۱۰	۲	۲
۰/۱۵	۱	۳
۰/۲۰	۱	۳
۰/۲۵ و بیشتر	۰	۴

بر اساس جدول (۱۳)، با افزایش قیمت محصول نهایی (به شرط ثابت ماندن قیمت مواد اولیه)، تعداد مراکز غیر قابل اطمینان کم شده به صورتی که بعد از افزایش ۳۵ درصدی هیچ مرکزی به صورت غیر قابل اطمینان بازمی‌گردد.

بر این اساس جدول (۱۲)، با افزایش میزان احتمال، تعداد مراکز غیر قابل اطمینان کم شده به صورتی که بعد از افزایش ۲۵٪، هیچ مرکزی به صورت غیر قابل اطمینان بازمی‌گردد. تعداد مراکز غیر قابل اطمینان برحسب درصد افزایش در قیمت محصول نهایی به شرط ثابت ماندن قیمت مواد اولیه در جدول (۱۳) ارائه شده است.

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره اول، شماره ۷۸، بهار ۱۴۰۳

جدول ۱۳. تعداد مراکز غیر قابل اطمینان و قابل اطمینان در فرم بهینه برحسب درصد افزایش قیمت محصول

درصد افزایش قیمت محصول نهایی	تعداد مرکز توزیع غیر قابل اطمینان	تعداد مرکز توزیع قابل اطمینان
۰,۱۰	۲	۲
۰,۱۵	۲	۲
۰,۲۰	۲	۲
۰,۲۵	۳	۱
۰,۳۰	۳	۱
بیشتر از ۳۵ درصد	۴	۰

### ۵- نتیجه گیری

مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس پژوهش حاضر مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک با امکان اختلال را معرفی 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. با توجه به ریسک‌های سیاسی، اقتصادی کشور و تغییرات قیمتی مداوم و تحولات پویای محیط کسب‌وکار مانند امکان اختلال و حل بهینه خطی مدل، استفاده از مدل پژوهش به منظور 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.

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

### ۶- مراجع

استفاده از رویکرد ارزش در معرض ریسک شرطی، مطالعات مدیریت صنعتی. ۱۲-۳۲.

حسینی، 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.

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.

آقا احمدی، فرزانه و ماهوتچی، مسعود. (۱۳۹۲). طراحی زنجیره تأمین بر اساس برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای، *دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها*، اصفهان.

بهبادی، 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*، ۲(۹): ۷۷-۹.

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:

*Industrial & Management Optimization*, 17(5) 783-2804.

-MirHassani, S.A., Khaleghi. A., Hooshmand. F. (2020). Two-stage stochastic programming model to locate capacitated EV-charging stations in urban areas under demand uncertainty. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 9(4).1-12.

-Oksuz, M. K., Satoglu, S. I. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 101426.

-Noyan, N. (2012). Risk-averse two-stage stochastic programming with an application to disaster management. *Computers and Operations Research*, 39, 541-555.

-Sun, J., Liao, L., Rodrigues. B. (2018). Quadratic two-stage stochastic optimization with coherent measures of risk. *Mathematical Programming*, 168, 559-613.

-Trusevych, A., Kwon, R. H., & Jardine, A. (2014). Optimizing critical spare parts and location based on the conditional value-at-risk criterion. *The Engineering Economist*, 59, 116-135.

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.

-Azaron, A., Venkatadri, U., & Farhang Doost. A. (2021). Designing profitable and responsive supply chains under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 59(1), 213-225.

-Deng. Y., Zhu. W., Tang. J., & Qin. J. (2019). Solving a Two-Stage Stochastic Capacitated Location-Allocation Problem with an Improved PSO in Emergency Logistics. *Mathematical Problems in Engineering*, 12, 1-15.

-Kungwalsong, K., Cheng, C.-Y., Yuangyai, C., & Janjarassuk, U. (2021). Two-Stage Stochastic Program for Supply Chain Network Design under Facility Disruptions. *Sustainability*, 13(5), 1-19.

-Liu, Z., Qu, S., Raza, H., Wu, Z., Qu, D., & Du, J. (2021). Two-stage mean-risk stochastic mixed integer optimization model for location-allocation problems under uncertain environment. *Journal of*

# **Supply Chain Design Based on Mean-Cvar Two-Stage Stochastic Programming with the Possibility of Disruption in Distribution Centers**

*Elham Gholamian, Ph.D., Student, Industrial Managemet -Financial Orientation,  
Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran.*

*Sayyed Mohammad Reza Davoodi, Associate Professor, Department of Management,  
Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran.*

*Mohammad Reza Sharifi Qazvini, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering,  
Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran.*

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

Received: September 2003 Accepted: Jan. 2024

## **ABSTRACT**

In recent years, a strong move has been made towards integrating strategic and tactical decisions through the development of location-allocation models. Strategic decisions such as location allocation have long-term effects and are not easily changed, and tactical-level decisions involve medium-term planning over a one-year period such as inventory management policies. Integrating different levels of decision making in the supply chain helps reduce overall costs and improve performance. In the present study, a stochastic two-stage mean-conditional value at risk model is used to allocate locations and calculate the flow of materials and goods constructed of a multi-product-multi-level supply chain. In the research model, distribution centers can be selected in two types: reliable (without the possibility of disruption) and unreliable (with the possibility of disruption). Sources of uncertainty in the model include shipping costs, end customer demand, and the possibility of disruption in distribution centers. 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. Finally, with a numerical example, the model is implemented and its sensitivity is analyzed.

**Keywords:** Supply chain, Two Stage Stochastic Programming, CVaR, Disruption