

تحلیل ریسک با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی شبیه‌سازی

مجتبی حاجیان حیدری^۱

چکیده

به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت، شبیه‌سازی، یک ابزار کارآمد به شمار می‌آید. برای اینکه شبیه‌سازی جواب بهینه یا نزدیک به بهینه را به دست دهد نیاز به ترکیب با روش‌های بهینه‌سازی دارد. شبیه‌سازی مبتنی بر عامل یکی از روش‌های پرکاربرد شبیه‌سازی است که برای تحلیل ریسک در سیستم‌های مختلف از جمله زنجیره‌های تأمین به عنوان یک روش کارآمد شناخته می‌شود. در این کرسی ترویجی به دنبال این هستیم که ضمن تبیین این زمینه مهم و تحلیل مکانیزم‌های روش‌های موجود، ایده‌هایی برای کمی‌سازی ریسک با استفاده از منطق شبیه‌سازی ارائه کنیم و نحوه به کارگیری آن را در مسائل نمونه نشان دهیم.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی شبیه‌سازی، ریسک، زنجیره تأمین.

Abstract

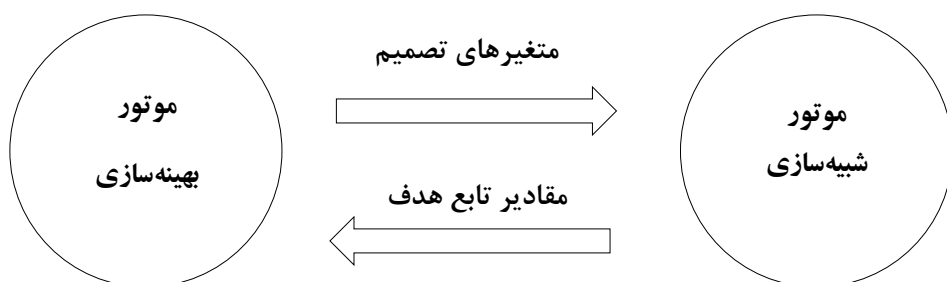
Simulation is an efficient tool to model uncertainty. In order to obtain optimal or near optimal solution, it needs to be combined with optimization methods. Agent-based simulation is one of the widely used simulation methods that are efficient for risk analysis in various systems, including supply chains. In this research, we seek to explain this important field and analyze the mechanisms of existing methods, present ideas for risk quantification using simulation logic, and show how to apply it in sample problems.

۱. استادیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، hajianheidary@atu.ac.ir

۱- مقدمه

روش‌های مختلف شبیه‌سازی کامپیوتری ابزاری مناسب برای مدل‌سازی عدم قطعیت به شمار می‌روند. یکی از معضلاتی که در مواجهه با عدم قطعیت وجود دارد کمی‌سازی آن است. روش‌های شبیه‌سازی به دلیل رویکرد کمی که برای تحلیل مسائل به کار می‌گیرند برای این منظور ایده‌آل هستند. با این وجود، شبیه‌سازی به طور ذاتی ابزاری برای تحلیل تصمیمات مختلفی است که از طرف تصمیم‌گیر اتخاذ می‌شود. شبیه‌سازی به عنوان ابزاری کاربردی برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت مطرح است. می‌توان گفت شبیه‌سازی در علم مدیریت به سه دسته کلی قابل تقسیم است: پویایی سیستم‌ها، شبیه‌سازی گسسته پیشامد، و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل. بصورت خیلی مختصر می‌توان گفت که هر چه از پویایی سیستم‌ها به سمت شبیه‌سازی مبتنی بر عامل حرکت کنیم سطح جزئیاتی که در مدل مدنظر قرار می‌گیرد افزایش می‌یابد.

برای اینکه شبیه‌سازی بتواند تصمیم ایده‌آل یا نزدیک به ایده‌آل را بدست دهد نیاز به ترکیب با روش‌های بهینه‌سازی دارد. از این رو روش‌های بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای رسیدن به یک تصمیم ضرورت پیدا می‌کند. بهینه‌سازی شبیه‌سازی ابزاری است که به کاربر کمک می‌کند تا با تغییر متغیرهای تصمیم بر اساس تابع هدف و معیارهای مشخص شده مسئله را به نقطه بهینه خود نزدیک کند. در حقیقت کارکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی را می‌توان در قالب شکل ۱ نمایش داد.



شکل ۱- شمای کلی از کارکرد یک سیستم بهینه‌سازی شبیه‌سازی

به کارگیری این روش‌ها برای مسائل تصمیم‌گیری، می‌تواند کمک به‌سزایی در اتخاذ تصمیم مناسب با توجه به میزان ریسک‌پذیری تصمیم‌گیر داشته باشد. به عنوان نمونه، در زنجیره‌های تأمین ریسک‌های متنوعی وجود دارد که تصمیم‌گیر را با توجه به میزان ریسک‌پذیری‌اش برای اتخاذ تصمیم مناسب دچار چالش می‌کند. انواع ریسک‌های زنجیره تأمین شامل اختلال، تأخیر، ریسک‌های سیستمی، ریسک‌های تدارکاتی، ریسک موجودی، ریسک ظرفیت و... است.

دامنه تعریف ریسک گسترده است. بسته به موضوع، تعریف ریسک نیز متفاوت می‌شود. اما آنچه که بین محققین مورد توافق است، مراحل مدیریت ریسک است که عبارتند از: شناسایی ریسک، تحلیل ریسک و ارزیابی ریسک. شبیه‌سازی در تحلیل ریسک ابزاری قدرتمند است. به‌طور متداول روشهای ریاضی و روش مونت کارلو برای مدل‌سازی ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما انواع تکنیک‌های شبیه‌سازی سیستمی و شبیه‌سازی کامپیوتری نیز می‌تواند به عنوان روش‌هایی مؤثر برای تحلیل ریسک استفاده شود. شبیه‌سازی گسسته پیشامد و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل دو زمینه‌ای هستند که برای تحلیل ریسک در سیستم‌های مختلف از جمله زنجیره‌های تأمین کارآمد می‌باشند. بطور خاص در تصمیم‌گیری‌های زنجیره‌تأمین ریسک‌پذیری، ریسک‌گزینی یا بی‌تفاوتی نسبت به ریسک رفتارهایی هستند که تصمیم‌گیران زنجیره‌تأمین در شرایط عدم قطعیت اتخاذ می‌کنند. اینکه چگونه در این شرایط بهترین تصمیم اتخاذ شود مسئله‌ای بسیار حائز اهمیت است.

برای کمی‌سازی ریسک دو ابزار بسیار پرکاربرد که اغلب در حوزه‌های مالی مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارت‌اند از: ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی. این معیارها بر اساس تکنیک‌های آماری بدست می‌آیند و در مباحث مالی به‌طور مرسوم برای اندازه‌گیری و تعیین میزان ریسک مالی در یک شرکت و یا پرتفوی سرمایه‌گذاری در یک دوره زمانی مشخص استفاده می‌شود. ارزش در معرض ریسک توسط مدیران برای اندازه‌گیری و کنترل سطح ریسکی که شرکت متعهد شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

وظیفه مدیران این است که مطمئن شوند ریسک شرکت از حدی که می‌تواند ضررهای یک نتیجه بدتر احتمالی را تحمل کند، بیشتر نباشد. این کار با استفاده از این شاخص‌ها انجام می‌شود.

به کارگیری این گونه روش‌ها در تصمیم‌گیری‌های متداول در مدیریت زنجیره تأمین ضروری است. در ادامه پس از مرور پژوهش‌های مرتبط، مفهوم بهینه‌سازی شبیه‌سازی و کاربرد آن در تحلیل ریسک زنجیره تأمین مورد بحث قرار می‌گیرد و سپس مثالی در ارتباط با این کاربرد تحلیل می‌شود.

۲- مرور ادبیات

هرچند که ریسک مفهومی بسیار کاربردی و گسترده در بسیاری از زمینه‌های پژوهشی است، در حوزه زنجیره تأمین حدود یک دهه است که بطور جدی مورد توجه محققین قرار گرفته است. اکثر پژوهش‌ها در این زمینه معطوف به مباحث مدیریتی و شناسایی و تحلیل ریسک بوده است. اما زمینه‌های تحقیقاتی پیشنهادی توسط محققین نشانگر اهمیت مدل‌سازی ریسک زنجیره تأمین است.

کوپرا و میندل^۱ (۲۰۱۳) ریسک‌های زنجیره تأمین را که باید در طراحی شبکه زنجیره تأمین مدنظر قرار گیرد را در قالب نه گروه به صورت زیر بیان کرده‌اند:

جدول ۱- ریسک‌های اثرگذار در طراحی شبکه زنجیره تأمین

گروه	محرک‌های ریسک
اختلال	حوادث طبیعی، جنگ، تروریسم، مناقشات مربوط به نیروی کار، ورشکستگی تأمین کننده
تأخیر	استفاده از حداکثر ظرفیت در منبع تأمین، عدم انعطاف پذیری منبع تأمین، کیفیت یا خروجی پایین در منبع تأمین
ریسک سیستمی	مشکل در زیرساخت اطلاعاتی، یکپارچه سازی سیستمها

ریسک پیش بینی	پیش بینی‌های با دقت کم، به دلیل زمان تحویل طولانی، فصلی بودن، چرخه عمر کوتاه و...
ریسک سرمایه معنوی	یکپارچه سازی عمودی زنجیره تأمین، برونسپاری جهانی
ریسک خرید	ریسک نرخ تبدیل ارز، قیمت ورودی‌ها، بخشی که از یک منبع خریداری می‌شود، استفاده از ظرفیت سراسری صنعت
ریسک‌های دریافتی	تعداد مشتریان، توان مالی مشتریان
ریسک موجودی	نرخ کهنه شدن محصول، هزینه نگهداری موجودی، ارزش محصول، عدم قطعیت تقاضا و تأمین
ریسک ظرفیت	هزینه ظرفیت، انعطاف پذیری ظرفیت

مدیریت نادرست هر یک از این ریسک‌ها می‌تواند خسارات جبران ناپذیری برجای بگذارد. بر اساس دسته‌بندی بیمون^۱ (۱۹۹۸) به‌طور کلی ۴ نوع مدل‌سازی در طراحی زنجیره تأمین قابل تعریف است: مدل‌های تحلیلی قطعی، مدل‌های تصادفی، مدل‌های اقتصادی و مدل‌های شبیه‌سازی. هکمن^۲ و همکاران (۲۰۱۵) مروری بر تعاریف، اندازه‌گیری و مدل‌سازی ریسک در زنجیره تأمین داشته‌اند. آن‌ها از دسته‌بندی بیمون (۱۹۹۸) این نتیجه‌گیری را کرده‌اند که مدل‌سازی ریسک نیز تابع همین دسته‌بندی است. همچنین بر اساس مطالعه آن‌ها تنها تعداد کمی از مقالات نگرش مبتنی بر کارایی (مانند سطح سرویس) به مقوله ریسک در زنجیره تأمین داشته‌اند. در همین راستا کول و کلوس^۳ (۲۰۰۸) از شبیه‌سازی گسسته پیشامد برای افزایش سطح رضایت مشتری استفاده کرده‌اند. سینگال^۴ و همکاران (۲۰۱۱) روش‌های مدل‌سازی ریسک را به سه دسته کلی ریاضی، شبیه‌سازی و مولتی ایجینت دسته‌بندی کرده‌اند. همچنین در این زمینه اشمیت و سینگ^۵ (۲۰۰۹) ریسک اختلال با استفاده از شبیه‌سازی

1 Beamon

2 Hackman

3 Kull and Closs

4 Singhal

5 Schmitt and Singh

تحلیل ریسک با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی شبیه‌سازی ۲۳۰

گسسته پیشامد مونت کارلو بررسی کرده است. همچنین چن^۱ و همکاران (۲۰۱۳) مدل‌سازی و شبیه‌سازی مولتی ایجنت را برای مدیریت ریسک زنجیره تأمین پیشنهاد کرده‌اند.

جیاناکیس و لوئیس^۲ (۲۰۱۱) چارچوبی مبتنی بر شبیه‌سازی چندعاملی برای مدیریت ریسک زنجیره تأمین ارائه داده‌اند.

مانگلا^۳ و همکاران (۲۰۱۴) از روشی مبتنی بر مونت کارلو برای مدیریت ریسک در زنجیره-تأمین سبز استفاده کرده است. همچنین کلایپول^۴ و همکاران (۲۰۱۴) مقاله‌ای راجع به مدیریت ریسک زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند. آن‌ها دو عامل احتمال وقوع ریسک و اثر ریسک را به عنوان دو عامل مهم در نظر گرفته‌اند. مهمترین ریسک‌هایی که آن‌ها اشاره کرده‌اند به شرح زیر است: ریسک تقاضا، ریسک ظرفیت، قابلیت اطمینان تأمین‌کننده و ریسک زمان رسیدن محصول به بازار. روش حل آن‌ها مدل‌سازی MIP و شبیه‌سازی آن است. شبیه‌سازی ریسک با استفاده از نرم‌افزار ارنا انجام شده است. اقلان و لام^۵ (۲۰۱۵) چارچوبی مبتنی بر نظریه فازی برای ارزیابی ریسک زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند.

فنگ^۶ و همکاران (۲۰۱۳) استراتژی‌های تأمین را در مدیریت ریسک زنجیره تأمین با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا مورد بررسی قرار داده است. همچنین وو^۷ و همکاران (۲۰۱۰) برنامه‌ریزی چندهدفه فازی را برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده تحت ریسک را مطالعه کرده‌اند. آن‌ها ریسک را به صورت کمی و کیفی بررسی کرده‌اند. ریسک‌های کمی مانند هزینه و کیفیت و ریسک‌های کیفی مانند عوامل محیطی و رتبه‌ی تأمین‌کنندگان در این مقاله در نظر گرفته شده است.

ویلکو و هالیکاس^۸ (۲۰۱۲) ارزیابی ریسک در زنجیره تأمین‌هایی با حمل و نقل چندگانه را

1 Chen

2 Giannakis and Louis

3 Mangla

4 Claypool

5 Aqlan and Lam

6 Fang

7 Wu

8 Vilko and Hallikas

بررسی کرده است. آن‌ها همچنین از شبیه‌سازی مونت کارلو برای ارزیابی اثر ریسک تأخیر استفاده کرده‌اند. ریسک‌هایی که آن‌ها بررسی کرده‌اند ریسک تأمین، ریسک‌های عملیاتی، ریسک‌های امنیتی، ریسک‌های مالی، ریسک‌های زیست محیطی و ریسک‌های سیاسی است.

جدول ۲- ریسک‌های زنجیره تأمین و روش‌های مدل‌سازی آن‌ها

عنوان ریسک	روش به کار گرفته شده	منبع
ریسک زیست محیطی	شبیه‌سازی مونت کارلو	مانگلا و همکاران (۲۰۱۴)
ریسک تقاضا، ریسک ظرفیت، قابلیت اطمینان تأمین‌کننده و ریسک زمان رسیدن محصول به بازار	برنامه‌ریزی ریاضی و شبیه‌سازی	کلایپول و همکاران (۲۰۱۴)
تقاضا، تغییرات نرخ ارز، تفاوت نرخ مالیات در کشورهای مختلف و گمرکی‌های مختلفی که هر کشور وضع می‌کند	مدلسازی مبتنی بر سناریو	گوه و همکاران (۲۰۰۷)
ریسک تأمین	برنامه‌ریزی پویا	فنگ و همکاران (۲۰۱۳)
ریسک تأمین، ریسک‌های عملیاتی، ریسک‌های امنیتی، ریسک‌های مالی، ریسک‌های زیست محیطی و ریسک‌های سیاسی	شبیه‌سازی مونت کارلو	ویلکو و هالیکاس (۲۰۱۲)
ریسک تقاضا و عرضه	مدلسازی فازی	تبریزی و رزمی (۲۰۱۳)
ریسک عملیاتی و ریسک اختلال	مدلسازی مبتنی بر سناریو	صالحی صدقیانی و همکاران (۲۰۱۵)

همان‌طور که از جدول بالا قابل مشاهده است، شبیه‌سازی یکی از روش‌های مهم در مدل‌سازی ریسک زنجیره تأمین به شمار می‌رود.

۳- کاربرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی در تحلیل ریسک زنجیره تأمین

شبیه‌سازی ابزاری است که با استفاده از داده‌های ورودی از پیش تعیین شده به ازای مقادیر مشخصی از متغیرهای تصادفی که با استفاده از نمونه‌گیری آن‌ها را تعیین می‌کند یک مسئله را به ازای همه مقادیر نمونه‌گیری شده حل می‌کند. شبیه‌سازی مونت کارلو یکی از روش‌های شبیه‌سازی است که از همین منطق استفاده می‌کند.

روشی که در این پژوهش مدنظر قرار گرفته است، شبیه‌سازی مبتنی بر عامل است. یک مدل مبتنی بر عامل، دسته‌ای از مدل‌های محاسباتی است که برای شبیه‌سازی تصمیمات و تعاملات عامل‌های خودمختار و ارزیابی اثرات آن‌ها روی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک سیستم مبتنی بر عامل شامل عامل‌ها و محیط پیرامونی آن‌ها است. در این نوع مدل‌سازی هر یک از عوامل به صورت موجودیت‌های تصمیم‌گیر و خودمختار به نام عامل مدل تبدیل می‌گردند. هر یک از این عامل‌ها از بخش‌های متنوعی برای درک محیط، تحلیل آن و در نهایت اقدام برخوردار هستند. در حقیقت در مدل‌سازی مبتنی بر عامل، تلاش می‌شود فرایند تصمیم‌گیری در دنیای واقعی توسط عامل‌های مشابه شبیه‌سازی گردد.

برای اینکه یک سیستم شبیه‌سازی را مجهز به ابزار تصمیم‌گیری کنیم نیاز به افزودن یک الگوریتم جهت تغییر تصمیمات و آزمایش آن‌ها در سیستم و یافتن بهترین تصمیم داریم. الگوریتم‌های ابتکاری یا فرابتکاری بهینه‌سازی معمولاً بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بر خلاف برنامه‌ریزی‌های ریاضی، در روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی لزوماً نیازی به یک توصیف جبری از مدل شبیه‌سازی سیستم نیست و ممکن است تنها انتظار از شبیه‌سازی ارزیابی تابع هدف و ارضای محدودیت‌ها به ازای یک ورودی خاص باشد.

بهینه‌سازی شبیه‌سازی ابزاری متداول در برای حل مسائل مدیریت زنجیره تأمین است. مقالاتی که از این ابزار در مدیریت زنجیره تأمین استفاده کرده اند در سه دسته زیر تقسیم بندی می‌شوند: رویکردهای مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی، رویکردهای مبتنی بر روش‌های یادگیری، روش‌های فراابتکاری. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی شبیه‌سازی سیستم‌های زنجیره‌تأمین پرکاربردتر است. جدول زیر خلاصه‌ای از پژوهش‌های صورت گرفته در ارتباط با شبیه‌سازی زنجیره‌تأمین که از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده کرده‌اند را نشان می‌دهد.

جدول ۳- الگوریتم‌های فراابتکاری توسعه داده شده برای بهینه سازی شبیه‌سازی

چند هدفه	تک هدفه	تابع هدف	الگوریتم استفاده شده	
✓		سود/رضایت مشتری	NSGAI	کو ^۱ و همکاران (۲۰۰۸)
	✓	هزینه کل	GA	پان ^۲ و همکاران (۲۰۰۹)
	✓	هزینه کل	Scatter search	کسکین ^۳ و همکاران (۲۰۱۰)
	✓	هزینه کل	PSO	طالعی زاده و همکاران (۲۰۱۰)
✓		درآمد/ زمان تحویل	NSGAI	برینتروپ ^۴ (۲۰۱۰)
	✓	هزینه کل	PSO	سینها ^۵ و همکاران (۲۰۱۱)
✓		هزینه کل / قابلیت اطمینان تحویل	PSO	پراسانا و کومانان ^۶ (۲۰۱۱)
✓		هزینه کل / قابلیت اطمینان سیستم	NSGAI	صادقی و نیاکی (۲۰۱۴)
	✓	هزینه کل	NP Search	هوانگ و سانگ ^۷ (۲۰۱۸)
	✓	هزینه کل	Scatter search	نوردووک ^۸ و همکاران (۲۰۱۸)

1 Koo

2 Pan

3 Keskin

4 Brintrup

5 Sinha

6 Prasanna and Kumanan

7 Huang and Song

8 Noordhoek

تحلیل ریسک با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی شبیه‌سازی ۲۳۴

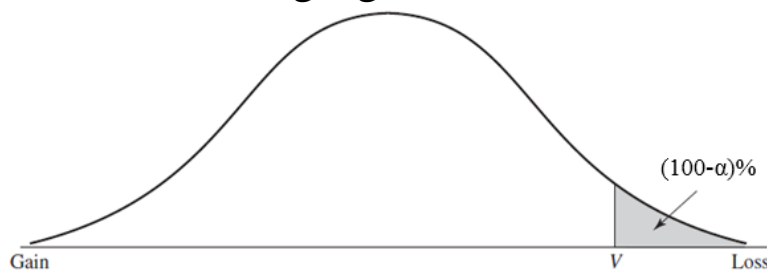
برای کمی‌سازی ریسک دو ابزار بسیار پرکاربرد که اغلب در حوزه‌های مالی مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارت‌اند از: $CVaR^2$ و VaR^1 .

هر دو معیار VaR و $CVaR$ برای اولین بار در مباحث مدیریت مالی مطرح شده‌اند. مؤسسه مالی جی پی مورگان^۳ مبدع مفهوم ارزش در معرض ریسک (VaR) در مباحث مالی است. اولین بار در حدود سال ۱۹۹۰ طراحی این معیار با طرح این سوال که «در انتهای روز کاری بعدی چقدر ضرر خواهیم کرد؟» آغاز شد و این مؤسسه در سال ۱۹۹۴ نسخه ساده شده‌ای از این معیار را منتشر کرد (هال^۴، ۲۰۱۷).

ارزش در معرض ریسک (VaR) حداکثر زیان موردانتظار روی سرمایه یا مجموعه سرمایه‌ها در طول افق زمانی معین در شرایط عادی بازار و در سطح اطمینان معین است. در حقیقت این معیار را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

ما α درصد مطمئن هستیم که بیش تر از V دلار در بازه زمانی t از دست نخواهیم داد طبق این تعریف متغیر V معادل ارزش در معرض ریسک است. به عبارت دیگر، V عددی است که ما α درصد مطمئن هستیم که بیش از آن ضرر نخواهیم کرد. VaR را همچنین می‌توان با استفاده از تابع توزیع احتمالی سود نیز تعریف کرد.

شکل زیر نحوه محاسبه VaR را با استفاده از تابع توزیع احتمالی سود و ضرر نشان می‌دهد:



شکل ۲- شمایی از VaR

-
- 1 Value At Risk
 - 2 Conditional Value At Risk
 - 3 JPMorgan
 - 4 Hull

برای محاسبه معیار ارزش در معرض ریسک دو روش در ادبیات ذکر شده است: ۱- روش شبیه‌سازی و ۲- روش مدل پارامتریک.

به‌طور مثال اگر بخواهیم در افق زمانی یک روزه با اطمینان ۹۹ درصد مقدار ارزش در معرض ریسک را محاسبه کنیم نیاز داریم که یا از داده‌های تاریخی استفاده کنیم یا در صورتی که تابع زیان در دسترس باشد می‌توان با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی داده‌های لازم را برای محاسبه این شاخص تولید کرد.

فرض کنید اگر ۵۰۰ داده تاریخی در اختیار داشته باشیم یا ۵۰۰ داده تصادفی تولید کرده باشیم در حقیقت ۵۰۰ سناریوی محتمل در دسترس داریم و با استفاده از آن‌ها می‌توان منحنی توزیع تغییرات روزانه ارزش سرمایه را ترسیم کرد.

بدترین میزان تغییرات روزانه در صدکی از منحنی توزیع زیان واقع شده است که با استفاده از آن ارزش در معرض ریسک محاسبه می‌شود.

روش شبیه‌سازی نسبت به روش مدل پارامتریک این مزیت را دارد که در این روش نیازی به نرمال فرض کردن متغیرهای مالی نیست.

معیار دیگری که در زمینه‌ی ارزیابی ریسک کاربرد فراوانی دارد، CVaR است. در واقع CVaR میزان ضررهای فراتر از VaR را در نظر می‌گیرد. می‌توان گفت که VaR، حد پایینی برای CVaR است.

به عبارت بهتر VaR به این سوال پاسخ می‌دهد که حداکثر زیانی که متحمل خواهیم شد چقدر است در حالیکه CVaR به این سوال پاسخ می‌دهد که اگر اوضاع نامساعد باشد بطور متوسط چقدر متحمل زیان خواهیم شد؟ (هال، ۲۰۱۵) بطور مثال اگر α برابر ۹۹ درصد و افق زمانی برابر ۱۰ روز باشد معیار ۱۳

متوسط زیانی است که در این ده روز متحمل می‌شویم با فرض اینکه در آن یک درصد باقیمانده بدترین حالات اتفاق بیفتند.

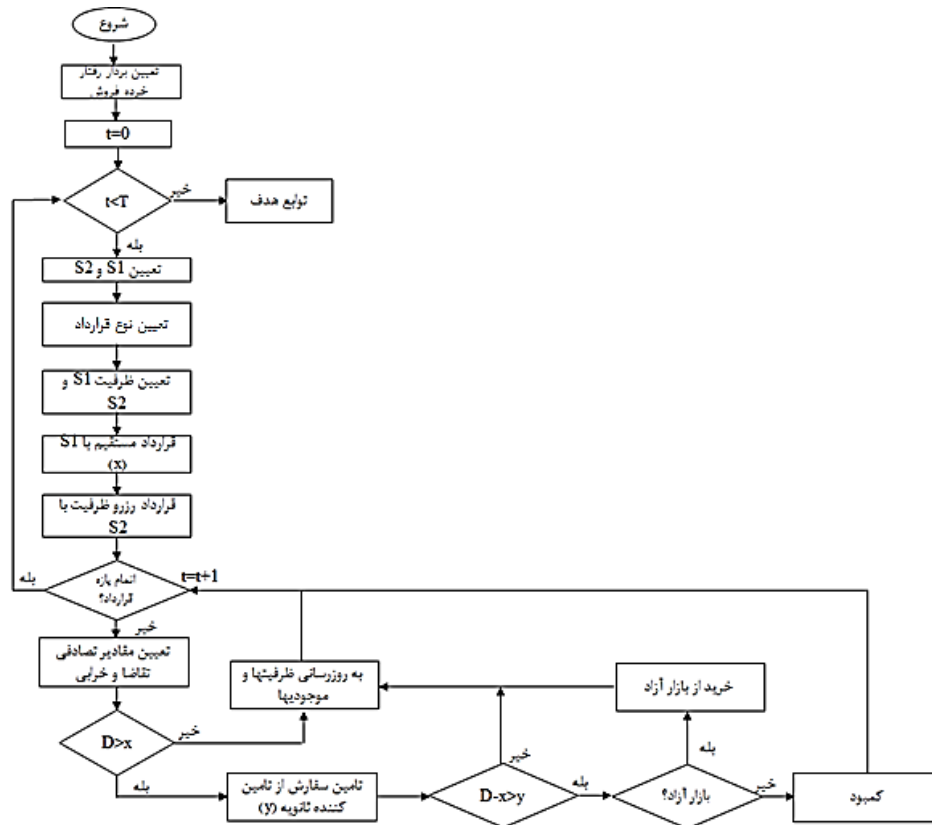
۴- حل مثال کاربردی

یک زنجیره تأمین دو سطحی شامل چند تأمین‌کننده که دچار اختلال در تأمین می‌شوند و چند خرده‌فروش که با تقاضای تصادفی مشتریان رو به رو هستند را در نظر بگیرید. مقادیر متغیرهای تصادفی تقاضا، اختلال در تأمین‌کننده، قیمت بازار آزاد، هزینه سفارش از تأمین‌کننده اولیه و ثانویه، هزینه رزرو ظرفیت در تأمین‌کننده ثانویه در زیر آمده است:

تقاضا از توزیع نرمال $N(1000, 100)$ پیروی می‌کند. شدت اختلال در تأمین نیز از یک توزیع نرمال با میانگین $\mu_j^\pi \sim U(0.01, 0.03)$ و انحراف معیار $\sigma_j^\pi \sim U(0.0001, 0.003)$ پیروی می‌کند. قیمت بازار آزاد از توزیع نرمال $N(250, 40)$ پیروی می‌کند. هزینه رزرو ظرفیت در تأمین‌کننده ثانویه برابر ۴۰ واحد به ازای هر محصول است. ظرفیت ثابت تأمین‌کنندگان اولیه و ثانویه به ترتیب برابر ۱۰۰۰ و ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. احتمال بروز اختلال در تأمین نیز از توزیع یکنواخت به صورت $U(0.01, 0.05)$ در نظر گرفته شده است. خرده‌فروش‌ها به صورت روزانه با تقاضایی از سمت مشتری مواجه می‌شوند که دارای عدم قطعیت است و تنها از توزیع احتمالی تقاضای مشتری آگاه هستند. خرده‌فروش‌ها در قالب قراردادهای مستقیم با تأمین‌کنندگان مشخصی که تأمین‌کنندگان اولیه نامیده می‌شوند تا تاریخ معینی (مدت قرارداد) در ابتدای هر دوره مقدار مشخصی از سفارش را دریافت می‌کنند. البته با توجه به اختلال‌هایی که ممکن است برای تأمین‌کنندگان رخ دهد (ناشی از بلایای طبیعی یا از کارافتادن بخشی از خط تولید)، مقدار سفارش دریافتی توسط خرده‌فروش‌ها ممکن است کمتر از مقدار تعهد شده باشد.

همه خرده‌فروش‌ها در ابتدای هر بازه قرارداد می‌بایست در ارتباط با میزان سفارش از تأمین‌کنندگان اولیه و میزان رزرو ظرفیت در تأمین‌کنندگان ثانویه برای طول مدت قرارداد تصمیم‌گیری نمایند. همچنین در ابتدای هر بازه قرارداد، می‌بایست نوع قرارداد تأمینی که منعقد می‌شود مشخص گردد.

شبیه‌سازی در این مسئله بر اساس فلوچارت زیر انجام می‌شود:

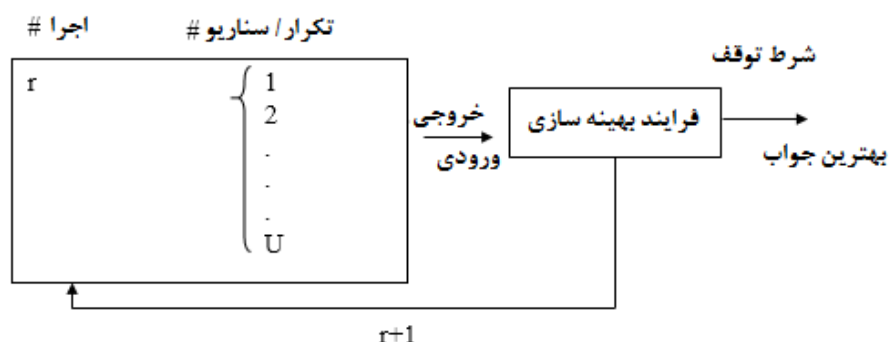


شکل ۳- فرایند شبیه‌سازی در نظر گرفته شده برای مسئله

در این مسئله فرض شده است که خرده‌فروش‌ها می‌توانند ریسک‌پذیر، ریسک‌گریز یا بی تفاوت نسبت به ریسک باشند.

در شبیه‌سازی مفهوم تکرار^۱ در هر بار اجرا^۲ از شبیه‌سازی معادل سناریوهایی است که در برنامه‌ریزی تصادفی اتفاق می‌افتد. به عبارت دیگر اگر در هر بار اجرای شبیه‌سازی چندین تکرار اتفاق بیفتد در حقیقت چندین سناریو در مدل شبیه‌سازی بررسی شده است.

1 Iteration
2 Run



شکل ۴- ارتباط میان ورودی‌ها و خروجی‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی

بدین منظور تابع هدف و محدودیت‌ها با استفاده از نرم‌افزار چندعاملی Netlogo 5.3.1 و سپس با استفاده از رابط نرم‌افزاری با بسته R-Netlogo مرتبط گشته و عملیات بهینه‌سازی روی مدل شبیه‌سازی پیاده‌سازی شده است. تابع هدف این مسئله با استفاده از ابزارهای کمی‌سازی ریسک که در بخش قبلی معرفی شد تعریف شده است.

الگوریتم یادگیری Q استفاده شده در این بخش برای تخمین تابع Q به شرح زیر است:

ورودیها: پارامترهای δ , λ و γ

خروجی: اقدام بهینه

۱. مقداردهی اولیه: حالات و اقدامات سیستم $(Q(s,a)=0) \forall s,a$

۲. تازمانی که شرط توقف برقرار شود $(Iteration_number > Max_Iteration)$ گام‌های زیر را اجرا کن.

۳. پارامتر Ω را به صورت زیر تعریف کن: $\delta / Iteration_number$

۴. شبیه‌سازی را اجرا کن

۵. عددی تصادفی بین صفر و یک تولید کن.

۶. اگر عدد تصادفی بزرگ‌تر از Ω بود، بردار اقدام با حداکثر مقدار $Q(s, \cdot)$ را انتخاب کن. در غیر این صورت یک بردار تصادفی انتخاب کن. مقدار پاداش متناظر را محاسبه کن.

۷. به روزرسانی تابع Q به صورت: $Q(s,a) := Q(s,a) + \gamma \times (r_{t+1} + \lambda \times \max_a Q(s,a) - Q(s,a))$

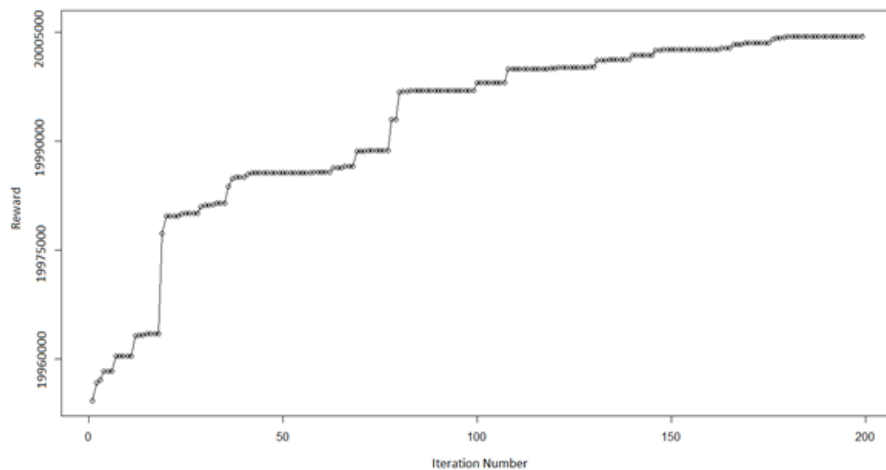
$$Q(s', a') - Q(s, a)$$

۸. اقدام a را اجرا کن.

۹. به روزرسانی مجموعه حالات $(S(t))$

۱۰. پایان

نمودار زیر پیشرفت فرایند یادگیری الگوریتم یادگیری تقویت شده را نشان می‌دهد:

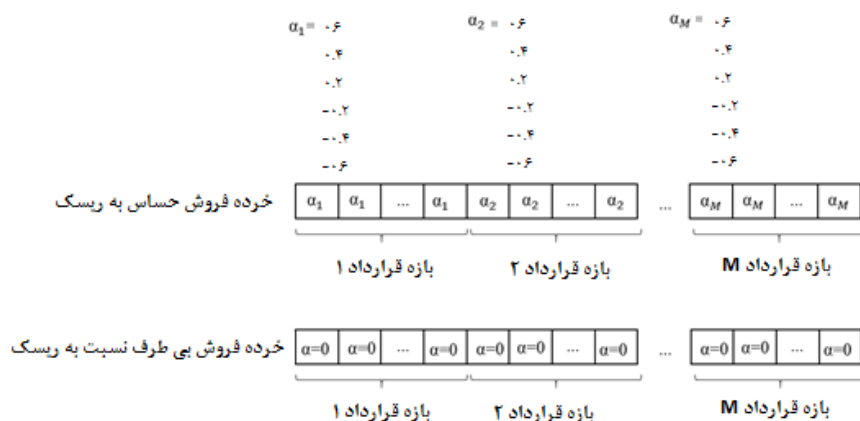


شکل ۵ - پیشرفت فرایند یادگیری در الگوریتم یادگیری تقویت شده
(با هدف افزایش ماکزیمم سازی VaR)

از آنجا که میزان تقاضا از پیش مشخص نیست، فرض شده است که خرده‌فروش بی‌طرف نسبت به ریسک میزان سفارش خود را بر اساس توزیع $N(\mu_i, \sigma_i)$ و خرده‌فروش حساس به ریسک میزان سفارش خود را بر اساس توزیع $N((1+\alpha_{i,t})\mu_i, (1+\alpha_{i,t})\sigma_i)$ تعیین می‌کند. به عبارت بهتر می‌توان گفت که خرده‌فروش بی‌طرف نسبت به ریسک بر اساس $\alpha_{i,t} = 0$ عمل می‌کند.

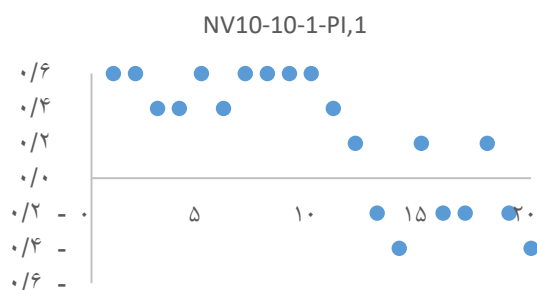
بنابراین $\alpha_{i,t}$ یک متغیر تصمیم است به گونه‌ای که: $\{-0.6, -0.4, -0.2, 0.2, 0.4, 0.6\}$
 $\alpha_{i,t} \in$

۲۴۰ تحلیل ریسک با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی شبیه‌سازی



شکل ۶- آرایه نشان دهنده متغیر تصمیم میزان سفارش در ابتدای هر بازه قرارداد

در حالتی که ۱۰ خرده فروش و ۱۰ تأمین کننده در مسئله وجود داشته باشد و خرده فروش‌ها قادر باشند هم از امکان رزرو ظرفیت استفاده کنند و هم از بازار آزاد مسئله را تحت عنوان NV10-10-1 نام گذاری کرده ایم.



شکل ۷- ریسک‌پذیری خرده‌فروش حساس به ریسک در شرایط جواب بهینه و میانگین جواب‌های به‌دست آمده از الگوریتم یادگیری تقویت شده

نتایج نشان می‌دهد که افزایش تغییرات تقاضا و اختلال در تأمین باعث می‌شود خرده فروش رفتار ریسک‌گريزانه‌تری نشان دهد.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به تبیین کاربرد شبیه‌سازی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی شبیه‌سازی در تحلیل ریسک در زنجیره تأمین پرداختیم. به منظور تحلیل ریسک نیازمند روش‌های کمی سازی ریسک هستیم که در این پژوهش از دو شاخص متداول برای کمی‌سازی ریسک استفاده شد. در این پژوهش از الگوریتم یادگیری تقویت شده مبتنی بر شبیه‌سازی عامل بنیان به عنوان روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی در یک مسئله سفارش دهی در یک زنجیره تأمین دارای عدم قطعیت استفاده شد. در این مثال خرده فروش برای سفارش دهی می‌تواند ریسک‌پذیر، ریسک‌گریز یا بی تفاوت نسبت به ریسک باشد. نتایج تحلیل نشان داد که افزایش تغییرات تقاضا و اختلال در تأمین باعث می‌شود خرده فروش رفتار ریسک‌گریزانه‌تری نشان دهد. به منظور پیشنهاد برای مطالعات آتی، به کارگیری روشهای تحقیق در عملیات نرم پیشنهاد می‌شود.

منابع

- Aqlan, F., and Lam, S.S. (2016) A Fuzzy-based Integrated, Framework for Supply Chain Risk Assessment, *International Journal of Production Economics*, 161, pp. 54–63.
- Beamon, B.M. (1998) Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods, *International Journal of Production Economics*, 55, pp. 281-294.
- Brintrup, A. (2010), Behaviour Adaptation in the Multi-agent, Multi-objective and Multi-role Supply Chain, *Computers in Industry*, 61 (7), pp. 636–645.
- Chen, X., Ong, Y.S., Tan, P.S., Zhang, N., and Li, Z. (2013), Agent-Based Modeling and Simulation for Supply Chain Risk Management – A Survey of the State-of the-Art, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1341-1358.
- Chopra, S., and Mendl, P. (2013), *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*, Fifth edition, Pearson, USA.
- Claypool, E., Norman, B.A., and Needy, K.L. (2014) Modeling Risk in A Design for Supply Chain Problem, *Computers & Industrial Engineering* 78, pp.44–54.

- Giannakis, M., and Louis M. (2011) A Multi-agent based Framework for Supply Chain Risk Management, *Journal of Purchasing & Supply Management*, 17, pp. 23–31.
- Goh, M., Lim, J.Y.S., and Meng, F. (2007) A Stochastic Model for Risk Management in Global Supply Chain Networks, *European Journal of Operational Research*, 182, pp.164–173.
- Huang J., Song J. (2018) Optimal inventory control with sequential online auction in agriculture supply chain: an agent-based simulation optimisation approach, *International Journal of Production Research*, 56(6), pp. 2322-2338.
- Hull, J.C., (2015) Risk Management and Financial Institutions, Wiley financial series, Fourth edition, New Jersey, USA.
- Hull, J.C., (2017) Fundamentals of Futures and Options Markets , Pearson, Eighth edition, Essex, England.
- Keskin, B.B., Melouk, S.H., and Meyer I.L. (2010) A Simulation-optimization Approach for Integrated Sourcing and Inventory Decisions, *Computers and Operations Research*, 37 (9), pp. 1648–1661.
- Koo, L.Y., Adhitya, A., Srinivasan, R., and Karimi, I.A., (2008) Decision Support for Integrated Refinery Supply Chains, *Computers and Chemical Engineering*, 32 (11) pp. 2787–2800.
- Kull, T., and Closs, D., (2008) The Risk of Second-tier Supplier Failures in Serial Supply Chains: Implications for Order Policies and Distributor Autonomy, *European Journal of Operational Research*, 186 (3), pp. 1158–1174.
- Mangla, S.K., Kumar, P., Kumar, and Barua, M. (2014) Monte Carlo Simulation Based Approach to Manage Risks in Operational Networks in Green Supply Chain, *Procedia Engineering*, 97, pp. 2186 – 2194.
- Pan, A., Leung, S.Y.S., Moon, K.L., and Yeung, K.W. (2009) Optimal Reorder Decision-making in the Agent-based Apparel Supply Chain, *Expert Systems with Applications*, 36 (4) pp. 8571–8581.
- Prasanna, V. S., and Kumanan S., (2011) Multi-objective Supply Chain Sourcing Strategy Design Under Risk Using PSO and Simulation, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61 (1-4), pp. 325–337.
- Sadeghi, J., Sadeghi S., and Niaki S.T.A. (2014) A Hybrid Vendor Managed Inventory and Redundancy Allocation Optimization Problem in Supply Chain Management: an NSGA-II with Tuned Parameters, *Computers and Operations Research*, 41, pp. 53–64.

- Salehi Sadghiani, N., Torabi, S.A., and Sahebjamnia, N. (2015) Retail Supply Chain Network Design Under Operational and Disruption Risks, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, pp. 95-114.
- Schmitt, A.J., and Singh, M. (2009) Quantifying Supply Chain Disruption Risk Using Monte Carlo and Discrete-event Simulation, *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, Michigan USA, pp. 1119-1131.
- Singhal, P., Agarwal, G., and Mittal, M.L. (2011) Supply Chain Risk Management: Review, Classification and Future Research Directions, *International Journal of Business Science and Applied Management*, 6(3), pp. 15-42.
- Sinha, A.K., Aditya H.K., Tiwari M.K., and Chan F.T.S. (2011) Agent Oriented Petroleum Supply Chain Coordination: Co-evolutionary Particle Swarm Optimization based Approach, *Expert Systems with Applications*, 38 (5) pp. 6132-6145.
- Tabrizi, B.H., and Razmi, J. (2013) Introducing A Mixed-integer Non-linear Fuzzy Model for Risk Management in Designing Supply Chain Networks, *Journal of Manufacturing Systems*, 32, pp.295- 307
- Taleizadeh, A.A., Niaki, S.T.A., Shafii, N., Meibodi, R.G., and Jabbarzadeh, A. (2010), A Particle Swarm Optimization Approach for Constraint Joint Single Buyer-Single Vendor Inventory Problem with Changeable Leadtime and (r,Q) Policy in Supply Chain, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51 (9-12) pp. 1209-1223.
- Noordhoek M., Dullaert W., Lai D.S.W., de Leeuw S. (2018) A simulation-optimization approach for a service-constrained multi-echelon distribution network, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 114, pp. 292-311.
- Vilko, J.P.P., and Hallikas, J.M. (2012) Risk Assessment in Multimodal Supply Chains, *International Journal of Production Economics*, 140, pp. 586-595.
- Wu, D.D., Zhang, Y., Wu, D., and Olson, D.L. (2010) Fuzzy Multi-objective Programming for Supplier Selection and Risk Modeling: A Possibility Approach, *European Journal of Operational Research*, 200, pp. 774-787.