

## طراحی الگوی عامل بنیان زنجیره تأمین در استراتژی‌های بهینه مدیریت ریسک و بهبود عملکرد حوزه‌های اقتصادی

سعید قاسمی برقی

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

صادق عابدی\*

استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

رضا رادفر

استاد دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مهران خلج

استادیار دانشکده مهندسی صنایع واحد رباط کریم، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

**چکیده:** هدف از پژوهش حاضر طراحی الگوی عامل بنیان زنجیره تأمین در استراتژی‌های بهینه مدیریت ریسک و بهبود عملکرد حوزه‌های اقتصادی است. در این پژوهش از مدل سازی عامل بنیان یا عامل محور استفاده شده است. برای گردآوری اطلاعات از روش مشاهده میدانی و جهت ورود اطلاعات در مرحله شبیه سازی استفاده شده است. پس از بررسی و دسته بندی ریسک های موجود در سیستم، یک مدل شبیه سازی با استفاده از نرم افزار Anylogic برای مدل سازی تعداد فروش های از دست رفته و تعیین سطح موجودی برای شرکت طراحی می شود. این شبیه سازی از مدل موجودی  $(R, Q)$  استفاده می کند. هنگامی که سطح موجودی کمتر از نقطه ترتیب باشد، ترتیب اندازه دسته ای  $q$  براساس خط مشی موجودی  $(R, Q)$  قرار می گیرد. کل سیستم با ورود تقاضای مشتری ایجاد می شود و با استفاده از نرم افزار Anylogic به مدت ۱۸ هفته، ۲ هفته warm-up و ۲۵ تکرار مدل اجرا می شود. مدل ارائه شده در این تحقیق، اهدافی نظیر کمینه سازی مجموع هزینه های تأمین و تولید (شامل هزینه های مربوط به خرید، حمل و نقل، تولید، تغییر ظرفیت تولیدی و نگهداری موجودی در کارخانه ها) و کمینه سازی امید ریاضی مجموع هزینه های توزیع (شامل هزینه های حمل و نقل، نگهداری و کمبود موجودی) را دنبال می کنند. پس از اجرای سناریوهای معرفی شده، مشخص شد که در همه سناریوها تقریباً هزینه کل تولید - توزیع یکسان بود اما در سناریوهایی که هزینه های کمبود پایین تری داشتند میزان سود بیشتری در طول زنجیره تأمین پایدار ایجاد شد. همچنین تغییر پذیری کمبودها از یک نقطه مشتری به نقطه دیگر و یا از یک خانواده محصول به خانواده دیگر کمتر رخ داده است و این موجب افزایش رضایتمندی مشتریان در طول زنجیره تأمین پایدار شده است. همچنین با تحمیل یک حد بالای مجاز برای ریسک های اشی از انتشار گازهای گلخانه ای، سود حاشیه ای با شیب تندی کاهش می یابد. سپس در ادامه به یک حالت تقریباً پایدار می رسد که در این حالت هرچقدر محدودیت مربوطه تنگ تر می گردد سود حاشیه ای و هزینه حمل و نقل با شیب تقریباً ثابتی به تدریج کاهش می یابد.

**واژگان کلیدی:** مدل سازی عامل بنیان، زنجیره تأمین، مدیریت ریسک، بهبود عملکرد اقتصادی

## ۱- مقدمه

در شرایط پیچیده، جهانی و رقابتی فزاینده امروز، شرکت‌ها مدیریت زنجیره تأمین را عاملی اصلی برای دستیابی به سودآوری، کارایی و پایداری بهتر می‌دانند (میرزایی و همکاران، ۱۴۰۱). امروزه مدیریت زنجیره تأمین به دلیل جهانی شدن بازارهای کسب و کار، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. با افزایش پیچیدگی، آسیب‌پذیری و ریسک موجود در زنجیره افزایش می‌یابد که نتیجه آن افزایش وقفه در تولید یا ارائه خدمت به مشتریان است (Nunes et al., 2020). این روند، به‌کارگیری روش‌های نوین مدیریت ریسک را ضروری می‌سازد.

فقدان فرایندهای قوی برای شناسایی و مدیریت موفقیت‌آمیز خطرات و ریسک‌های زنجیره تأمین است که دلیل به وجود آمدن آن ارتباطات و پیچیدگی‌های بیشتر در سطح زنجیره تأمین در سراسر دنیا است (Valinejad & Rahmani, 2018). این افزایش پیچیدگی، نقاط شکست بالقوه بیشتر و سطح بالاتری از خطرات و ریسک‌ها را به همراه دارد. با این وجود، پیشرفت در رفع این خطرات و ریسک‌ها کند بوده است. زنجیره تأمین در دهه‌های اخیر با هدف افزایش تولید، کاهش هزینه و برآوردن تقاضا به سرعت گسترده یافته است (Baryannis et al., 2019). پیچیدگی رو به افزایش زنجیره تأمین، مانع شفافیت و متعاقب آن موجب کاهش کنترل بر فرایندها می‌شود (Zekhnini et al., 2020). اختلالات به وجود آمده در زنجیره‌های تأمین حاکی از آن است که رویداد ریسک در یک نقطه از زنجیره تأمین زمانی که ریسک به طور مناسب کنترل نشده است بر دیگر اعضای زنجیره تأثیر می‌گذارد (Fu & Zhu, 2019). پایداری سیستم به طور کامل وابسته به قابلیت سیستم برای سازگاری و انطباق، تغییر و تحول و پاسخگویی به محیط است و از آنجا که محیط به نوبه خود همواره در حال تغییر است، این فرایند

سازگاری و انطباق سیستم باید یک فرایند پویا و حساس باشد.

پایداری، دستیابی استراتژیک و تلفیق اهداف اجتماعی، محیطی و اقتصادی سازمان از طریق هماهنگی سیستماتیک فرایندهای تجاری درون سازمان اصلی برای بهبود عملکرد اقتصاد بلندمدت یک شرکت و شبکه ارزش شرکت است (Yang et al., 2019). با این تفاسیر استراتژی پایداری باید سطح عدم قطعیت آینده را در نظر بگیرد؛ از این‌رو، تصمیم‌گیری در مورد ریسک‌ها ممکن است در محیط‌های طبیعی و اجتماعی مؤثر باشد. علاوه بر آن، هزینه‌های سرمایه‌گذاری را که نیاز به ایجاد زنجیره تأمین پایدارتر دارد، بیشتر می‌کند (Koberg & Longoni, 2019). در نتیجه، شناسایی ریسک‌های زنجیره تأمین ناشی از پایداری، ارزیابی تأثیر آن‌ها و توسعه ابزارهای مدیریت ریسک در حال تبدیل شدن به مسائل مهم برای مدیران زنجیره تأمین است (Chu et al., 2020).

مدل‌سازی مبتنی بر عامل، یک الگوی مدل‌سازی به نسبت جدید محاسباتی و یک تکنیک قدرتمند مدل‌سازی شبیه‌سازی برای سیستم‌های پیچیده دینامیکی است که طی چند سال گذشته در مناطق مختلفی از جمله شبیه‌سازی بازار و شبیه‌سازی جریان اجرا شده است (Heppenstall et al., 2021).

شبیه‌سازی تلاشی برای تقلید از زندگی واقعی یا یک موقعیت فرضی است. ایجاد یک مدل شبیه‌سازی موفق می‌تواند از افزایش کارایی لجستیکی پشتیبانی کند و اغلب منجر به برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌تری می‌شود (Tseng & Son Nguyen, 2020). مدل‌سازی عامل‌بنیان، یک الگوی شبیه‌سازی محاسباتی متشکل از اشخاص مستقل (عوامل) است که با یکدیگر و محیط آن‌ها تعامل برقرار می‌کنند (Miller & Page, 2007). مدل‌سازی عامل‌بنیان قادر است انواع سیستم‌هایی را که در مشکلات پیچیده سازمان یافته وجود دارد، نشان دهد. آن‌ها می‌توانند نشان دهند که چگونه یک

سطح از انتزاع (عوامل منفرد) می‌تواند از طریق فعل و انفعالاتی که در سیستم رخ می‌دهد، سطح جدیدی از انتزاع ایجاد کند (Ferber, 1999). توانایی مدل‌سازی عامل‌بنیان در تجزیه و تحلیل مشکلات پیچیده سازمان یافته و به تازگی توسعه نسبی و استفاده گسترده از آن، این مدل را به ابزاری برای تجزیه و تحلیل غنی از فرصت‌ها و چالش‌های تحقیقاتی تبدیل کرده است (Kagho et al., 2020). علاوه بر این، مدل‌سازی عامل‌بنیان به درک سیستم‌های پیچیده و غیرخطی کمک می‌کند. از این رو در پژوهش حاضر به طراحی الگوی عامل‌بنیان زنجیره تامین در استراتژی‌های بهینه مدیریت ریسک و بهبود عملکرد حوزه‌های اقتصادی پرداخته می‌شود.

## ۲- پیشینه پژوهش

### الف) پژوهش‌های خارجی

دیوا گانش و کالپانا<sup>۱</sup> (۲۰۲۲) در پژوهش خود به با استفاده از رویکرد هوش مصنوعی به بررسی و مقایسه این تکنیک با رویکردهای مدیریت ریسک زنجیره تامین در مقالات منتشر شده در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ در سه پایگاه داده علمی پرداختند.

کونگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با استفاده از رویکرد سیستم دینامیک رفتارهای دینامیکی و سنتز کنترل سیستم، زنجیره تامین را با استفاده از مدل تولید- توزیع سه مرحله‌ای مورد بررسی قرار دادند. با بررسی دینامیک سیستم روی تحلیل سری‌های زمانی، مشخص شد که عملکرد سیستم به شدت تحت تأثیر عدم قطعیت‌های مدل و تقاضای آشفته از اثر شلاق چرمی آسیب دیده است. در نهایت، مشخص شد که رویکرد ارائه شده می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا سیستم مدیریت زنجیره

تأمین کارآمدتری را در برابر اختلالات شدید بازار توسعه دهد.

کولون<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله خود یک مدل مبتنی بر عامل را در یک زنجیره تامین حمل و نقل برای کشف یک مسیر حیاتی که از طریق آن یک تأثیر فاجعه بار بر اقتصاد ایجاد می‌کند را فرموله کردند و نشان دادند که زیان‌های اقتصادی ناشی از اختلالات حمل و نقل به طور غیرخطی با طول مدت اختلالات افزایش می‌یابد و با ترکیب مدل‌سازی اقتصادی و حمل و نقل، می‌توانیم طیف وسیع‌تری از مداخلات را در نظر گرفت.

در مقاله آلوی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۱) مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه مکان‌یابی، موجودی و مسیریابی در شبکه زنجیره تامین دو سطحی سبز تحت شرایط همکاری و عدم همکاری مورد بررسی قرار گرفته است. زاولا<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی پیشینه پژوهش‌ها، تعداد ۲۹۲ مقاله منتشر شده در مجله‌های معتبر بین‌المللی را طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ بررسی، طبقه‌بندی و مقایسه کردند. توسعه یک چارچوب مفهومی برای ادغام مؤلفه‌های بنیادین در تجزیه و تحلیل، سنجش و مدیریت تاب‌آوری جهت افزایش پایداری زنجیره تامین، حاصل کار آنان بود.

مزوگویی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی، ضمن تهیه فهرستی از مخاطره‌های عمومی و خاص در زنجیره، یک روش جایگزینی برای محاسبه شماره اولویت ریسک ۵ با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره در چارچوب روش تجزیه و تحلیل بحرانیت حالت شکست و اثرگذاری‌های آن و نیز روش ارزیابی جدیدی برای عامل وابستگی بین ریسک‌ها با استفاده از فرایند سلسله مراتبی و آزمایشگاه ارزیابی و تصمیم‌گیری فازی پیشنهاد دادند. نتایج به دست آمده

4- Aloui  
5- Zavala  
6- Mzougui

1- Deiva Ganesh & Kalpana  
2- Kong  
3- Colon

از بررسی موردی آنان در صنعت خودرو، حاکی از اثربخش بودن و ارزشمند بودن رویکرد جدید بوده است.

حبیبی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود ادعا کرده‌اند که همکاری اعضای زنجیره تأمین باعث کاهش هزینه‌های آن‌ها می‌شود. در این مقاله تمرکز اصلی آن‌ها روی مسئله مکان‌یابی هاب در دو زنجیره توزیع مختلف بوده است.

شوچنکو<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) در پژوهش خود دریافت که شبیه‌سازی مبتنی بر عامل شرایطی را نشان می‌دهد که شرکت‌ها باید به روابط رابطه‌ای و سهامداران قدرتمند اعتماد کنند تا ریسک‌های تأمین‌کننده را که با آن‌ها روبه‌رو هستند، کاهش دهند.

#### ب) پژوهش‌های داخلی

قربانی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به ارائه مدلی برای عوامل مؤثر بر عجزین شدن شغلی کارکنان به منظور بهبود عملکرد و بهره‌وری آنان در واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی استان تهران پرداخته‌اند. با توجه به یافته‌های پژوهش، سبک رهبری، استرس شغلی، عدالت درک‌شده، جو سازمانی، سرمایه روانی، منابع سازمانی، سبک‌های جدید اداره کسب و کار، یادگیری سازمانی و در نهایت تعاملات اجتماعی از عوامل مؤثر بر عجزین شدن شغلی کارکنان هستند که مدیران می‌توانند به کمک آن‌ها عملکرد و بهره‌وری کارکنان دانشگاه آزاد اسلامی استان تهران را افزایش دهند.

رحمانی گل افشانی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود با هدف بهبود عملکرد پایداری سازمان، ترکیب‌های مختلف راهبردهای زنجیره تأمین و کسب و کار شرکت‌های حوزه صنایع غذایی ایران را با استفاده از نظریه پیکربندی و رویکرد استقرایی، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که راهبرد پاسخگویی زنجیره تأمین و راهبرد پیشرو کسب‌وکار منجر به

عملکرد پایداری مناسب‌تری نسبت به سایر ترکیب‌ها در شرکت‌های حوزه صنایع غذایی ایران، شده است.

کریمی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود به ارائه مدلی تجربی برای ادراک کارکنان از هوش مصنوعی در کار با استفاده از فن داده‌بنیاد پرداخته‌اند. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی، از لحاظ روش‌شناسی در دسته پژوهش‌های اکتشافی و بر حسب داده‌های کیفی است. ابزار مورد استفاده نیز مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با اساتید و مدیران اداری دانشگاه علوم انتظامی امین است که تعداد آن‌ها با استفاده از روش نمونه‌گیری گلوله برفی تا اشباع نظری، ۱۲ نفر است. نتایج نشان می‌دهد احساس کارکنان نسبت به جایگزینی شغلشان با فناوری‌های هوشمند، چگونه است و چطور می‌توانند پیشرفت شغلی و دانش فناوری را در پرتو هوش مصنوعی، درک و استفاده کنند.

پزشکی‌فر و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود به تدوین و معرفی الگوی اسلامی ارزشیابی عملکرد کارکنان پرداخته‌اند. این پژوهش به لحاظ هدف، کاربردی با ماهیت اکتشافی و از جهت روش توصیفی-پیمایشی است. داده‌ها با استفاده از ابزار پرسشنامه گردآوری شد و بر اساس نظر خبرگان، شاخص‌ها به روش نظریه داده‌بنیاد احصاء و دسته‌بندی شدند که در نهایت به روش معادله‌های ساختاری تجزیه و تحلیل شد. یافته‌های پژوهش، نشان می‌دهد که بین ابعاد مکتبی و اعتقادی با ابعاد ارزشی، ارتباط مثبت و معنی‌دار وجود دارد. ابعاد ارزشی نیز ارتباط مثبت و معنی‌داری با ابعاد رفتاری و شخصیتی دارد. همچنین ارتباط مثبت و معنی‌دار بین ابعاد رفتاری و شخصیتی با ابعاد کارکنان شایسته و صالح برقرار بوده و ابعاد تعلیم و تربیت انسانی نقش مثبت و معنی‌داری در ابعاد رفتاری و شخصیتی دارد و مدیران می‌توانند با توجه به الگوهای فرهنگی، ارزشی و دینی کارکنان و بهره‌گیری از اصول و شاخص‌های دین مبین اسلام در قالب الگوی

اسلامی ارزشیابی عملکرد کارکنان، زمینه بهبود عملکرد کارکنان و به تبع آن سازمان را فراهم کنند.

رجب پور و فتحي (۱۴۰۰) در پژوهش خود به بررسی تأثیر آموزش مبتنی بر بازی‌وارسازی بر عملکرد کارکنان در شرکت گاز یزد پرداخته‌اند. این پژوهش براساس الگوواره اثبات‌گرایانه، هدف کاربردی و براساس روش پژوهش شبه آزمایشی بوده که از نوع پیش‌آزمون و پس‌آزمون با یک گروه است. نتایج نشان می‌دهد که آموزش با استفاده از بازی، عملکرد کارکنان نسبت به آموزش بدون بازی را افزایش داده و تفاوت بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون معنادار بوده است. به عبارت دیگر، بازی‌وارسازی باعث افزایش عملکرد کارکنان در شرکت گاز یزد شده است.

صالحی (۱۳۹۹) در پژوهش خود ابتدا یک مدل ریاضی با تأکید بر کاهش هزینه با در نظر گرفتن پارامتر اختلال روی زنجیره طراحی کرده، سپس از طریق تکنیک دیمتل فازی روابط بین اختلالات فرموله شده و مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل کرد. در این تحقیق به بررسی تأثیر چهار اختلال روی هزینه‌های زنجیره تأمین پرداخته شده و اختلال‌ها براساس هزینه‌هایی که به زنجیره اعمال می‌کنند رتبه‌بندی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مهم‌ترین اختلالات زنجیره تأمین به ترتیب شامل اختلال مربوط به بلایای طبیعی، تأمین، حمل و نقل و تقاضا است.

اصفهانی و همکاران (۱۳۹۹) به شناسایی مسائل پایداری حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی زنجیره تأمین و مدیریت ریسک در صنایع پرداختند. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که شیوع زباله‌های جامد، مایع و گاز در سرتاسر زنجیره‌های تأمین و ایجاد ریسک‌ها و آسیب‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیطی در صنایع بر ضرورت تلاش جهت یافتن راه‌حل‌هایی برای ارائه هرچه بهتر خدمات تأکید دارد.

جاویدی عبدالله‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) با ایجاد یک مدل عامل‌بنیان از یک سیستم اقتصادی غیرپونزی و مقایسه آن با یک سیستم اقتصادی پونزی، ضمن بررسی کارایی هر سیستم، اثرات و پیامدهای برخی رفتارهای اقتصادی را بررسی کرده‌اند. در مقایسه دو الگوی بیان شده، نتایج بیانگر این است که الگوی غیرپونزی شاخص‌های توسعه انسانی و رفاه اجتماعی بهتری را ارائه می‌دهد و در یک سیستم اقتصادی با الگوی غیرپونزی، افراد زندگی طولانی‌تری نسبت به یک سیستم با الگوی پونزی داشته و از شاخص‌های بهتر رفاه اقتصادی نظیر ثروت، درآمد و دانش بهره‌مند هستند.

### ۳- مبانی نظری

امروزه سازمان‌های مختلف برای پاسخگویی به تقاضای بازار و تأمین نیازهای مشتریان به برقراری همکاری با سایر عناصر زنجیره تأمین نیازمند هستند. عملکرد یک سازمان به وسیله فعالیت‌های سایر اعضای زنجیره تأمین، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. رقابت میان شرکت‌های واحد در عصر حاضر، جای خود را به رقابت میان زنجیره‌های تأمین داده است. در واقع، شرکت‌ها باید علاوه بر تمرکز بر منابع فعالیت‌های داخل شرکت خود به برقراری یکپارچگی با تأمین‌کنندگان و مشتریان نیز توجه داشته باشند و عملکرد زنجیره تأمین خود را مورد بررسی قرار دهند.

سنجش عملکرد زنجیره تأمین شرکت‌ها کار سخت و پیچیده‌ای است. بین انتظارات مشتریان و برداشت آن‌ها از عملکرد تأمین‌کنندگان، شکاف وجود دارد. می‌توان این‌گونه بیان کرد که سنجش عملکرد زنجیره تأمین برای شرکت‌ها حیاتی است تا اثربخشی زنجیره تأمین و کارایی را بهبود دهند (احمدی اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۸).

بخش مهمی از مدیریت زنجیره تأمین، استراتژی‌هایی است که به نحوه مدیریت شرکت در

زمینه تأمین منابع محصولات، توانایی برنامه‌ریزی، تبدیل مواد اولیه، مدیریت تقاضا، تحویل محصولات و خدمات و ارتباط با بازیگران زنجیره تأمین مربوط می‌شود (Zimmerman, 2020). زنجیره تأمین با هدف برآوردن نیازهای مشتری تا حد ممکن است.

مدل‌های عامل‌بنیان ارتباط مستقیمی با سیستم‌های انطباقی پیچیده دارند و مفهوم ذاتی آن تعریف سیستم‌ها از دیدگاه جزء به کل است؛ برخلاف پویایی سیستم‌ها که دیدگاه کل بجزء دارند. سیستم‌های پیچیده همیشه درگیر این مسئله بوده‌اند که چگونه انطباقی رفتارهای پیچیده از سوی عوامل خودمختار در طبیعت بروز می‌کند. علاوه بر این، مدل‌سازی عامل‌بنیان امکان مدل‌سازی رفتار واقعی افراد را فراهم می‌آورد. حال آنکه اشکال سنتی مدل‌سازی براساس قواعد و اصول بهینه‌سازی رفتارها است.

مدل‌سازی عامل‌بنیان، رویکرد جدید به مدل‌سازی نظام‌هایی است که از عامل‌های مستقل در تعامل با هم تشکیل شده‌اند و بر این فرض بنا نهاده شده است که رفتار عامل‌های در تعامل با یکدیگر را که در مقابل یک واقعه یا تصمیم قرار گرفته‌اند، می‌توان به وسیله مجموعه‌ای قوانین شبیه‌سازی کرد.

مدل عامل‌بنیان یکی از انواع مدل‌های محاسباتی برای شبیه‌سازی کنش‌ها و تعاملات عوامل (افراد یا موجودیت‌های جمعی همانند گروه‌ها و سازمان‌ها) درون سیستم است که با هدف ارزیابی آثار هر عامل در سیستم، هر عامل در سایر عوامل و سنجش عملکرد کلی سیستم طراحی می‌شود.

در نهایت می‌توان گفت که مدل‌سازی عامل‌بنیان یک پارادایم جدید مدل‌سازی است و یکی از جذاب‌ترین پیشرفت‌ها در مدل‌سازی از زمان پیدایش پایگاه‌های داده محسوب می‌شود. تا جایی که ادعا می‌شود

مدل‌سازی عامل‌بنیان می‌تواند طرز تفکر ما را نسبت به تبیین پدیده‌های اجتماعی تغییر دهد (روشنی، ۱۳۹۷). مدیریت ریسک به چند دلیل، مانند: افزایش رقابت جهانی، افزایش فشار قیمت، افزایش انتظارات مشتری و افزایش پیچیدگی زمانی به عنوان یک چالش حیاتی برای مدیران زنجیره تأمین است. با توجه به پیچیدگی فزاینده و رابطه متقابل زنجیره‌های تأمین مدرن، نوع و ماهیت تحولات ناپایدار و تأثیر یک اقدام، پیش‌بینی دشوار و یا حتی غیرممکن شده است. اولین وظیفه هر کسب و کاری حفظ بقا است. اصل اساسی در کسب و کار بیشینه کردن سود نیست، بلکه اجتناب از زیان است. تمامی شرکت‌ها و کارخانه‌ها با هدف ماندگاری و سود تأسیس می‌شوند، اما تمام سازمان‌ها در این راستا موفق نیستند. شناسایی نقاط و فعالیت‌هایی که می‌توان خسارتی را به سیستم تحمیل کرده و یا کارکنان را با خطر مواجه سازند و بقای سازمان را تهدید کنند، امری حیاتی است (جعفرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷).

ریسک زنجیره تأمین یک شرکت را از چند طریق می‌توان تعریف کرد؛ با این وجود یک موضوع مشترک در تعاریف وجود دارد و آن این است که وقایع احتمالی که منجر به اختلال در منابع اصلی تأمین شرکت، عملیات داخلی و تحویل می‌شود که زنجیره تأمین شرکت را در معرض خطر قرار می‌دهد (Jajja, 2018). گیانکیس و پاپاپولوس<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) دسته‌بندی‌های مختلفی را برای مدیریت ریسک‌های پایداری در زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند. این ریسک‌ها بسیار مهم هستند؛ زیرا می‌توانند روی سازمان تأثیر گذاشته و موجب کاهش درآمد و رقابت‌پذیری سازمان شوند. برای مقابله با این ریسک‌ها، انتخاب استراتژیک سپس تخصیص منابع و توسعه قابلیت‌ها به ترتیب انجام خواهند گرفت.

سیستم‌های مدیریت، حداقل شامل شناسایی ریسک، اولویت‌بندی ریسک و مدیریت ریسک هستند. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های موجود در زنجیره تأمین، مدیریت ریسک زنجیره تأمین است. در زنجیره تأمین دو نوع ریسک می‌توان تعریف کرد: ۱- ریسک عملیاتی و ۲- خطرات مخرب. ریسک عملیاتی در مقایسه با ریسک مخرب تأثیر کمتری دارد، اما عدم توجه به آن، می‌تواند عملکرد شرکت را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد، چراکه برای شرکت‌ها و زنجیره‌های تأمین اقدام در برابر خطرات عملیاتی بسیار مهم هستند. ریسک عملیاتی شامل خطرات مرتبط با افراد، فرایندها، ماشین‌آلات و رویدادهای خارجی است و از بین بردن آن‌ها همیشه امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین، در این موارد شرکت‌ها باید برای کاهش آن‌ها اقدام کنند. سیستم مدیریت ریسک عملیاتی حداقل شامل مراحل شناسایی، اولویت‌بندی و مدیریت است.

مدیریت ریسک زنجیره تأمین شامل چهار مرحله است: شناسایی ریسک، اولویت‌بندی ریسک، دستورالعمل‌های کیفیت حوزه قضایی مدیریت ریسک و شرایط ویژه برای ذخیره و توزیع انواع مختلف محصولات. شبکه‌های پیچیده زنجیره تأمین جهانی احتمال تأثیر منفی اختلالات احتمالی زنجیره تأمین بر عملکرد شرکت را افزایش می‌دهند (Gómez & España, 2020).

#### ۴- روش پژوهش

روش پژوهش مبتنی بر تجزیه و تحلیل ریاضی است که از طریق برنامه‌نویسی کامپیوتری انجام می‌پذیرد. مدل‌های توسعه داده شده به صورت مسائل برنامه‌ریزی ریاضی هستند. در این پژوهش از مدل‌سازی عامل‌بنیان یا عامل‌محور استفاده شده است که در واقع در این روش عامل‌ها نقش اساسی را در مدل ایفا می‌کنند. در این نوع مدل‌سازی هر یک از عوامل دنیای واقعی به صورت موجودیت‌های تصمیم‌گیر و کاملاً

خودکار به نام عامل مدل می‌شوند. در این پژوهش سیستم زنجیره تأمین به زیرسیستم‌هایی بر مبنای عملیات، ساخت، منبع‌یابی و تحویل و نیز بر مبنای جریان مواد، پول و اطلاعات تقسیم می‌شود. با توجه به وجود ۴ نوع پاسخ یک زنجیره در مقابل ریسک‌ها که شامل: ۱- اجتناب از ریسک، ۲- کاهش ریسک، ۳- انتقال ریسک و ۴- پذیرش ریسک است و با انتخاب پاسخ کاهش ریسک، مدلی مبتنی بر عامل برای انتخاب مناسب‌ترین استراتژی کاهش ریسک ارائه شده است.

در پژوهش حاضر برای گردآوری اطلاعات از روش مشاهده میدانی و جهت ورود اطلاعات در مرحله شبیه‌سازی استفاده شده است. پس از بررسی و دسته‌بندی ریسک‌های موجود در سیستم، یک مدل شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Anylogic برای مدل‌سازی تعداد فروش‌های از دست رفته و تعیین سطح موجودی برای شرکت طراحی می‌شود. این شبیه‌سازی از مدل موجودی (R, Q) استفاده می‌کند. هنگامی که سطح موجودی کمتر از نقطه ترتیب باشد، ترتیب اندازه دسته‌ای q بر اساس خط‌مشی موجودی (R, Q) قرار می‌گیرد. کل سیستم با ورود تقاضای مشتری ایجاد می‌شود و با استفاده از نرم‌افزار Anylogic به مدت ۱۸ هفته، ۲ هفته warm-up و ۲۵ تکرار مدل اجرا می‌شود.

سطح موجودی برابر است با تعداد نقطه سفارش مجدد (ROP). نقطه سفارش مجدد از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن متغیرهای ما زمان و تقاضا هستند:

(۱)

$$R = (L * D) + \text{Safety stock}$$

$$\text{Safety stock} = z \sigma DLT$$

$$\sigma DLT = L \sigma D2 + d2 \sigma LT2$$

در رابطه (۱)، R نقطه سفارش مجدد، L میانگین زمان انتظار، D میانگین تقاضا، Z تعداد انحرافات استاندارد مورد نیاز برای دستیابی به سطح پاسخ‌دهی

|                                                                                                                                         |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تعداد کارکنان تولیدی اخراج شده در کارخانه $t$ در دوره $t$                                                                               | $F_{jt}$              | چرخه، $\sigma D$ انحراف معیار استاندارد تقاضا و $\sigma DLT$ انحراف معیار استاندارد تقاضا در طول زمان انتظار است. آن تقاضاهایی که در اوایل سیستم برآورده می‌شوند از سطح موجودی کسر می‌شوند. بنابراین، به وضوح قابل درک است که سطح موجودی فعلی کمتر از موجودی اولیه خواهد بود.                                                                                                                      |
| تعداد کارکنان تولیدی استخدام شده در کارخانه $j$ در دوره $t$                                                                             | $H_{jt}$              | از آنجا که $ABC$ دارای یک تأمین‌کننده پشتیبان، تأمین‌کننده $S. A$ است، متغیر کنترل برای انتخاب سیستم بین تأمین‌کننده $E$ و تأمین‌کننده $S. A$ تعریف شده است.                                                                                                                                                                                                                                       |
| سطح موجودی کالای نوع $n$ (1, 2, ..., N) در کارخانه $j$ در انتهای دوره $t$ (1, 2, ..., T)                                                | $I1_{njt}$            | متغیرهای مورد بررسی به شرح زیر هستند:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| سطح موجودی کالای نوع $n$ در نقطه تقاضای $i$ (1, 2, ..., I) در انتهای دوره $t$                                                           | $I2_{nit}$            | * ورودی‌ها                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| تعداد کالایی از نوع $n$ که از تأمین‌کننده $s$ (1, ..., S) به تولیدکننده $j$ با استفاده از وسیله حمل و نقل $g$ در دوره $t$ ارسال می‌شود. | $XQ_{nkjgt}$          | پیش‌بینی تقاضا (برای ۱۸ هفته)، تقاضای واقعی (بر اساس تقاضای مشتریان واقعی دریافت شده از شرکت به مدت ۱ هفته)، $Lead\ Time$ (شامل کلیه واریانس‌ها و حمل و نقل موجودیت‌ها در یک هفته)، نقطه سفارش مجدد (که به عنوان موجودی اولیه در واحد مورد نظر وارد می‌شود)، میانگین تقاضای واقعی (که برای فرمول کمیت در واحد مورد نظر استفاده می‌شود)، هزینه نگهداری (ساعت/تعداد/هفته)، هزینه سفارش، هزینه کمبود. |
| تعداد کالای نوع $n$ که از کارخانه $j$ به نقطه تقاضای $i$ توسط وسیله حمل و نقل $g$ در دوره $t$ ارسال می‌شود.                             | $YQ_{njigt}$          | * خروجی‌ها                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| تعداد کمبود کالای $n$ در نقطه تقاضای $i$ در دوره $t$                                                                                    | $b_{nit}$             | فروش از دست رفته (در واحد مورد نظر)، مقادیر مواد تأمین‌کنندگان، مقدار محصول تولید شده، تقاضای واقعی، مقادیر معیوب در تولید محصول.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| متغیر صفر و یک که مشخص می‌کند آیا کارخانه $j$ در دوره $t$ کالای نوع $n$ را تولید کرده است یا خیر.                                       | $Y_{nit}$             | * پارامترها و متغیرهای مسئله                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| تعداد وسیله حمل و نقل نوع $g$ که برای حمل و نقل بین تأمین‌کننده $k$ و کارخانه $j$ در دوره $t$ استفاده شده است.                          | $XV_{kjgt}$           | تعداد کالای تولید شده نوع $n$ در اوقات عادی در کارخانه $j$ در دوره $t$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| تعداد وسیله حمل و نقل نوع $g$ که برای حمل و نقل بین کارخانه $j$ و نقطه تقاضای $i$ در دوره $t$ استفاده شده است.                          | $YV_{jigt}$           | تعداد کالای تولید شده نوع $n$ در اوقات اضافه کاری در کارخانه $j$ در دوره $t$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| تقاضای کالای $n$ در نقطه تقاضای $i$ در دوره $t$ تحت سناریوی $s$                                                                         | $D_{nit} / D_{nit}^s$ | تعداد کارکنان تولیدی در کارخانه $j$ در دوره $t$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|            |                                                                 |             |                                                                                  |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $CR_{jn}$  | هزینه متغیر تولید محصول نوع n در اوقات عادی در کارخانه j        | $GHG_g$     | میزان انتشار گاز CO2 توسط وسیله حمل و نقل g در واحد مسافت                        |
| $CO_{jn}$  | هزینه متغیر تولید محصول نوع n در اوقات اضافه کاری در کارخانه j  | $GHI_{jt}$  | سطح مجاز انتشار گازهای گلخانه ای در هر دوره توسط کارخانه j                       |
| $PC_{nj}$  | هزینه راه اندازی تولید محصول نوع n در کارخانه j                 | $WT$        | حجم مجاز پسماندهای صنعتی تولید شده توسط هر کارخانه                               |
| $P_{ni}$   | قیمت فروش کالای نوع n در نقطه تقاضای i                          | $wp$        | پسماند تولید شده توسط یک واحد کلای نوع n در کارخانه j                            |
| $SC_j$     | هزینه نیروی کار در کارخانه j                                    | $LT_{nkjg}$ | زمان تدارک برای ارسال کالای نوع n از تأمین کننده k به کارخانه j توسط وسیله حمل g |
| $a_{nj}$   | نیروی کار مورد نیاز برای تولید یک واحد کالای نوع n در کارخانه j | $LT_{njig}$ | زمان تدارک برای ارسال کالای نوع n از کارخانه j به نقطه مشتری i توسط وسیله حمل g  |
| $FC_j$     | هزینه اخراج در کارخانه j                                        | $\pi_{ni}$  | هزینه کمبود محصول n در نقطه تقاضای i                                             |
| $HC_j$     | هزینه استخدام در کارخانه j                                      |             |                                                                                  |
| $CI1_{nj}$ | هزینه نگهداری کالای نوع n در کارخانه j                          |             |                                                                                  |
| $CI2_{ni}$ | هزینه نگهداری کالای نوع n در نقطه تقاضای i                      |             |                                                                                  |
| $\alpha$   | ضریب مجاز اضافه کاری                                            |             |                                                                                  |
| $TV_g$     | هزینه متغیر حمل و نقل وسیله نوع g                               |             |                                                                                  |
| $TF_g$     | هزینه ثابت حمل و نقل وسیله نوع g                                |             |                                                                                  |
| $d1_{kj}$  | فاصله بین تأمین کننده k و کارخانه j                             |             |                                                                                  |
| $d2_{ji}$  | فاصله بین کارخانه j و نقطه مشتری i                              |             |                                                                                  |
| $CM_{nk}$  | قیمت خرید ماده اولیه n از تأمین کننده k                         |             |                                                                                  |
| $CP1_j$    | ظرفیت انبارش کارخانه j                                          |             |                                                                                  |
| $CP2_j$    | ظرفیت انبارش در نقطه مشتری i                                    |             |                                                                                  |
| $CS_{nk}$  | ظرفیت تولید ماده اولیه n توسط تأمین کننده k در هر دوره          |             |                                                                                  |
| $v_n$      | حجم واحد کالای نوع n ( $m^3$ )                                  |             |                                                                                  |
| $V_g$      | حجم بار وسیله حمل و نقل g ( $m^3$ )                             |             |                                                                                  |

(۲)

$$L_{jt}, F_{jt}, H_{jt}, XV_{kjgt}, YV_{jigt} \text{ integer}$$

$$I1_{njt}, I2_{nit}, XQ_{nkjgt}, YQ_{njigt}, XR_{njt}, XO_{njt} \geq 0$$

$$Y_{jt} \in \{0,1\}$$

تابع هدف مدل پیشنهادی، کمینه سازی زیان کل سیستم تولیدی و زنجیره تأمین است و شامل هزینه های نیروی انسانی (حقوق، استخدام و اخراج)، هزینه نگهداری موجودی در کارخانه ها و نقاط مشتری، هزینه های حمل و نقل، هزینه های تولید در وقت عادی، اضافه کاری، هزینه های خرید و هزینه های کمبود که از آن درآمد حاصل از فروش کل، کسر شده است. محدودیت ارائه شده در رابطه (۲) برای یک تابع چند ضابطه ای غیرخطی به منظور تخفیف مقداری در نظر گرفته شده است که به فرم کلی رابطه (۳) است.

(۳)

( $t_m$ ) معرفی می‌شود. همچنین متغیر  $XQ_{nkjgt}$  را به

متغیر جدید نظیر  $XQ_{nkjgt}^m$  تبدیل می‌کنیم که در آن

$$XQ_{nkjgt} = \sum_{m'=1}^{m-1} XQ_{nkjgt}^{m'}$$

فرم خطی معادل برای  $CM(XQ)$  به صورت

رابطه (۵) خواهد بود (برای سهولت از  $CM(XQ)$

بجای  $CM_{nk}(XQ_{nkjgt})$  استفاده شده است).

همچنین محدودیت‌های این رابطه (۶) و (۷)

ارائه شده است.

(۵)

$$L_{jt}, F_{jt}, H_{jt}, XV_{kjgt}, YV_{jigt} \text{ integer}$$

$$I1_{njt}, I2_{nit}, XQ_{nkjgt}, YQ_{njigt}, XR_{njt}, XO_{njt} \geq 0$$

$$Y_{jt} \in \{0,1\}$$

(۶)

s. t.

$$XQ_{m-1}t_{m-1} \leq XQ \leq XQ_m t_{m-1}$$

(۷)

$$\sum_{m'=1}^{m-1} t_{m'} = 1$$

همانطور که در مدل پیشنهادی مشاهده می‌شود

باید عبارت حاصلضرب

$$\sum_{n,k,j,g,t} CM_{nk}(XQ_{nkjgt}).XQ_{nkjgt}$$

مسئله، خطی شود. برای این منظور مراحل ارائه شده

در رابطه‌های (۸) تا (۱۱) باید طی شود.

(۸)

$$\begin{aligned} \Rightarrow \sum_{n,k,j,g,t} CM_{nk}(XQ_{nkjgt}).XQ_{nkjgt} \\ = \sum_{n,k,j,g,t} \sum_{m'=1}^{m-1} [(CM_{nkm'}^{(m')} \\ - r_{nkm'} XQ_{nkm'}^{(m')}) XQ_{nkjgt} \\ + r_{nkm'} XQ_{nkjgt}^2] \end{aligned}$$

$$L_{jt}, F_{jt}, H_{jt}, XV_{kjgt}, YV_{jigt} \text{ integer}$$

$$I1_{njt}, I2_{nit}, XQ_{nkjgt}, YQ_{njigt}, XR_{njt}, XO_{njt} \geq 0$$

$$Y_{jt} \in \{0,1\}$$

در رابطه (۳)، مقدار شیب کاهش قیمت است

وقتی مقدار سفارش بین  $XQ_i$  و  $XQ_{i+1}$  قرار می‌گیرد.

m تعداد سطوح مختلف تخفیف است. از آنجا که تابع

تخفیف و قیمت هر دو متغیر هستند؛ بنابراین، تابع

خرید در مدل پیشنهادی به صورت غیرخطی از درجه

دوم تبدیل می‌شود ( $\sum_{n,k,j,g,t} CM_{nk}(XQ_{nkjgt}).XQ_{nkjgt}$ ).

به منظور بده ست آوردن جواب بهینه در قسمت‌های

بعدی این تابع چند ضابطه‌ای به فرم خطی تبدیل

می‌شود.

رابطه بین تعداد کمبودها و هزینه کمبود به فرم

رابطه (۴) فرموله می‌شود.

(۴)

$$L_{jt}, F_{jt}, H_{jt}, XV_{kjgt}, YV_{jigt} \text{ integer}$$

$$I1_{njt}, I2_{nit}, XQ_{nkjgt}, YQ_{njigt}, XR_{njt}, XO_{njt} \geq 0$$

$$Y_{jt} \in \{0,1\}$$

در محاسبه هزینه کمبود، تعداد کمبود در هزینه

کمبود ضرب می‌شود و چون هزینه کمبود خود تابعی

از تعداد کمبود است، عبارت  $\sum_{n,i,t} \pi_{ni}(B_{nit}).B_{nit}$  یک

عبارت غیر خطی از درجه ۲ خواهد بود که در قسمت

بعد به یک فرم خطی تبدیل می‌شود. در تحقیق حاضر،

یک روش جدید برای خطی‌سازی توابع چند ضابطه‌ای

ارائه شده است. روش پیشنهادی از منظر تعداد

محدودیت‌های کمکی وضعیت مطلوب‌تری دارد. در

ادامه با به کار بردن روش پیشنهادی و استفاده از تکنیک

خطی‌سازی تفکیک‌پذیر، توابع غیرخطی تخفیف و

هزینه کمبود به فرم خطی تبدیل شده‌اند.

به منظور خطی‌سازی تابع چند ضابطه‌ای

$CM_{nk}(XQ_{nkjgt})$ ، m-1 متغیر صفر و یک جدید

خواهد بود.  $S_l$  شیب خطوط است و با استفاده از رابطه (۹)

(۱۳) به دست می‌آید.

(۱۳)

$$s_l = \frac{f(a_{l+1}) - f(a_l)}{a_{l+1} - a_l}$$

همانطور که در رابطه (۱۲) مشخص است، یک عبارت قدر مطلق وجود دارد که باید به فرم خطی تبدیل شود. طبق روش پیشنهادی توسط یو و لی<sup>۲</sup> (۲۰۰۰) و لی و یو<sup>۳</sup> (۱۹۹۹) برای مسائل کمینه‌سازی در دو حالت مختلف افزایشی و کاهشی به صورت زیر عمل می‌کنیم:

الف- هزینه کمبود ( $S_l > S_{l-1}$ )

فرم خطی معادل برای عبارت قدرمطلق در تابع خطی تفکیکی تابع هزینه کمبود که یک تابع افزایشی است، به صورت رابطه (۱۴) با محدودیت رابطه (۵) است.

(۱۴)

$$\begin{aligned} \text{Min}L(f(x)) = & f(a_1) + s_1(x - a_1) \\ & + \sum_{l'=2}^{l-1} (s_{l'} - s_{l'-1})(\xi_{1l'} + x - a_{l'}) \end{aligned}$$

(۱۵)

$$s.t. \quad x - a_l + \xi_{1l} \geq 0, \quad \xi_{1l} \geq 0$$

ب- تابع تخفیف قیمت ( $S_l < S_{l-1}$ )

فرم خطی معادل برای عبارت قدرمطلق در تابع خطی تفکیکی تابع تخفیف قیمت که یک تابع کاهشی است به صورت رابطه (۱۶) با محدودیت رابطه (۱۷) است.

(۱۶)

$$\begin{aligned} \text{Min}L(f(x)) = & f(a_1) + s_1(x - a_1) \\ & + \sum_{l'=2}^{l-1} (s_{l'} - s_{l'-1})(-\xi_{2l'} \\ & + u_{l'}a_{l'} + x - a_{l'}) \end{aligned}$$

s. t.

$$\begin{aligned} XQ_{nk(m-1)}t_{nkjgt(m-1)} & \leq XQ_{nkjgt}^{(m-1)} \leq XQ_{nkm}t_{nkjgt(m-1)} \\ \forall n, k, j, g, t, m \end{aligned}$$

(۱۰)

$$\forall n, k, j, g, t \quad XQ_{nkjgt} = \sum_{m'=1}^{m-1} XQ_{nkjgt}^{m'}$$

(۱۱)

$$\forall n, k \quad \sum_{m'=1}^{m-1} t_{nkjgmt} = 1$$

همانطور که مشاهده می‌شود در روش خطی‌سازی پیشنهادی (۸) تا (۱۱) عبارت غیرخطی درجه دوم  $XQ_{nkjgt}^{(m')}$  در تابع هدف قرار گرفته است. در روش پیشنهادی تنها سه دسته محدودیت کمکی جدید به مسئله اولیه افزوده شده است.

به منظور خطی‌سازی عبارات غیرخطی درجه دوم در فرم معادل تابع تخفیف قیمت و تابع هزینه کمبود از تکنیک شناخته شده برنامه‌ریزی خطی تفکیک‌پذیر<sup>۱</sup> (Chang, 2002 and Li & Yu, 1999) استفاده می‌شود. طبق این روش جهت خطی‌سازی تابع  $f(x)$  می‌توان از رابطه (۱۲) استفاده کرد.

(۱۲)

$$\begin{aligned} L(f(x)) = & f(a_1) + s_1(x - a_1) \\ & + \sum_{l'=1}^{l-1} \frac{s_{l'} - s_{l'-1}}{2} (|x - a_{l'}| \\ & + x - a_{l'}) \end{aligned}$$

در رابطه (۱۲)،  $L(f(x))$  فرم خطی تفکیک‌پذیر

تابع  $f(x)$  است. ۱ تعداد تقسیمات است طوری که  $a_m \geq x \geq \alpha > 0$ . هر چقدر تعداد تقسیمات بیشتر باشد، تخمین انجام شده از دقت بیشتری برخوردار

$$\sum_{n,i,t} \sum_{q'=1}^{q-1} [(\pi_{niq'} - \gamma_{niq'} B_{niq'})^{(q)} B_{nit} + \gamma_{niq'} L(B_{nit}^{(q)})] - \sum_{n,j,i,g,t} P_{ni} \cdot Y Q_{njigt} \quad (19)$$

s. t.

$$L(B_{nit}^q) = f(a_1) + s_1(B_{nit}^q - a_1) + \sum_{l'=2}^{l-1} (s_{l'} - s_{l'-1}) (\xi_{1nitql'} + B_{nit} - a_{l'}) \quad (20)$$

$$\xi_{1nitql} \geq B_{nit}^q + M(u_l - 1), \quad \forall n, i, t, q, l \quad (21)$$

$$L(XQ_{nkjgt}^m) = f(a_1) + s_1(XQ_{nkjgt}^m - a_1) + \sum_{l'=2}^{l-1} (s_{l'} - s_{l'-1}) (-\xi_{2nkjgtml'} + u_{l'} a_{l'} + XQ_{nkjgt}^m - a_{l'}) \quad (22)$$

$$XQ_{nkjgt}^m - a_l + \xi_{2nkjgtml} \geq 0, \forall n, k, j, g, t, m, l \quad (23)$$

$$XQ_{nkjgt}^m, B_{nit}^q, \xi_{1nitql}, \xi_{2nkjgtml} \geq 0, u_j, \tau_{nitq}, t_{nkjgtm} \in \{0,1\}$$

#### زمان تدارک منعطف

در بسیاری از تحقیقات پیشین، زمان تدارک معمولاً به صورت ثابت فرض شده است. در نتیجه

$$s. t. \xi_{2l} \geq x + M(u_l - 1), \xi_{2l} \geq 0, u_l \in \{0,1\}$$

بنابراین با استفاده از رابطه‌های (۱۴) و (۱۶)، عبارت

غیر خطی  $XQ_{nkjgt}^{(m')}$  و  $B_{nit}^{(q')}$  با عبارات خطی به فرم

$L(B_{nit}^{(q')})$  و  $L(XQ_{nkjgt}^{(m')})$  جایگزین می‌شوند. در نهایت با در نظر گرفتن محدودیت‌های (۱۴) و (۱۶)، مسئله برنامه‌ریزی تولید کلی تصادفی دو مرحله‌ای خطی در زنجیره تأمین به صورت رابطه (۱۸) با محدودیت‌های رابطه (۱۹) تا (۲۳) خواهد بود. (18)

$$\begin{aligned} \text{Mininizing } Z = & \sum_{j,t} SC_j \cdot L_{jt} + \sum_{j,t} FC_j \cdot F_{jt} \\ & + \sum_{j,t} HC_j \cdot H_{jt} \\ & + \sum_{n,j,t} CI1_{nj} \cdot I1_{njt} \\ & + \sum_{n,l,t} CI2_{ni} \cdot I2_{nit} + \\ & \sum_{k,j,i,g,t} TF_g \cdot (XV_{kjgt} + YV_{jigt}) \\ & + \sum_{k,j,g,t} TV_g d1_{kj} XV_{kjgt} \\ & + \sum_{j,i,g,t} TV_g d2_{ji} YV_{jigt} \\ & + \sum_{jt} PC_{jt} \cdot Y_{jt} + \\ & \sum_{n,j,t} CR_{jn} \cdot XR_{njt} + \sum_{n,j,t} CO_{jn} \cdot XO_{njt} \\ & + \sum_{n,k,j,g,t} \sum_{m'=1}^{m-1} [(CM_{nkm'}^{(m)} - r_{nkm'} XQ_{nkm'}^{(m)}) XQ_{nkjgt}^{(m)} \\ & + r_{nkm'} L(XQ_{nkjgt}^2)] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FS = & \sum_{j,t} SC_j \cdot L_{jt} + \sum_{j,t} FC_j \cdot F_{jt} \\
 & + \sum_{j,t} HC_j \cdot H_{jt} \\
 & + \sum_{n,j,t} CI1_{nj} \cdot I1_{njt} + \\
 & \sum_{k,j,g,t} TF_g \cdot XV_{kjgt} + \sum_{k,j,g,t} TV_g d1_{kj} XV_{kjgt} \\
 & + \sum_{jt} PC_{jt} \cdot Y_{jt} \\
 & + \sum_{n,j,t} CR_{jn} \cdot XR_{njt} \\
 & + \sum_{n,j,t} CO_{jn} \cdot XO_{njt} + \\
 & \sum_{n,k,j,g,t} \sum_{m'=1}^{m-1} [(CM_{nkm'} \\
 & - r_{nkm'} XQ_{nkm'}) XQ_{nkjgt}^{(m')} \\
 & + L(r_{nkm'} XQ_{nkjgt}^2)] + \quad (25)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_s = & \sum_{n,i,t} CI2_{ni} \cdot I2_{nit}^s + \sum_{j,i,g,t} TF_g YV_{jigt}^s \\
 & + \sum_{j,i,g,t} TV_g d2_{ji} \cdot YV_{jigt}^s + \\
 & \sum_{n,i,t} \sum_{q'=1}^{q-1} [(\pi_{niq'} - \gamma_{niq'} B_{niq'}) B_{nit}^s \\
 & + L(\gamma_{niq'}^2 B_{nit}^s) \\
 & - \sum_{n,j,i,g,t} P_{ni} \cdot YQ_{njigt}^s]
 \end{aligned}$$

در رابطه (۲۴) و (۲۵) S اندیس سناریو است.

تابع هدف مسئله تحت سناریوی S را می‌توان به صورت رابطه (۲۶) خلاصه کرد.

$$Z_s = FS + SS_s \quad (26)$$

ارتباط منطقی بین زمان تدارک و هزینه حمل و نقل برای پرهیز از پیچیدگی مدل‌سازی نادیده گرفته شده است. در مدل پیشنهادی یک رابطه معکوس بین هزینه حمل و نقل و زمان تدارک در نظر گرفته می‌شود. در این مدل، زمان تدارک به صورت لندیس پارامتر دوره لحاظ شده و شامل اندیس‌های تأمین‌کننده، کارخانه و نوع وسیله حمل و نقل است. همچنین مدل پیشنهادی امکان انتخاب وسایل حمل و نقل را نیز لحاظ کرده است؛ به این ترتیب هر چقدر وسیله حمل و نقل پرهزینه‌تری انتخاب شود، زمان تدارک نیز به تبع آن کاهش می‌یابد. همچنین زمان تدارک با میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای یک رابطه معکوس دارد. معمولاً این روابط توسط جداول استاندارد تعیین می‌شود.

## ۵- یافته‌های تحقیق

مدل پیشنهادی یک مدل برنامه‌ریزی تک هدفه تصادفی دو مرحله‌ای است. ابتدا با فرض معلوم بودن تقاضا، مسئله به صورت قطعی حل می‌شود. سپس با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا، مدل پیشنهادی حل می‌شود تا تفاوت ناشی از منظور کردن عدم قطعیت را ارزیابی کنیم. در برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای، متغیرهای تصمیم مربوط به تأمین، تولید و نگهداری (در کارخانه) را به عنوان متغیرهای مرحله اول در نظر می‌گیریم که تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها باید قبل از وقوع سناریوها و مشخص شدن مقادیر واقعی پارامترها صورت پذیرد. متغیرهای مربوط به توزیع، نگهداری (در نقاط مشتری) و کمبود را به عنوان متغیرهای مرحله دوم در نظر می‌گیریم به این ترتیب که بسته به سناریویی که رخ می‌دهد و مشخص شدن مقادیر واقعی پارامترهای غیرقطعی، تصمیم مقتضی متناسب با آن اتخاذ شود. بنابراین متغیرهای مرحله اول (FS) و دوم (SS) به صورت رابطه‌های (۲۴) و (۲۵) خواهد بود.

(۲۴)

$$\forall n, i, s \sum_{q'=1}^{q-1} \tau_{nitq'}^s = 1$$

(۳۶)

$$\forall n, i, s \quad B_{nit}^s = \sum_{q'=1}^{q-1} B_{nit}^{q' s}$$

#### تخمین تعداد سناریوهای مورد نیاز

در این بخش یک رویکرد مبتنی بر بحث‌های آماری و تخمین فاصله ای برای ایجاد یک پایه ریاضی توسعه یافته که در آن با توجه به سطح اطمینان مورد نظر حداقل تعداد سناریوی مورد نیاز محاسبه شود. این رویکرد برای کاهش تعداد سناریوها به ویژه در مسائل با ابعاد بزرگ تأثیر فوق العاده‌ای دارد. برای این منظور تعداد سناریوها بر اساس دقت مطلوب و مورد نظر جواب‌ها قابل محاسبه است. دقت جواب‌ها را می‌توان با تخمین فاصله اطمینان<sup>۱</sup> امید ریاضی هزینه‌های کل سیستم تولیدی بیان کرد. مستقل از نوع تابع توزیع به کار رفته در تولید سناریوها و پارامترهای غیرقطعی، تخمین انحراف معیار نمونه‌ای برای هزینه کل سیستم تولیدی به صورت رابطه (۳۷) محاسبه می‌شود.

$$S(n) = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^n (E(Z) - Z_s)^2}{n-1}}$$

در رابطه (۳۷)،  $n$  تعداد سناریوها،  $Z_s$  هزینه کل سیستم تولیدی تحت سناریوی  $s$  است. بنابراین، تخمین فاصله‌ای با سطح اطمینان  $100\% (1 - \alpha)$  برابر با رابطه (۳۸) خواهد بود.

(۳۸)

$$\left[ E(Z) - \Phi_{\alpha/2} \frac{S(n)}{\sqrt{n}}, E(Z) + \Phi_{\alpha/2} \frac{S(n)}{\sqrt{n}} \right]$$

مسئله برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای به صورت رابطه (۲۷) با محدودیت‌های روابط (۲۸) تا (۳۶) خلاصه می‌شود.

(۲۹)

$$\text{Minimize } Z = FS + E(SS_s)$$

(۲۸)

s.t.

$$I2_{nit(t-1)}^s + \sum_{j,g} YQ_{njigt}^s - D_{nit}^s - B_{nit(t-1)}^s = I2_{nit}^s - B_{nit}^s$$

$$\forall n, i, t, s$$

(۲۹)

$$\sum_{k,g} XV_{kjgt} \cdot GHG_g \cdot d1_{kj} + \sum_{i,g} YV_{jigt}^s \cdot GHG_g \cdot d2_{ji} \leq GHl_{jt}$$

$$\forall j, t, s$$

(۳۰)

$$\sum_{k,g,t} XV_{kjgt} \cdot EU_g \cdot d1_{kj} + \sum_{i,g,t} YV_{jigt}^s \cdot EU_g \cdot d2_{ji} \leq EUl_j$$

$$\forall j, s$$

(۳۱)

$$\forall i, t, s \quad \sum_n I2_{nit}^s \leq CP2_i$$

(۳۲)

$$(YV_{jigt}^s - 1)V_g \leq \sum_n v_n \cdot YQ_{njigt}^s \leq YV_{jigt}^s V_g$$

$$\forall j, i, g, t, s$$

(۳۳)

$$\forall n, j, t, s \quad \sum_{i,g} YQ_{njigt}^s \leq XO_{njt} + XR_{njt}$$

(۳۴)

$$B_{ni(q-1)} \tau_{nit(q-1)}^s \leq B_{nit}^s \leq B_{niq} \tau_{nit(q-1)}^s$$

$$\forall n, i, t, q, s$$

(۳۵)

## تشریح مثال

یک شرکت چند ملیتی قصد دارد یک برنامه‌ریزی کلی تولید برای زنجیره تأمین تهیه کند. افق برنامه‌ریزی ۶ دوره در نظر گرفته می‌شود. تعداد خانواده‌های محصولات را ۴ فرض می‌کنیم. این شرکت دارای ۴ کارخانه تولیدی است که در نقاط مختلف پراکنده شده‌اند. همچنین ۳ عرضه‌کننده این شرکت در شهرهای  $C_1$ ،  $C_2$  و  $C_3$  قرار گرفته‌اند. مواد اولیه توسط تأمین‌کنندگان  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  فراهم می‌شود. در قدم اول فرض می‌کنیم که تقاضا از قبل مشخص است و بر اساس آن مسئله را به صورت قطعی حل می‌کنیم. در قدم بعدی فرض می‌کنیم که تقاضا از تابع توزیع نرمال با امید ریاضی و انحراف معیار به ترتیب ۴۰۰ و ۱۰۰ پیروی می‌کند؛  $N(\mu=400, \sigma=100)$ . ظرفیت تأمین‌کنندگان در هر دوره ۳۵۰ فرض شده است.

## نتایج محاسباتی

همه محاسبات با استفاده از الگوریتم CPLEX در نرم‌افزار IBM ILOG CPLEX 12.2 روی یک کامپیوتر شخصی پنتیوم چهار با پردازشگر ۲/۵ گیگاهرتزی دو هسته و با حافظه داخلی ۲ گیگابایتی تحت ویندوز ویستا اجرا شده است. همه نتایج گزارش شده در این قسمت بر اساس داده‌های مثال فرضی است. جدول (۱) هر یک از اجزاء توابع هدف و درصد نسبی آن‌ها به هزینه کل سیستم تولیدی را در حالت قطعی گزارش می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر عناصر تابع هدف مسئله

| مقدار   | هزینه‌های خرید سیستم تولیدی | مجموع هزینه‌های کمبود سیستم تولیدی | مجموع هزینه‌های حمل و نقل | هزینه‌های تولید و نگهداشت موجودی | هزینه‌های سرمایه‌انسانی | سود    | هزینه کل سیستم تولیدی |
|---------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------|-----------------------|
| ۱۳۷۲۵۳۰ | ۱۵۸۶۵                       | ۱۶۶۵۳۰                             | ۴۰۵۹۷۰                    | ۲۴۱۵۳۰                           | ۱۰۲۳۴۰                  | ۹۷۹۸۶۳ |                       |
| ۱۲/۲۳   | ۱/۳۴                        | ۱۴/۹۶                              | ۴۱/۵۸                     | ۲۶/۹۸                            | ۱۱/۱۲                   | ۱۰۰    |                       |

در رابطه (۳۸)،  $\Phi_{\alpha/2}$  نقطه ای روی محور افقی منحنی نرمال استاندارد  $N(\mu=0, \sigma=1)$  است به قسمی که مساحتی برابر  $\alpha/2$  سمت راست این نقطه زیر منحنی نرمال باقی بماند. به عبارت بهتر نقطه‌ای است که در رابطه (۳۹) صدق کند.

$$\Pr(\varphi \leq \Phi_{\alpha/2}) = 1 - \alpha/2$$

$$\varphi \approx N(\mu=0, \sigma=1)$$

برای مثال، اگر احتمال خطای نوع یک را برابر ۰/۵ فرض کنیم ( $\alpha = 0.5$ ) طبق جدول نرمال استاندارد  $\Phi_{\alpha/2}$  برابر ۱/۹۶ خواهد شد. حال با داشتن تخمین لَنحراف معیار نمونه‌ای  $S(n)$  و نیز در نظر گرفتن حداکثر خطای ممکن ( $\ell'$ ) برای سطح اطمینان  $1 - \alpha/2$ ، حد پایین تعداد سناریوی مورد نیاز با استفاده از رابطه (۴۰) به دست می‌آید.

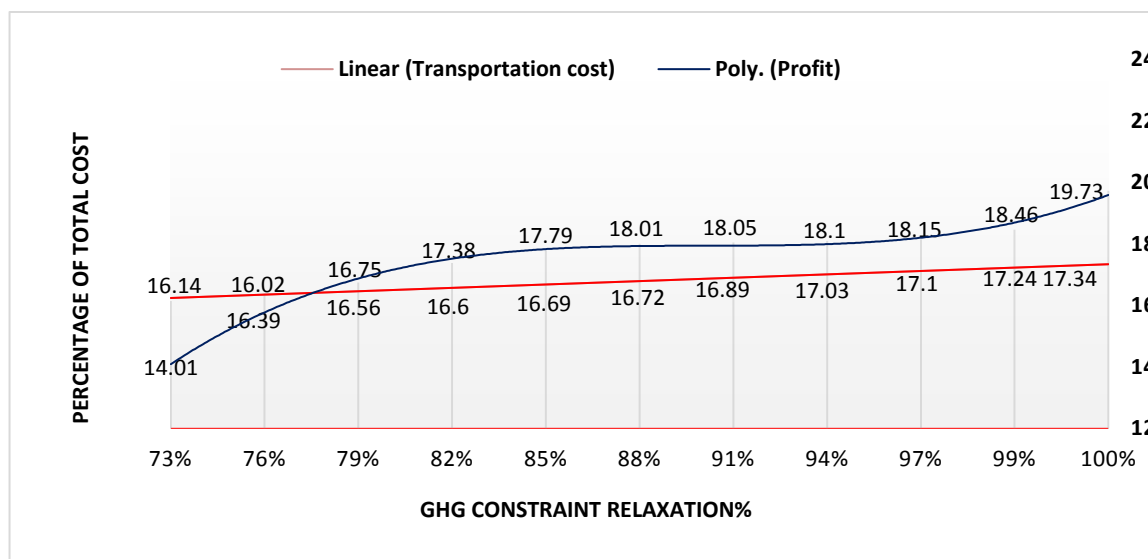
برای به دست آوردن تعداد سناریوهای مورد نیاز ( $n'$ )، ابتدا مسئله برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای مورد نظر را با تعداد کوچک دلخواه از سناریوها حل می‌کنیم (مثلاً  $n \leq 30$ )، سپس بر اساس نتایج به دست آمده، انحراف معیار نمونه‌ای را بر اساس معادله (۳۶) تخمین می‌زنیم ( $S(n)$ ). پس از آن با استفاده از رابطه (۳۹) حد پایین تعداد سناریوی مورد نیاز با سطح اطمینان  $1 - \alpha/2$  و حداکثر خطای ممکن  $\ell'$  محاسبه می‌شود.

جدول ۱- مقادیر عناصر تابع هدف مسئله

| مقدار   | هزینه‌های خرید سیستم تولیدی | مجموع هزینه‌های کمبود سیستم تولیدی | مجموع هزینه‌های حمل و نقل | هزینه‌های تولید و نگهداشت موجودی | هزینه‌های سرمایه‌انسانی | سود    | هزینه کل سیستم تولیدی |
|---------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------|-----------------------|
| ۱۳۷۲۵۳۰ | ۱۵۸۶۵                       | ۱۶۶۵۳۰                             | ۴۰۵۹۷۰                    | ۲۴۱۵۳۰                           | ۱۰۲۳۴۰                  | ۹۷۹۸۶۳ |                       |
| ۱۲/۲۳   | ۱/۳۴                        | ۱۴/۹۶                              | ۴۱/۵۸                     | ۲۶/۹۸                            | ۱۱/۱۲                   | ۱۰۰    |                       |

همچنین یک تحلیل حساسیت روی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در برابر سود حاشیه‌ای زنجیره تأمین برای مدل قطعی انجام شده است. ابتدا، مسئله را با فرض آزاد کردن محدودیت مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای حل کردیم. به این ترتیب، همانطور که انتظار می‌رفت، حداکثر سود ممکن اتفاق می‌افتد. سپس در ادامه به

صورت تدریجی سمت راست محدودیت بیان شده را تنگ‌تر کرده، اثر سطح مجاز انتشار گازهای گلخانه‌ای را روی سود حاشیه‌ای و هزینه حمل و نقل در سیستم تولیدی و زنجیره تأمین تجربه تحلیل می‌کنیم. نتایج در شکل (۱) نشان داده شده است.



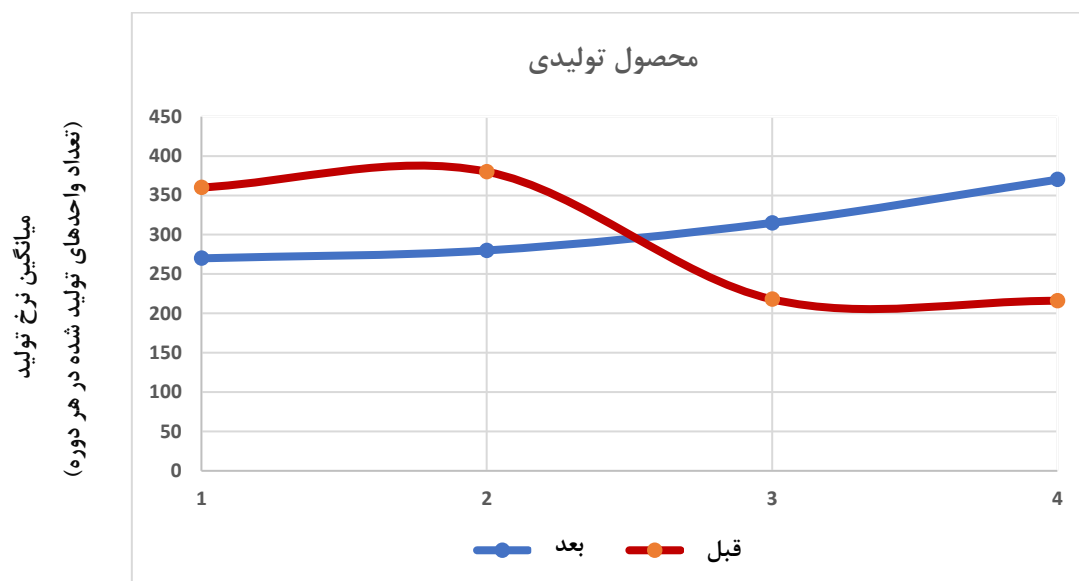
### نمودار ۱- هزینه حمل و نقل و سود حاشیه‌ای محدودیت انتشار گازهای گلخانه‌ای

با توجه به نمودار ۱ وقتی محدودیت مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای را در نظر نگرفته‌ایم، حداکثر سود حاشیه‌ای حاصل شده است، اما با تحمیل یک حد بالای مجاز برای انتشار این گازها، سود حاشیه‌ای با شیب تندی کاهش می‌یابد. سپس در ادامه به یک حالت تقریباً پایدار می‌رسد که در این حالت هر چقدر محدودیت مربوطه تنگ‌تر شود، سود حاشیه‌ای و هزینه حمل و نقل با شیب تقریباً ثابتی به تدریج کاهش می‌یابد، اما پس از مدتی با کاهش بیشتر در سطح مجاز انتشار گازهای آلاینده، هزینه‌های حمل و نقل همچنان با یک روند خطی کاهش می‌یابد در حالی که سود حاشیه‌ای با یک شیب فزاینده‌ای کاهش می‌یابد (سقوط). این رفتار را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در ابتدا مدل برای پرهیز از انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای اقداماتی را نظیر تخصیص

مناسب تأمین‌کنندگان، انتخاب مناسب وسیله حمل و نقل، تجمیع سفارشات دوره‌ای متوالی برای صرفه‌جویی در تعداد رفت و آمدها و در عین حال استفاده از تخفیف به منظور جبران هزینه‌های ناشی از افزایش موجودی‌ها را انجام می‌دهد. اما با تنگ‌تر شدن محدودیت مربوطه برای صرفه‌جویی بیشتر در انتشار گازهای گلخانه‌ای اقدامات فوق دیگر اثرگذار نخواهد بود و تنها راه چاره برای کاهش میزان انتشار، لغو برخی نقل و انتقالات است که پاسخگویی به تقاضاها و سفارشات را به مخاطره می‌اندازد. علاوه بر این، به دلیل غیرخطی بودن تابع جریمه کمبود، هزینه‌های کمبود با شیب فزاینده‌ای هزینه‌های سیستم تولیدی را افزایش می‌دهد و متعاقب آن سود حاشیه‌ای را به صورت مضاعف کاهش می‌دهد. محور افقی شکل (۱) درصد آزادسازی محدودیت سطح

مجاز انتشار گازهای گلخانه‌ای است. برای مثال، صد در صد به این معنی آن است که محدودیت کاملاً آزاد شده است. تحلیل حساسیت دیگر روی میزان پسماندها انجام شده است. با افزایش محدودیت‌های مربوط به میزان مجاز پسماندهای صنعتی، سود حاشیه‌ای تولید کاهش یافته و این امر موجب تغییر در ترکیب بندی نرخ تولید اعم از محصولاتی که تولید آنها در حجم بالایی انجام

میشود و حاشیه سود بالایی دارند بیشتر قابل توجه بوده است و برعکس نرخ تولید، محصولاتی که در حجم‌های کوچکتری از نظر تعداد قرار دارند و پسماند کمتری تولید می‌کنند و سودآوری بیشتری دارند، متناسب با تقاضا افزایش می‌یابد. نمودار ۲ نرخ متوسط تولید برای دسته‌های محصولات را قبل و بعد از در نظر گرفتن محدودیت پسماند نشان می‌دهد.



نمودار ۲- تطبیق نرخ تولید قبل و بعد از اعمال محدودیت‌های پسماندهای صنعتی

با توجه به آنچه بیان شد، ۱۰ سناریو به صورت تصادفی تولید کرده و مسئله را به ازای هر سناریو جداگانه حل می‌کنیم. نتایج در جدول (۲) گزارش شده

است. سپس با استفاده از معادلات مربوطه و با سطح اطمینان ۰/۹۵ تعداد سناریوی مورد نیاز را تخمین می‌زنیم.

جدول ۲- اجزای تابع هدف برای ده سناریوی نمونه

| سناریو           | هزینه کل | (-Z) سود  | هزینه نیروی کار | هزینه حمل | هزینه کمبود | هزینه خرید | هزینه تولید و موجودی |
|------------------|----------|-----------|-----------------|-----------|-------------|------------|----------------------|
| ۱                | ۹۹۲۸۰۵   | ۸۳۶۳۸     | ۲۶۳۹۶۰          | ۱۵۵۴۹۰    | ۱۸۱۳۵       | ۱۳۱۰۴۰     | ۱۲۴۲۱۸۰              |
| ۲                | ۹۴۵۵۸۰   | ۸۱۷۹۶     | ۲۴۲۲۹۰          | ۱۵۴۸۰۰    | ۱۵۷۶۵       | ۱۲۴۵۰۰     | ۴۰۸۲۲۵               |
| ۳                | ۹۶۳۸۲۹/۴ | ۱۰۴۲۱۰    | ۲۴۶۵۰۰          | ۱۵۷۰۳۰    | ۷۲۲۹/۴      | ۱۲۹۱۱۰     | ۴۲۳۹۶۰               |
| ۴                | ۹۴۴۵۷۹   | ۱۲۰۵۱۰    | ۲۵۳۱۱۰          | ۱۵۲۰۶۰    | ۲۹۷۴        | ۱۲۸۶۳۰     | ۴۰۷۸۰۵               |
| ۵                | ۹۶۸۵۲۷   | ۷۷۱۹۹     | ۲۵۲۹۰۰          | ۱۵۴۸۳۰    | ۲۱۸۷۷       | ۱۲۷۱۹۰     | ۴۱۱۷۳۰               |
| ۶                | ۹۶۷۷۳۵   | ۸۹۲۷۳     | ۲۴۴۸۴۰          | ۱۵۶۳۵۰    | ۱۵۷۶۵       | ۱۲۷۵۸۰     | ۴۲۳۲۰۰               |
| ۷                | ۹۵۸۵۴۰   | ۹۳۸۳۳     | ۲۵۱۱۴۰          | ۱۵۵۰۳۰    | ۱۳۶۸۵       | ۱۲۷۰۵۰     | ۴۱۱۶۳۵               |
| ۸                | ۹۴۵۹۴۸   | ۹۹۰۳۸     | ۲۴۲۸۳۰          | ۱۵۴۱۸۰    | ۴۰۴۸        | ۱۲۶۴۲۰     | ۴۱۸۴۷۰               |
| ۹                | ۹۳۴۰۴۸   | ۱۱۸۱۹۰    | ۲۳۹۶۱۰          | ۱۵۰۳۴۰    | ۸۸۸۱        | ۱۲۶۲۶۰     | ۴۰۸۹۵۷               |
| ۱۰               | ۹۸۱۰۵۶   | ۶۲۶۱۰     | ۲۵۱۹۲۰          | ۱۵۷۸۵۰    | ۲۳۸۱۶       | ۱۲۸۴۰۰     | ۴۱۹۰۷۰               |
| ارزش انتظاری     | ۹۶۰۲۶۴/۷ | ۹۳۰۲۹/۷   | ۲۴۸۹۱۰          | ۱۵۴۷۹۶    | ۱۳۲۱۷/۵۴    | ۱۲۷۶۱۸     | ۴۱۵۲۳۳/۲             |
| انحراف استاندارد | ۱۸۲۱۱/۳۱ | ۱۸۱۱۸/۲۳۴ | ۷۱۷۸/۲۸۰۵       | ۲۲۳۵/۸۵   | ۷۲۱۳/۹۲۷    | ۱۷۹۷/۵۴    | ۶۷۶۰/۷۷۱۲            |

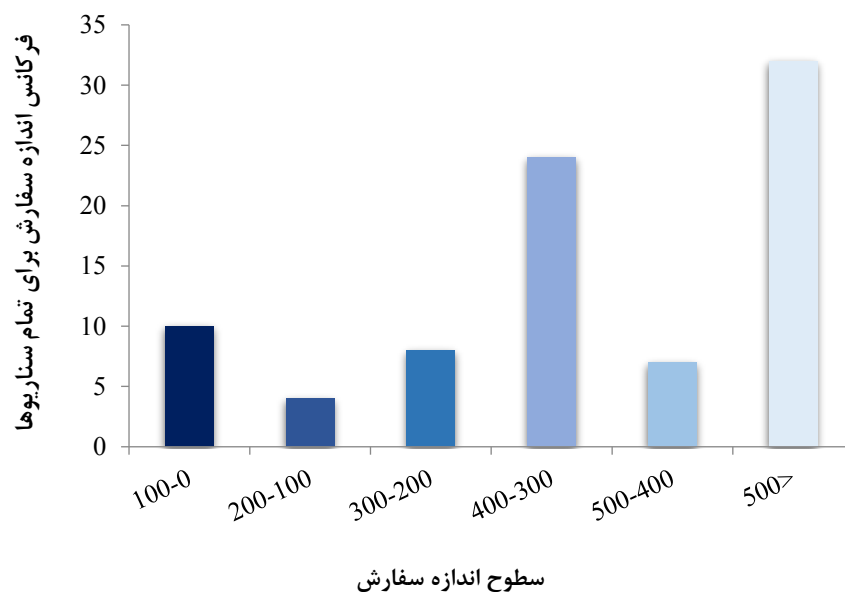
با استفاده از معادلات مربوط به تخمین تعداد سناریوها و در نظر گرفتن سطح اطمینان  $0/95$  و حداکثر خطای قابل قبول  $E(Z) \times 0/5$ ، حداقل تعداد سناریو برابر  $60$  به دست می‌آید. هر چقدر حداکثر خطای قابل قبول کمتر باشد، تعداد سناریوی لازم برای رسیدن به سطح اطمینان مورد نظر افزایش می‌یابد. برای مثال، برای رسیدن به سطح حداکثر خطای قابل قبول  $3,4$  و  $2$  درصد امید ریاضی هزینه‌ها، حد پایین تعداد سناریوهای مورد نیاز به ترتیب برابر  $162,91$  و  $365$  به دست می‌آید.

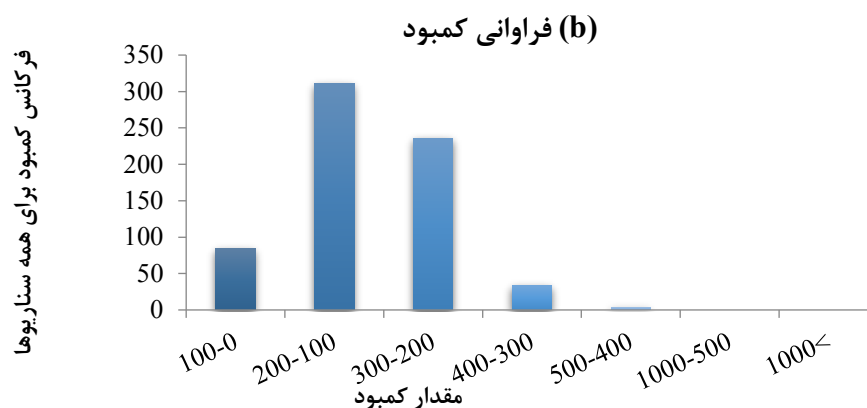
با توجه به تابع چند ضابطه غیرخطی در نظر گرفته شده برای تابع هزینه کمبود، هزینه کمبود در مقایسه با حالت خطی کاهشی محسوسی نشان می‌دهد و از حدود  $3$  درصد هزینه‌های کل سیستم تولیدی به  $1/3$  درصد کاهش می‌یابد و این موضوع اهمیت غیرخطی فرض کردن تابع هزینه‌های کمبود را مشخص می‌کند. علاوه بر این، بیشتر کمبودها در بازه دوم تابع چند ضابطه‌ای قرار گرفته‌اند ( $500 < B_{nit} < 100$ ) که در شکل (b3)

قابل مشاهده است. این موضوع نشان می‌دهد که بحث رضایتمندی مشتریان نیز به نوعی با این تابع قابل بیان است و تغییرپذیری کمبودها از یک نقطه مشتری به نقطه دیگر و یا از یک خانواده محصول به خانواده دیگر کمتر رخ داده است. ضمن اینکه مدل این قابلیت را دارد تا با تعریف توابع هزینه‌ای متفاوت برای محصولات استراتژیک جواب به دست آمده‌ای منطبق بر نیازهای واقعی و اساسی مشتریان داشته باشد.

تابع تخفیف در نظر گرفته شده که یک تابع چندضابطه‌ای و غیرخطی است، باعث شده اکثر سفارشات انجام شده توسط کارخانه‌های تولیدی در بازه بالایی این تابع رخ دهد ( $>500$ ). طبق شکل (a3) سفارشات با حجم بیش از  $500$  بیشترین فراوانی را تحت همه سناریوهای ممکن به خود اختصاص داده است. اندازه سفارش (XQ) جزء متغیرهای مرحله اول محسوب می‌شود و با تغییر سناریوها تغییر نمی‌یابد و تصمیم‌گیری راجع به آن قبل از تحقق مقادیر واقعی پارامترها صورت می‌پذیرد.

(a) فراوانی اندازه سفارش





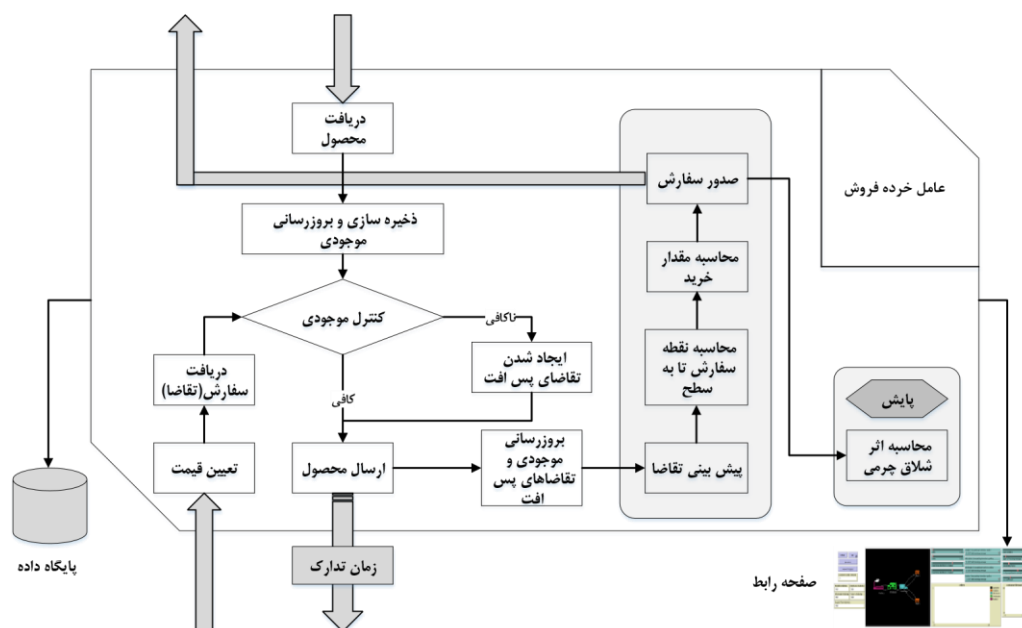
نمودار ۳- فراوانی اندازه سفارشات و کمبود رخ داده تحت همه سناریوهای مختلف

### رویکرد عامل بنیان و پیاده سازی آن

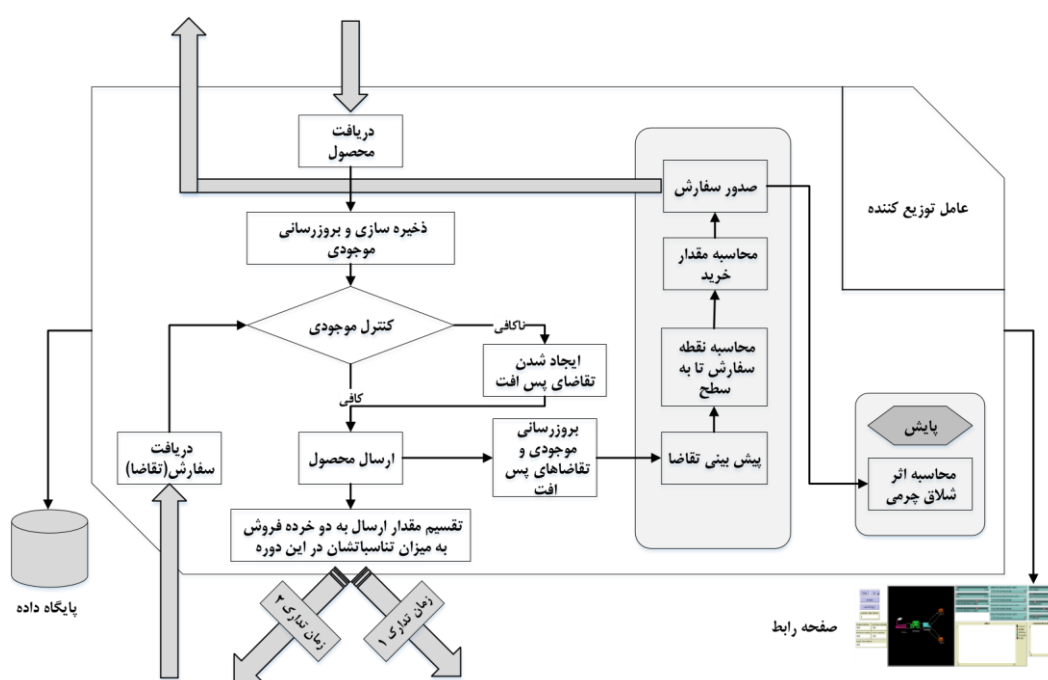
در میان تکنیک‌های شبیه سازی، سیستم مدل سازی عامل بنیان، یک زمینه تکنیکی نوظهور است. با توجه به فرضیات مسئله، مشخص شد که سیستم زنجیره تأمین غیرخطی است و استفاده از مدل بازی قیمت گذاری، سیستم را پیچیده تر می کند. همچنین برای اعمال پویایی به مدل رقابت، نیاز است که از شبیه سازی عامل بنیان استفاده شود. مدل مسئله در نرم افزار پیاده سازی شده است.

در مدل ارائه شده، پنج عامل شامل دو خرده فروش، یک توزیع کننده، یک عمده فروش و یک کارخانه، معرف اعضای مختلف زنجیره تأمین هستند. شکل های ۱، ۲ و ۳ به نمایش مفهومی کارکرد هر یک از اعضای زنجیره تأمین می پردازد.

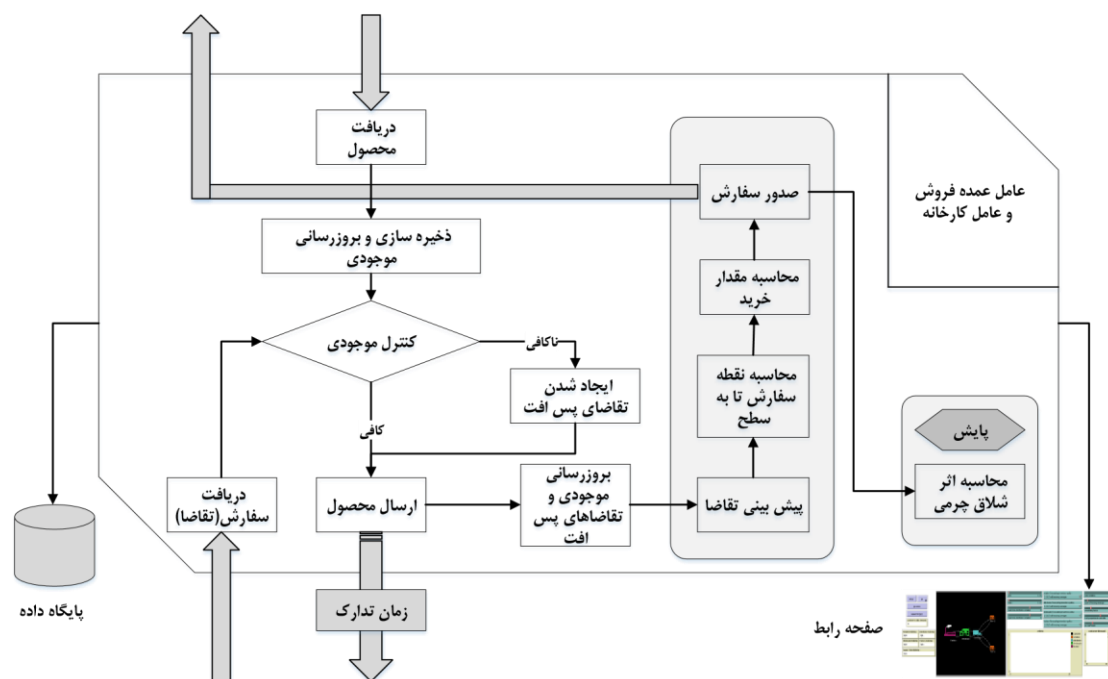
در صفحه رابط، کاربر می تواند خط مشی بازپرسی و پیش بینی هر یک از رده های زنجیره تأمین را انتخاب کند. ضرایب هر یک از روش های پیش بینی و بازپرسی و ضرایب تعدیل، قیمت خرده فروشان را تعیین کند. همچنین می تواند زمان تدارک ارسال محصول به خرده فروشان را متفاوت در نظر بگیرد (به عنوان مثال، یکی از خرده فروشان در منطقه دورتری قرار دارد و برای ارسال محصول به آن مدت زمان بیشتری مورد نیاز است). در مقابل کاربر می تواند به صورت شماتیک، مقدار سفارشات محصول توسط هر رده زنجیره تأمین به بالادستی خود و مجموع تقاضا از زنجیره تأمین در هر دوره را مشاهده و میزان تقاضای هر خرده فروش را نیز به تفکیک رصد کند. علاوه بر این، می تواند به تعداد دلخواه تعداد دوره اجرای مدل را تعیین کند.



شکل ۱- نمایش مفهومی کارکرد هر یک از خرده فروشان



شکل ۲- نمایش مفهومی کارکرد توزیع کننده



شکل ۳- نمایش مفهومی کارکرد عمده فروش و کارخانه

### اعتبارسنجی و صحه گذاری (راستی آزمایی)

از آنجا که مدل ارائه شده، مدل جدیدی است و مسئله ای کاملاً مشابه با آن در ادبیات مورد بررسی قرار نگرفته است، مدل مقالات نزدیک به مدل ارائه شده، طبق رویکرد مسئله این تحقیق پیاده سازی شده است و نتایج مورد مقایسه قرار گرفته اند. در جدول (۳) به پیاده سازی مدل مقاله پونته و همکاران<sup>۱</sup> پرداخته شده و طبق شرایط معین و برای حالت تک خرده فروشی،

نتایج مدل پیاده سازی شده و مدل مقالات مورد مقایسه قرار گرفته اند.

✓ همانطور که مشخص است، نتایج به دست آمده، تصدیق کننده اعتبار مدل شبیه سازی توسعه داده شده با دقت مناسبی است. از آنجایی که بازه حاصل از نتایج شبیه سازی دربر گیرنده نتایج دو مدل دیگر است (یعنی فرض صفر برابری میانگین ها قابل رد شدن نیست)؛ از این رو، اعتبار الگوریتم شبیه سازی در بخش های مربوط به زنجیره تأمین و موجودی قابل تأیید است.

جدول ۳- اعتبارسنجی مدل شبیه سازی عامل بنیان زنجیره تامین

| پارامترهای مسئله                                                                                                       | مدل شبیه سازی (پونته، ۲۰۱۷) |           |           |           |              | نتایج شبیه سازی |              |            |            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------------|--------------|------------|------------|------------|
|                                                                                                                        | BERet                       | BEDist    | BEWhole   | BEFact    | BESc         | BERet           | BEDist       | BEWhole    | BEFact     | BEsc       |
| سیاست موجودی OUT<br>پیش بینی میانگین متحرک با ۵ =<br>SPAN<br>تابع تقاضای یکنواخت<br>موجودی در دسترس انبار = ۱۵<br>واحد | ۱۴۹۱±۰.۰۱                   | ۱۴۹۷±۰.۰۲ | ۱۴۸۰±۰.۰۱ | ۱۴۹۰±۰.۰۱ | ۴۴۱±۰.۰۹     | ۱۵۰۱±۰.۰۱۲      | ۱۵۶۰.۲±۰.۰۱۱ | ۱۷۲۹±۰.۰۰۸ | ۱۴۸۹±۰.۰۰۵ | ۴۳۴۴±۰.۰۱۱ |
| سیاست موجودی OUT<br>تقاضا با ضریب همبستگی ۰/۳<br>تابع تقاضای یکنواخت<br>موجودی در دسترس انبار = ۰ واحد                 | ۱۴۳۰±۰.۰۲                   | ۱۵۷۰±۰.۰۳ | ۱۴۱۰±۰.۰۳ | ۱۷۰۰±۰.۰۲ | ۴۵۱±۰.۰۴۵    | ۱۴۵۵±۰.۰۱۵      | ۱۵۹۲±۰.۰۰۹   | ۱۵۲۱±۰.۰۰۵ | ۱۷۰±۰.۰۰۵  | ۴۲۵۵±۰.۰۰۹ |
| سیاست موجودی OUT<br>پیش بینی خوش بینانه<br>تابع تقاضای نرمال<br>بدون در نظر گرفتن موجودی<br>در دسترس انبار             | -                           | -         | -         | -         | ۲۳۲.۱±۱.۰۴۳  | -               | -            | -          | -          | ۲۱۹.۱۴     |
| سیاست موجودی OUT<br>پیش بینی خوش بینانه<br>تقاضا با ضریب پواسون ۱۰۰<br>بدون در نظر گرفتن موجودی<br>در دسترس انبار      | -                           | -         | -         | -         | ۲۴۸.۳۶±۲۷.۶۳ | -               | -            | -          | -          | ۲۲۰.۷۲     |

عامل بنیان ارائه شده نیز سیستم ناپایداری را نمایش می دهد و در غیر این صورت مدل شبیه سازی به یک شرایط پایدار می رسد و پس از آن مقدار تقاضا و قیمت هر خرده فروش پایدار می شود.

با اتمام این مراحل، اعتبارسنجی و صحت گذاری مدل به پایان می رسد.

#### معرفی سناریوهای مسئله و تجزیه و تحلیل

##### نتایج

۱۰ سناریو بصورت تصادفی تولید نموده و مسئله را به ازای هر سناریو جداگانه حل می کنیم. نتایج در جدول ۴ گزارش شده است. سپس با استفاده از معادلات مربوطه و با سطح اطمینان ۰/۹۵ تعداد سناریوی مورد نیاز را تخمین می زنیم.

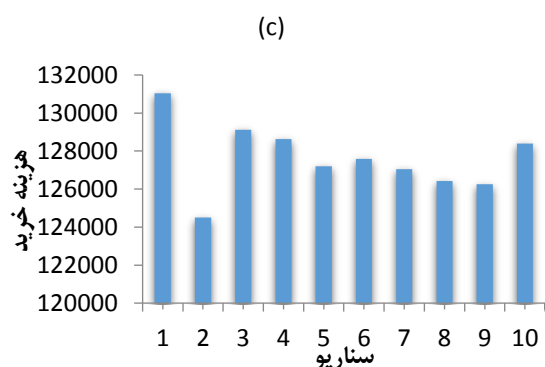
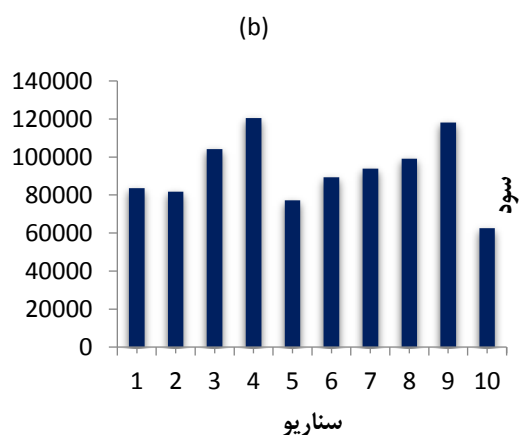
به منظور بررسی اعتبار مدل بازی قیمت گذاری از اعتبارسنجی پیش بینی شده، استفاده شده است؛ به این صورت که بین رفتار مدل و رفتاری که از مدل انتظار می رود داشته باشد، مقایسه ای صورت می پذیرد.

✓ مدل قیمت گذاری کاملاً منطبق با انتظارات عمل می کند. از آنجایی که اگر ضرایب تعدیل قیمت به گونه ای تنظیم شوند که مدل در حالت پایدار باشد، پس از چند دور انجام بازی تکاملی توسط خرده فروشان، مشاهده می شود که هنگام رسیدن به تعادل، قیمت هر خرده فروش مقدار ثابتی می شود که دقیقاً برابر با نقطه تعادل نش است.

✓ اگر ضرایب تعدیلی که انتخاب می شوند، طبق معیار جری، منجر به سیستم ناپایدار شود، مدل شبیه سازی

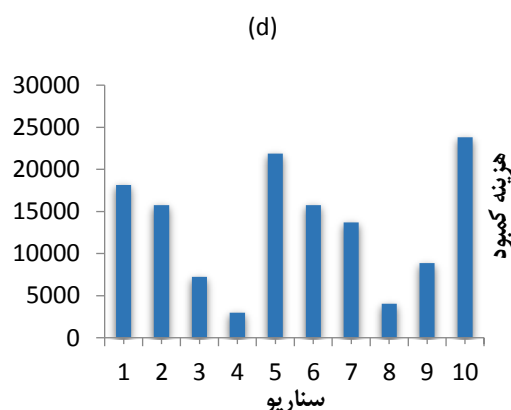
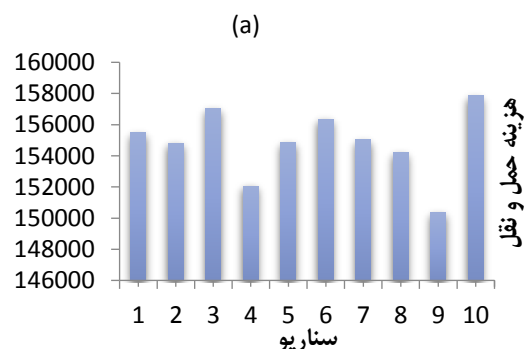
جدول ۴- اجزای تابع هدف سناریوهای مسئله

| سناریو           | هزینه کل | سود (-Z)  | هزینه نیروی کار | هزینه حمل | هزینه کمبود | هزینه خرید | هزینه تولید و موجودی |
|------------------|----------|-----------|-----------------|-----------|-------------|------------|----------------------|
| 1                | 992805   | 83638     | 263960          | 155490    | 18135       | 131040     | 424180               |
| 2                | 945580   | 81796     | 242290          | 154800    | 15765       | 124500     | 408225               |
| 3                | 963829.4 | 104210    | 246500          | 157030    | 7229.4      | 129110     | 423960               |
| 4                | 944579   | 120510    | 253110          | 152060    | 2974        | 128630     | 407805               |
| 5                | 968527   | 77199     | 252900          | 154830    | 21877       | 127190     | 411730               |
| 6                | 967735   | 89273     | 244840          | 156350    | 15765       | 127580     | 423200               |
| 7                | 958540   | 93833     | 251140          | 155030    | 13685       | 127050     | 411635               |
| 8                | 945948   | 99038     | 242830          | 154180    | 4048        | 126420     | 418470               |
| 9                | 934048   | 118190    | 239610          | 150340    | 8881        | 126260     | 408957               |
| 10               | 981056   | 62610     | 251920          | 157850    | 23816       | 128400     | 419070               |
| ارزش انتظاری     | 960264.7 | 93029.7   | 248910          | 154796    | 13217.54    | 127618     | 415723.2             |
| انحراف استاندارد | 18211.31 | 18118.234 | 7178.2805       | 2235.85   | 7213.927    | 1797.54    | 6760.7712            |



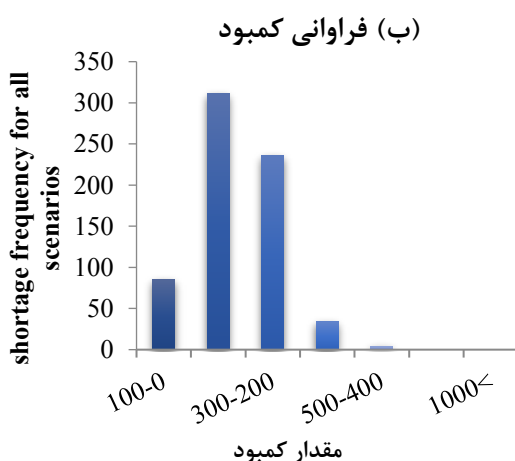
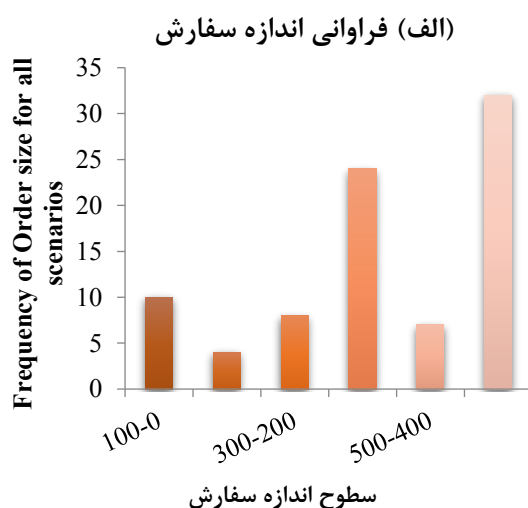
با استفاده از معادلات مربوط به تخمین تعداد سناریوها و در نظر گرفتن سطح اطمینان ۰/۹۵ و حداکثر خطای قابل قبول  $0.05 \times E(Z)$ ، حداقل تعداد سناریو برابر ۶۰ بدست می‌آید.

همچنین هزینه‌های حمل و نقل، خرید مواد اولیه، کمبود و سود حاشیه‌ای را برای این سناریوها در شکل ۲۶-۴ مشخص نموده تا تغییر پذیری اجزاء هزینه‌ای و سود حاشیه‌ای نسبت به سناریوهای مختلف مشخص و قابل مقایسه گردد.

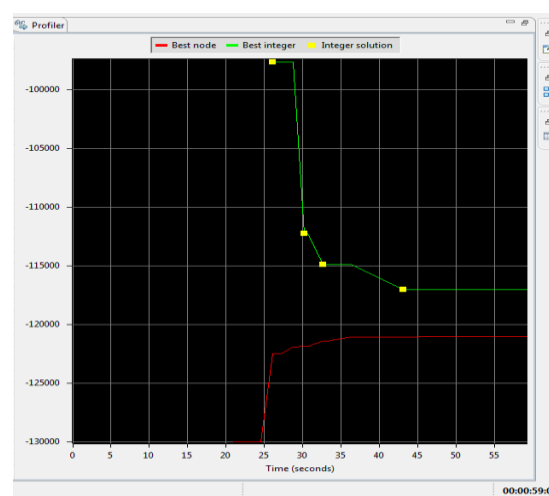


قابلیت را دارد تا با تعریف توابع هزینه‌ای متفاوت برای محصولات استراتژیک جواب بدست آمده‌ای منطبق بر نیازهای واقعی و اساسی مشتریان داشته باشد.

همین طور به دلیل تابع تخفیف در نظر گرفته شده که یک تابع چند ضابطه‌ای و غیر خطی بود باعث گردیده اکثر سفارشات انجام شده توسط کارخانه‌های تولیدی در بازه بالایی این تابع رخ دهد ( $>500$ ). طبق شکل ۵ الف، سفارشات با حجم بیش از ۵۰۰ بیشترین فراوانی را تحت همه سناریوهای ممکن به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است، اندازه سفارش (XQ) جزء متغیرهای مرحله اول محسوب می‌شود و با تغییر سناریوها تغییر نمی‌یابد و تصمیم‌گیری راجع به آن قبل از تحقق مقادیر واقعی پارامترها صورت می‌پذیرد.



لازم به ذکر است هرچقدر حداکثر خطای قابل قبول کمتر باشد تعداد سناریوی لازم برای رسیدن به سطح اطمینان مورد نظر افزایش می‌یابد. برای مثال برای رسیدن به سطح حداکثر خطای قابل قبول ۴، ۳ و ۲ درصد امید ریاضی هزینه‌ها، حد پائین تعداد سناریوهای مورد نیاز به ترتیب برابر ۹۱، ۱۶۲ و ۳۶۵ بدست می‌آید. در این قسمت تعداد سناریوها را ۶۰ فرض نموده ایم که بصورت تصادفی و بر اساس تابع توزیع نرمال تولید شده اند. شکل ۴-۲۷ همگرایی الگوریتم CPLEX را به جواب بهینه نشان می‌دهد.

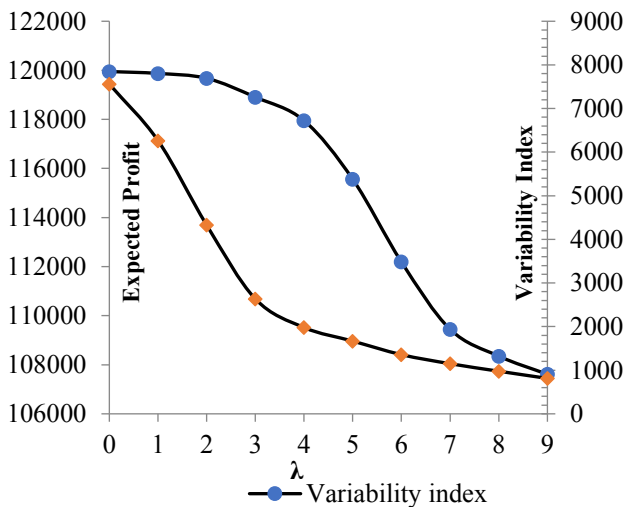


شکل ۴- همگرایی الگوریتم CPLEX به جواب بهینه

با توجه به تابع چند ضابطه غیر خطی در نظر گرفته شده برای تابع هزینه کمبود، هزینه کمبود در مقایسه با حالت خطی کاهشی محسوسی نشان می‌دهد و از حدود ۳٪ هزینه‌های کل سیستم تولیدی به ۱/۳٪ کاهش می‌یابد. و این موضوع اهمیت غیر خطی فرض نمودن تابع هزینه‌های کمبود را مشخص می‌نماید. از طرف دیگر بیشتر کمبودها در بازه دوم تابع چند ضابطه‌ای قرار گرفته اند ( $100 < B_{nit} < 500$ ) که در شکل ۵- قابل مشاهده است. این موضوع نشان می‌دهد که بحث رضایتمندی مشتریان نیز به نوعی با این تابع قابل بیان است و تغییر پذیری کمبودها از یک نقطه مشتری به نقطه دیگر و یا از یک خانواده محصول به خانواده دیگر کمتر رخ داده است. ضمن اینکه مدل این

شکل ۵- فراوانی اندازه سفارشات و کمبود رخ داده تحت همه

سناریوهای مختلف



شکل ۶- امید ریاضی سود حاشیه‌ای در برابر معیار تغییرپذیری

هر سناریو شامل ۳۲ اجرای شبیه‌سازی است که بازه زمانی هر شبیه‌سازی و ۵۰ دوره در نظر گرفته شده است که در این بازه مدل شبیه‌سازی این تحقیق به شرایط پایدار در صورت امکان (صدق کردن ضرایب تعدیل انتخابی در معیار جری) می‌رسد. همچنین تعداد دوره‌ها آنقدر زیاد نیست که اثر شرایط پایدار بر اثر بازی تا رسیدن به تعادل غلبه کند و اثر بازی زیاد مشخص نباشد. به علت قطعی بودن مدل تقاضای حساس به قیمت و نبود عوامل تصادفی در آن، هیچ‌گونه انحرافی در نتایج دیده نمی‌شود و در نتیجه به تکرار چندین بار یک آزمایش و میانگین گرفتن از آن‌ها نیازی نیست.

#### ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

پژوهش‌های پیشین اغلب با پارامترهای قطعی به مباحث اقتصادی نظیر کمینه کردن ریسک و هزینه‌های زنجیره تامین پرداخته‌اند و تأکید بیشتر آن‌ها معمولاً روی کمینه کردن همزمان هزینه و بیشینه کردن سود در حالت قطعی بوده است، اما مدل ارائه شده در این تحقیق، اهدافی نظیر کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های تأمین و تولید (شامل هزینه‌های مربوط به خرید، حمل و نقل، تولید، تغییر ظرفیت تولیدی و نگهداری موجودی

به منظور کاهش تغییر پذیری هزینه‌های کل سیستم تولیدی در مواجهه با سناریوهای مختلف بایستی ریسک ناشی از این تغییرات را مدیریت نمود. معمولاً از تابع واریانس که یک عبارت غیرخطی درجه دوم است برای مدیریت ریسک جواب‌های بدست آمده استفاده می‌نمایند.

در این تحقیق برای مدیریت تغییرپذیری جواب‌های بدست آمده در برابر رخدادهای نامحتمل، غیر از امید ریاضی، معیار تغییرپذیری نرم را به تابع هدف مدل پیشنهادی می‌افزاییم.

بنابراین مدل جدید که کمینه‌سازی مجموع وزنی امید ریاضی و تغییرپذیری زیان کل سیستم تولیدی است به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\text{Minimize } Z = FS + E(SS_s) + \lambda.E(semivar_s^+)$$

s.t.

$$semivar_s^+ \geq SS_s - E(SS_s), \forall s$$

$$semivar_s^+ \geq 0, \forall s$$

و سایر محدودیت‌های مدل

که در آن  $\lambda$  وزن نسبی معیار تغییرپذیری است و توسط تصمیم‌گیر مقداردهی می‌شود.

شکل ۶- نتیجه یک تحلیل حساسیت روی مقدار  $\lambda$  را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود برای مقادیر بزرگ  $\lambda$  امید ریاضی زیان کل سیستم تولیدی افزایش می‌یابد (سود حاشیه‌ای کاهش می‌یابد) در حالیکه برای مقادیر کوچکتر  $\lambda$  امید ریاضی زیان کل سیستم تولیدی کاهش (سود حاشیه‌ای افزایش می‌یابد) و تغییر پذیری زیان کل تحت سناریوهای مختلف افزایش می‌یابد. در حقیقت شکل ۶- یک منحنی پارتو است و تصمیم‌گیر با تنظیم  $\lambda$  بر اساس میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی خود می‌تواند از میان این جواب‌های پارتویی جواب ارجح با سطح اطمینان مورد نظر و حداکثر خطای قابل قبول را برگزیند.

در کارخانه‌ها) و کمینه‌سازی امید ریاضی مجموع هزینه‌های توزیع (شامل هزینه‌های حمل و نقل، نگهداری و کمبود موجودی) را به گونه‌ای با پارامترهای غیر قطعی دنبال می‌کنند.

مدل با فرضیات اساسی نظیر عدم قطعیت در تقاضا برای محصولات مختلف، عدم قطعیت در تأمین، زمان تدارک و نیز پارامترهای هزینه‌ای و قوانین و مقررات زیست محیطی حاکم بر زنجیره‌های تأمین چند ملیتی در نظر گرفته شده بود. برای ارزیابی کارایی و کاربردپذیری مدل‌ها، مثال‌های عددی متنوع و مطالعه موردی ارائه شد. همچنین تحلیل حساسیت‌های مختلفی برای اعتبارسنجی مدل‌ها صورت گرفت. نتایج محاسباتی به دست آمده از یک مجموعه داده‌های واقعی نشان داد که چگونه مقررات و قوانین بین‌المللی نظیر مقررات زیست محیطی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و پسماندهای صنعتی، می‌تواند ساختارهای برنامه کلی را تحت‌الشعاع قرار دهد. همچنین در نظر گرفتن توابع غیرخطی واقعی برای تخفیف و کمبود، مدل‌هایی واقع‌بینانه‌تر ایجاد می‌کند و تصویر شفاف‌تری نسبت به آنچه در آینده بر اثر تحقق سناریوهای مختلف رخ خواهد داد، ارائه می‌دهد.

پس از اجرای سناریوهای معرفی شده، مشخص شد همانطور که انتظار می‌رفت با تنگ تر نمودن محدودیت مربوط به میزان مجاز پسماندهای صنعتی، سود حاشیه ای کاهش می‌یابد. همچنین ترکیب بندی نرخ تولید به تبع آن تغییر می‌یابد. به عبارت دیگر نرخ تولید برای محصولاتی که حجم بالاتری از پسماندهای صنعتی را تولید می‌نمایند کاهش یافته (علی رغم سودآوری)، برعکس نرخ تولید محصولات با حجم کمتری از پسماندها که سود آوری بیشتری دارند متناسب با تقاضا افزایش می‌یابد. همچنین با تحمیل یک حد بالای مجاز برای انتشار این گازها، سود حاشیه ای با شیب تندی کاهش می‌یابد. سپس در ادامه به یک حالت تقریباً پایدار می‌رسد که در این حالت هرچقدر

محدودیت مربوطه تنگ تر می‌گردد سود حاشیه ای و هزینه حمل و نقل با شیب تقریباً ثابتی به تدریج کاهش می‌یابد. اما پس از مدتی با کاهش بیشتر در سطح مجاز انتشار گازهای آلاینده، هزینه‌های حمل و نقل همچنان با یک روند خطی کاهش می‌یابد در حالیکه سود حاشیه ای با یک شیب فزاینده ای کاهش می‌یابد. باتوجه به ماهیت غیر خطی تابع کمبود، شاهد کاهش چشمگیری در هزینه های کمبود هستیم و این مورد تاثیر بسزایی در افزایش رضایتمندی مشتریان ایفا کرده است. در مورد تابع تخفیف در نظر گرفته شده که یک تابع چند ضابطه ای و غیر خطی بود باعث گردیده اکثر سفارشات انجام شده توسط کارخانه‌های تولیدی در بازه های بالا تولید و توزیع شوند. مدل زنجیره تامین پایدار این مزیت را ایجاد می کند که با حذف عدم تقارن در میان رقبا زمان های تدارک نابرابر برای توزیع کننده گان را کاهش دهد و در نتیجه از متورم کردن بازار جهت کسب سهم بیشتر بازار توسط رقبا جلوگیری می کند. این موضوع مبین آن است که اعضای زنجیره تأمین هنگامی که بازار در شرایط به نسبت باثباتی قرار دارد، نباید به متورم کردن تقاضاهایشان مبادرت ورزند و نیازی به استفاده از خط‌مشی سفارش تا به سطحی که بسیار پرکاربرد است، ندارند. اعضا باید بدانند که تحت این شرایط، استفاده از روش سفارش تا به سطح سنتی نه تنها منجر به ازدیاد نوسانات تقاضا می‌شود، بلکه واریانس موجودی داخل انبارشان را هم زیاد می‌کند و ممکن است در دوره‌های متحمل هزینه زیاد نگهداری موجودی و در دوره‌های دیگر هزینه کمبود را برایشان دربر داشته باشد. در هر ۱۰ سناریو تقریباً هزینه کل تولید -توزیع یکسان بود اما در سناریوهایی که هزینه های کمبود پایین تری داشتند میزان سود بیشتری در طول زنجیره تامین پایدار ایجاد شد.

همچنین تغییر پذیری کمبودها از یک نقطه مشتری به نقطه دیگر و یا از یک خانواده محصول به

خود را بهینه می‌کند در یک بازی چند طرفه کل زنجیره نیز به سمت بهینه کل حرکت کند).

❖ با توجه به امیدهایی که به گشایش فضای بین‌المللی برای گسترش فعالیت‌های اقتصادی و رفع تحریم‌های ظالمانه کشورمان می‌رود به‌زودی فضای حضور ایران در بازارها و تجارت جهانی فراهم خواهد شد؛ بدون شک، لازم است صنایع مختلف کشورمان که به دنبال حضور در بازارهای جهانی هستند، آمادگی لازم برای حضور در رقابت‌های جهانی را کسب کنند.

❖ فعالیت‌ها و محصولات صنعتی پلیدار و توجه به مقولات زیست‌محیطی از مهم‌ترین ویژگی‌های صنایعی هستند که امروزه حضوری سودمند و مانا در سطح کسب‌وکارهای بین‌المللی دارند. بنابراین، ضروری است صاحبان صنایعی که منتظر فراهم شدن شرایط حضور در بازارهای جهانی هستند و همچنین دولتمردانی که شعار حمایت از تولیدات صادرات‌محور را سرلوحه کار خود دارند، توجهی درخور به موضوع زنجیره‌های تأمین پایدار (که از ضروریات کنونی و آتی اقتصاد بین‌الملل شده است) داشته باشند.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کلیه مشارکت‌کنندگان در این پژوهش، کمال قدردانی و امتنان را دارند.

### ۷- منابع

قربانی، ندا؛ مرجانی، امیربابک و صالحی صدقیانی، جمشید. (۱۴۰۱). مدل عوامل مؤثر بر عجزین شدن شغلی به‌منظور بهبود عملکرد و بهره‌وری کارکنان (مورد مطالعه: دانشگاه آزاد اسلامی استان تهران). فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی، ۱۷(۶۵)، ۱۶۲-۱۳۷.

خانواده دیگر کمتر رخ داده است و این موجب افزایش رضایتمندی مشتریان در طول زنجیره تامین پایدار شده است.

طبق خروجی‌های مدل، مقدار سفارش هر سطح از زنجیره تأمین همواره از مقدار تقاضای رسیده به آن سطح، بالاتر است و این عامل منجر به هزینه‌های تولید گزاف و نگهداری موجودی فراوان می‌شود. همچنین این خط‌مشی هنگام صدور سفارش زمان تدارک را در نظر نمی‌گیرد که این مسئله خود جای بحث دارد.

از جمله مواردی که می‌توان برای تحقیقات آتی مدنظر قرار داد:

❖ مدل‌سازی سایر مسائل شرکت‌های چندملیتی نظیر مشکلات تحریم، قوانین گمرکی، دامپینگ و...

❖ مدل‌سازی مسئله به صورت سلسله مراتبی و مقایسه نقاط ضعف و قوت آن با رویکرد یکپارچه

❖ مدل‌سازی به صورت غیرمتمرکز و مقایسه نقاط ضعف و قوت آن نسبت به رویکرد متمرکز

❖ مدل‌سازی سایر مسائل شرکت‌های چندملیتی نظیر مشکلات تحریم، قوانین گمرکی، دامپینگ و...

❖ مدل‌سازی مسئله به صورت سلسله مراتبی و مقایسه نقاط ضعف و قوت آن با رویکرد یکپارچه

❖ مدل‌سازی به صورت غیرمتمرکز و مقایسه نقاط ضعف و قوت آن نسبت به رویکرد متمرکز (در مدل‌های پیشنهادی تمام تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی توسط شرکت اصلی و با لحاظ کردن سود و زیان کل زنجیره به صورت متمرکز مدل شده است. رویکرد غیرمتمرکز می‌تواند این‌گونه باشد که در زنجیره تأمین، هر شرکت به صورت منفرد طوری برنامه‌ریزی شود تا ضمن آنکه برنامه

دستاوردهای نوین در مطالعات علوم مدیریت،  
حسابداری و اقتصاد ایران.

روشنی، سعید. (۱۳۹۷). کاربرد مدل سازی عامل بنیان در  
تحلیل سیستم های پیچیده اجتماعی: روش شناسی  
تحلیل سیستم های پیچیده اجتماعی: روش شناسی  
تحلیل سیستم های نوآوری. *فصلنامه علمی- ترویجی*  
*سیاست نامه علم و فناوری*، دوره ۸ (۲)، ۵۷-۷۰

جعفرنژاد، احمد؛ مروتی شرف آبادی، علی و اسدیان  
اردکانی، فائزه (۱۳۹۷). *مباحث منتخب در مدیریت*  
*زنجیره تأمین*. چاپ سوم. تهران: انتشارات کتاب  
مهربان نشر.

A, Deiva Ganesh. P, Kalpana (2022). Future  
of artificial intelligence and its  
influence on supply chain risk  
management – A systematic review.  
*Computers & Industrial Engineering*,  
169, 108206.

Heppenstall, A., Crooks, A., Malleon, N.,  
Manley, E., Ge, J., & Batty, M. (2021).  
Future developments in geographical  
agent-based models: Challenges and  
opportunities. *Geographical Analysis*,  
53(1), 76-91.

Aloui, A., Hamani, N., Derrouiche, R., &  
Delahoche, L. (2021). Assessing the  
benefits of horizontal collaboration  
using an integrated planning model for  
two-echelon energy efficiency-  
oriented logistics networks design.  
*International journal of systems  
science: operations & logistics*, 9(3),  
1-22.

Cuong, T. N., Kim, H. S., Nguyen, D. A.,  
& You, S. S. (2021). Nonlinear  
analysis and active management of  
production-distribution in nonlinear  
supply chain model using sliding mode  
control theory. *Journal of Applied  
Mathematical Modelling*, 97, 418-437.

Zimmermann, R., Ferreira, L. M. D., &  
Moreira, A. C. (2020). How supply  
chain strategies moderate the

رحمانی گل افشانی، مجتبی؛ الفت، لعلیا، امیری، مقصود و  
قاضی نوری، سروش. (۱۴۰۱). الگوی پیکربندی  
راهبردهای زنجیره تأمین و کسب و کار و ارتباط آن  
با عملکرد پایداری سازمان (مورد مطالعه: صنایع  
غذایی ایران). *فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی*  
و پشتیبانی، ۱۷ (۶۳)، ۱۶۰-۱۳۱.

کرمی، ذبیح اله؛ ترابی، محمدامین و حسینی، سید روح اله.  
(۱۴۰۱). مدل ادراک کارکنان از هوش مصنوعی در  
کار با استفاده از فن داده بنیاد. *فصلنامه توسعه*  
*مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی*، ۱۷ (۶۵)، ۹۰-۵۳.  
پزشکی فر، سیامک؛ علوی متین، یعقوب و حضرتی،  
مصطفی. (۱۴۰۱). الگوی اسلامی ارزش یابی عملکرد  
کارکنان. *فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی و*  
*پشتیبانی*، ۱۷ (۶۶)، ۳۰-۱.

اصفهانى زنجانی، محمد؛ نجفی، امیر؛ نقیلو، احمد؛ محمدی،  
نبی اله. (۱۳۹۹). تبیین فراتحلیل مسائل پایداری  
زنجیره تأمین و مدیریت ریسک. *کاوش های مدیریت*  
*بازرگانی*، ۲۳ (۱۲)، ۲۱۷-۲۵۳.

جاویدی عبدالله زاده اول، نرگس؛ اسدزاده، احمد؛ شهرماد،  
صداقت. (۱۳۹۸). بررسی تطبیقی سیستم اقتصادی  
پونزی و غیرپونزی با رویکرد مدل سازی عامل-  
بنیان. *فصلنامه علمی نظریه های کاربردی اقتصاد*،  
۶ (۳)، ۱۰۲-۷۳.

صالحی، فریبا. (۱۳۹۹). ارائه الگویی باهدف کاهش ریسک  
زنجیره تأمین با رویکرد ترکیبی، *فصلنامه علمی*  
*پژوهشی مدیریت*، ۱۳ (۱۵۵)، ۴۵-۱۶۷.

میرزایی، محسن؛ ستوده، محمد رضا؛ احمدخان بیگی، ندا.  
(۱۴۰۱). ارائه مدلی جهت شناسایی و تحلیل عوامل  
تأثیرگذار بر برنامه ریزی مدیریت زنجیره تأمین در  
شرکت خودروسازی سایپا. *تحقیق در عملیات در*  
*کاربردهای آن*. ۱۹ (۳)، ۱۱۱-۸۹.

احمدی اصفهانی، آرش؛ جوکار، علی اکبر و کریمی، اوژن  
(۱۳۹۸). تحلیل نقش کارآفرینی استراتژیک و  
سرمایه ی اجتماعی در مدیریت زنجیره تأمین پایداری  
و عملکرد سازمانی. *سومین کنفرانس علمی*

- a literature review and research framework. *Benchmarking: An International Journal*, 28(2). DOI:10.1108/BIJ-04-2020-0156
- Koberg, E., & Longoni, A. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. *Journal of cleaner production*, 207, 1084-1098.
- Baryannis, G., Validi, S., Dani, S., & Antoniou, G. (2019). Supply chain risk management and artificial intelligence: state of the art and future research directions. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2179-2202.
- Yang, Q., Wang, Y., & Ren, Y. (2019). Research on financial risk management model of internet supply chain based on data science. *Cognitive Systems Research*, 56, 50-55.
- Fu, Y., & Zhu, J. (2019). Big production enterprise supply chain endogenous risk management based on blockchain. *IEEE access*, 7, 15310-15319.
- Valinejad, F., & Rahmani, D. (2018). Sustainability risk management in the supply chain of telecommunication companies: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 203, 53-67.
- Jajja, M. S. S., Chatha, K. A., & Farooq, S. (2018). Impact of supply chain risk on agility performance: Mediating role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 205(August), 118-138.
- Habibi, M. K., Allaoui, H., & Goncalves, G. (2018). Collaborative hub location problem under cost uncertainty. *Computers & industrial engineering*, 124, 393-410.
- Shevchenko, A. (2017). Re-thinking supplier risk management with case studies and agentbased simulation. <http://hdl.handle.net/10315/34414>
- relationship between innovation capabilities and business performance. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 26(5), 100658.
- Kagho, G. O., Balac, M., & Axhausen, K. W. (2020). Agent-based models in transport planning: Current state, issues, and expectations. *Procedia Computer Science*, 170, 726-732.
- Chu, C. Y., Park, K., & Kremer, G. E. (2020). A global supply chain risk management framework: An application of text-mining to identify region-specific supply chain risks. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101053.
- Gómez, J. C. O., & España, K. T. (2020). Operational Risk Management in the Pharmaceutical Supply Chain Using Ontologies and Fuzzy QFD. *Procedia Manufacturing*, 51, 1673-1679.
- Zavala-Alcívar, A. Verdecho, M. J. and Alfaro-Saiz, J. J. (2020). A Conceptual Framework to Manage Resilience and Increase Sustainability in the Supply chain. *Sustainability*, (12) 6300.
- Mzougui, I., Carpitella, S., Certa, A., El Felsoufi, Z. and Izquierdo, J. (2020). Assessing Supply Chain Risks in the Automotive Industry through a Modified MCDM-Based FMECA.
- Nunes, L. J. R., Causer, T. P., & Ciolkosz, D. (2020). Biomass for energy: A review on supply chain management models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109658.
- Tseng, S. H., & Son Nguyen, T. (2020). Agent-Based Modeling of Rumor Propagation Using Expected Integrated Mean Squared Error Optimal Design. *Applied System Innovation*, 3(4), 48.
- Zekhnini, K., Cherrafi, A., Bouhaddou, I., Benghabrit, Y., & Garza-Reyes, J. A. (2020). Supply chain management 4.0:

- Introduction to Computational Models of Social Life. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Harlow, England
- Giannakis, M., Papadopoulos, T. (2016). Supply chain sustainability: A risk management approach. *International journal production economics*, 171(5), 455–470.
- Miller, J. H. and Page, S. E. (2007). *Complex Adaptive Systems: An*