فصلنامه علمی اقتصاد و مدیریت شهری، ۱۱(۳(پیاپی ۴۳))، ۱۲۱-۱۵۰
www.iueam.ir
نمایه در ISC، EconLit، Econbiz، EBZ، GateWay-Bayern، SID، Google Scholar، Noormags، Magiran،
Civilica، RICeST، Ensani
شاپا: ۲۳۴۵-۲۸۷۰

فصلنامه علمی
اقتصاد و مدیریت شهری

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 سلامی، 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 سلامی، 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 عامل‌بنیان زنجیره تأمین در استراتژی‌های بهینه مدیریت ریسک و بهبود عملکرد حوزه‌های اقتصادی است. در این پژوهش از مدل‌سازی عامل‌بنیان یا عامل‌محور استفاده شده است. 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 براساس خط مشی 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. 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 در کارخانه‌ها) و کمینه‌سازی امید ریاضی مجموع هزینه‌های توزیع (شامل هزینه‌های حمل و نقل، نگهداری و کمبود موجودی) را دنبال می‌کنند. پس از اجرای سناریوهای معرفی شده، مشخص شد که در همه سناریوها تقریبا 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 خانواده دیگر کمتر رخ داده است و این موجب افزایش رضایتمندی مشتریان در طول زنجیره تامین پایدار شده است. همچنین با تحمیل یک حد بالای مجاز برای ریسک های اشی از انتشارگازهای گلخانه ای، 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.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی عامل‌بنیان، زنجیره تأمین، مدیریت ریسک، بهبود عملکرد اقتصادی

* نویسنده مسئول: abedi.sadegh@gmail.com

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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 درسطح 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 درون‌سازمان 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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 تأمین در استراتژی‌های بهینه مدیریت ریسک و بهبود عملکرد حوزه‌های اقتصادی پرداخته می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

الف) پژوهش‌های خارجی

دیوا گانش و کالپانا[1] (۲۰۲۲) در پژوهش خود به با استفاده از رویکرد هوش مصنوعی به بررسی و مقایسه این تکنیک با رویکردهای مدیریت ریسک زنجیره تأمین در مقالات منتشر شده در بین سال‌های۲۰۱۰تا ۲۰۲۱ در سه پایگاه داده علمی پرداختند.

کونگ[2] و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با استفاده از رویکرد سیستم داینامیک رفتارهای دینامیکی و سنتز کنترل سیستم، زنجیره تأمین 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[3] و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله خود یک مدل مبتنی بر عامل را در یک زنجیره تأمین حمل و نقل برای کشف یک مسیر حیاتی که از طریق آن یک تأثیر فاجعه بار بر اقتصاد ایجاد می‌کرد 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[4] و همکاران (۲۰۲۱) مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه مکان‌یابی، موجودی و مسیریابی در شبکه زنجیره تأمین دو سطحی سبز تحت شرایط همکاری و عدم همکاری مورد بررسی قرار گرفته است.

زاوالا[5] 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 تأمین، حاصل کار آنان بود.

مزوگویی[6] 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

1- Deiva Ganesh & Kalpana
2- Kong
3- Colon
4- Aloui
5- Zavala
6- Mzougui

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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

حبیبی[1] 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[2] (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 عجین 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 عجین 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.

کرمی 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

1- Habibi

2- Shevchenko

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

اسلامی ارزشیابی عملکرد کارکنان، زمینه بهبود عملکرد کارکنان و به‌تبع آن‌سازمان را فراهم کنند.

رجب‌پور و فتحی (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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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 قرارگرفته‌اند، 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 وکاری 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 بقای‌سازمان را تهید 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 پاپاپلوس[1] (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.

1- Giannakis & Papadopoulos

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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، می‌تولند عملکرد شرکت را به طور قلبل 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 پژوهس 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

چرخه، σD انحراف معیار استاندارد تقاضا وσDLT 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.

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.

متغیرهای مورد بررسی به شرح زیر هستند:

* ورودی‌ها

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.

* خروجی‌ها

فروش از دست رفته (در واحد موردنظر)، مقادیر مواد تأمین‌کنندگان، مقدار محصول تولید شده، تقاضای واقعی، مقادیر معیوب در تولید محصول.

* پارامترها و متغیرهای مسئله

XR_{njt} تعداد کالای تولید شده نوع n در اوقات عادی در کارخانه j در دوره t

XO_{njt} تعداد کالای تولید شده نوع n در اوقات اضافه کاری در کارخانه j در دوره t

L_{jt} تعداد کارکنان تولیدی در کارخلنه j در دوره t

F_{jt} تعداد کارکنان تولیدی اخراج شده در کارخانه t در دوره t

H_{jt} تعداد کارکنان تولیدی استخدام شده در کارخانه j در دوره t

$I1_{njt}$ سطح موجودی کالای نوع n (1, 2, …, N) در کارخانه j درانتهای دوره t (1, 2, …, T)

$I2_{nit}$ سطح موجودی کالای نوع n در نقطه تقاضای i (1, 2, …, I) در انتهای دوره t

XQ_{nkjgt} تعداد کالایی از نوع n که از تأمین کننده s (1,. . . , S) به تولیدکننده j با استفاده از وسیله حمل و نقل g در دوره t ارسال می‌شود.

YQ_{njigt} تعداد کالای نوع n که از کارخلنه j به نقطه تقاضای i توسط وسیله حمل و نقل g در دوره t ارسال می‌شود.

b_{nit} تعداد کمبود کالای n در نقطه تقاضای i در دوره t

Y_{nit} متغیر صفر و یک که مشخص می‌کند آیا کارخانه j در دوره t کالای نوع n را تولید کرده است یا خیر.

XV_{kjgt} تعداد وسیله حمل و نقل نوع g که برای حمل و نقل بین تأمین‌کننده k و کارخانه j در دوره tاستفاده شده است.

YV_{jigt} 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.

D_{nit} / D^{s}_{nit} تقاضای کالای n در نقطه تقاضای i در دوره t تحت سناریوی s

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

CR_{jn}	هزینه متغیر تولید محصـــول نوع n در اوقات عادی در کارخانه j
CO_{jn}	هزینه متغیر تولید محصـــول نوع n در اوقات اضافه کاری در کارخانه j
PC_{nj}	هزینه راه‌اندازی تولید محصـول نوع n در کارخانه j
P_{ni}	قیمت فروش کالای نوع n در نقطه تقاضای i
SC_{j}	هزینه نیروی کار در کارخانه j
a_{nj}	نیروی کار مورد نیاز برای تولید یک واحد کالای نوع n در کارخانه j
FC_{j}	هزینه اخراج در کارخانه j
HC_{j}	هزینه استخدام در کارخانه j
$CI1_{nj}$	هزینـه نگهـداری کـالای نوع n در کارخانه j
$CI2_{ni}$	هزینـه نگهـداری کـالای نوع n در نقطه تقاضای i
α	ضریب مجاز اضافه کاری
TV_{g}	هزینه متغیر حمل و نقل وسیله نوع g
TF_{g}	هزینه ثابت حمل و نقل وسـیله نوع g
$d1_{kj}$	فاصله بین تأمین‌کننده k و کارخانه j
$d2_{ji}$	فاصله بین کارخانه j و نقطه مشتری i
CM_{nk}	قیمت خرید ماده اولیه n از تـأمین کننده k
$CP1_{j}$	ظرفیت انبارش کارخانه j
$CP2_{j}$	ظرفیت انبارش در نقطه مشتری i
CS_{nk}	ظرفیت تولید ماده اولیه n توســط تأمین کننده k در هر دوره
v_{n}	حجم واحد کالای نوع n (m^3)
V_{g}	حجم بـار وســیلـه حمـل و نقـل g (m^3)
GHG_{g}	میزان انتشــار گـاز CO_2 توســط وســیلـه حمـل و نقـل g در واحـد مسافت
GHl_{jt}	سـطح مجاز انتشـار گازهای گلخانه ای در هر دوره توسط کارخانه j
WT	حجم مجاز پســماندهای صــنعتی تولید شده توسط هر کارخانه
wp	پسماند تولید شده توسط یک واحد کالای نوع n در کارخانه j
LT_{nkjg}	زمان تدارک برای ارسـال کالای نوع n از تـأمین کننـده k به کـارخانـه j توسط وسیله حمل g
LT_{njig}	زمان تدارک برای ارسـال کالای نوع n از کارخلنه j به نقطه مشـــتری i توسط وسیله حمل g
π_{ni}	هزینه کمبود محصـــول n در نقطه تقاضای i

(۲)

$$L_{jt}, F_{jt}, H_{jt}, XV_{kjgt}, YV_{jigt}\, integer$$
$$.I1_{njt}, I2_{nit}, XQ_{nkjgt}, YQ_{njigt}, XR_{njt}, XO_{njt} \geq 0$$
$$Y_{jt} \in \{0,1\}$$

تابع هدف مدل پیشنهادی، کمینه‌سازی زیان کل سـیسـتم تولیدی و زنجیره تأمین اسـت و شـامل هزینه‌های نیروی انسـانی (حقوق، اسـتخدام و اخراج)، هزینه نگهداری موجودی در کارخانه‌ها و نقاط مشـتری، هزینه‌های حمل و نقل، هزینه‌های تولید در وقت عادی، اضافه کاری، هزینه‌های خرید و هزینه‌های کمبود که از آن درآمد حاصـل از فروش کل، کسـر شـده اسـت. محدودیت ارائه شـده در رابطه (۲) برای یک تابع چند ضـابطه‌ای غیرخطی به منظور تخفیف مقداری در نظر گرفته شده است که به فرم کلی رابطه (۳) است.

(۳)

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

$$L_{jt}, F_{jt}, H_{jt}, XV_{kjgt}, YV_{jigt}\ integer$$
$$.I1_{njt}, I2_{nit}, XQ_{nkjgt}, YQ_{njigt}, XR_{njt}, XO_{njt} \geq 0$$
$$Y_{jt} \in \{0,1\}$$

در رابطه (۳)، r_i 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)

$$L_{jt}, F_{jt}, H_{jt}, XV_{kjgt}, YV_{jigt}\ integer$$
$$.I1_{njt}, I2_{nit}, XQ_{nkjgt}, YQ_{njigt}, XR_{njt}, XO_{njt} \geq 0$$
$$Y_{jt} \in \{0,1\}$$

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 به‌کار 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 (t_m) معرفی می‌شود. همچنین متغیر XQ_{nkjgt} را به متغیر جدید نظیر $\overset{m}{XQ}_{nkjgt}$ تبدیل می‌کنیم که در آن

$$.XQ_{nkjgt} = \sum_{m'=1}^{m-1} \overset{m'}{XQ}_{nkjgt}$$

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 رابه در رابطه (۶) و (۷) ارائه شده است.

(۵)

$$L_{jt}, F_{jt}, H_{jt}, XV_{kjgt}, YV_{jigt}\ integer$$
$$.I1_{njt}, I2_{nit}, XQ_{nkjgt}, YQ_{njigt}, XR_{njt}, XO_{njt} \geq 0$$
$$Y_{jt} \in \{0,1\}$$

(۶)

s. t.

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

(۷)

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

همانطور که در مدل پیشنهادی مشاهده می‌شود باید عبارت حاصلضرب $\sum_{n,k,j,g,t} CM_{nk}(XQ_{nkjgt}).XQ_{nkjgt}$ در تابع هدف مسئله، خطی شود. برای این منظور مراحل ارائه شده در رابطه‌های (۸) تا (۱۱) باید طی شود.

(۸)

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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

(۹)

s. t.

$$XQ_{nk(m-1)}t_{nkjgt(m-1)} \le \overset{(m-1)}{XQ_{nkjgt}} \le XQ_{nkm}t_{nkjgt(m-1)}$$
$$\forall n,k,j,g,t,m$$

(۱۰)

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

(۱۱)

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

همانطور که مشاهده می‌شود در روش خطی‌سازی پیشنهادی (۸) تا (۱۱) عبارت غیرخطی درجه دوم $\overset{(m')}{XQ^2_{nkjgt}}$ 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[1] (Chang, 2002 and Li & Yu, 1999) استفاده می‌شود. طبق این روش جهت خطی‌سازی تابع $f(x)$ می‌توان از رابطه (۱۲) استفاده کرد.

(۱۲)

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

در رابطه (۱۲)، $L(f(x))$ فرم خطی تفکیک‌پذیر تابع $f(x)$ است. l تعداد تقسیمات است طوری که $a_m \ge x \ge \alpha > 0$. هر چقدر تعداد تقسیمات بیشتر باشد، تخمین انجام شده از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود. S_l شیب خطوط است و با استفاده از رابطه (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[2] (۲۰۰۰) و لی و یو[3] (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، به‌صورت رابطه (۱۴) با محدودیت رابطه (۵) است.

(۱۴)

$$MinL(f(x)) = f(a_1) + s_1(x - a_1) + \sum_{l'=2}^{l-1}(s_{l'} - s_{l'-1})(\xi_{1l'} + x - a_{l'})$$

(۱۵)

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

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 به‌صورت رابطه (۱۶) با محدودیت رابطه (۱۷) است.

(۱۶)

$$MinL(f(x)) = f(a_1) + s_1(x - a_1) + \sum_{l'=2}^{l-1}(s_{l'} - s_{l'-1})(-\xi_{2l'} + u_{l'}a_{l'} + x - a_{l'})$$

1- piecewise linear programming
2- Yu & Li
3- Li & You

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

(۱۷)

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

بنابراین با استفاده از رابطه‌های (۱۴) و (۱۶)، عبارت غیر خطی $XQ^{2}_{nkjgt}{}^{(m')}$ و $B^{2}_{nit}{}^{(q')}$ با عبارات خطی به فرم $L(XQ^{2}_{nkjgt}{}^{(m')})$ $L(B^{2}_{nit}{}^{(q')})$، 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.

(۱۸)

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

$$\sum_{n,i,t} \sum_{q'=1}^{q-1} [(\pi_{niq'} - \gamma_{niq'} B_{niq'}) B^{(q')}_{nit} + \gamma_{niq'} L(B^{2}_{nit}{}^{(q')})] - \sum_{n,j,i,g,t} P_{ni} . YQ_{njigt}$$

(۱۹)

s. t.

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

(۲۰)

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

(۲۱)

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

(۲۲)

$$XQ^{m}_{nkjgt} - a_l + \xi_{2nkjgtml} \geq 0, \forall n,k,j,g,t,m,l$$

(۲۳)

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

زمان تدارک منعطف

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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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 پر هزینه‌تری انتخاب شود، زمان تدارک نیز به تبع آن کاهش می‌یابد. همچنین زمان تدارک با میزان انتشار گازهای گلخانه ای 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 (۳۵) خواهد بود.

(۲۴)

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

(۲۵)

$$SS_s = \sum_{n,i,t} CI2_{ni} . I2^s_{nit} + \sum_{j,i,g,t} TF_g YV^s_{jigt} + \sum_{j,i,g,t} TV_g d2_{ji} . YV^s_{jigt} + \sum_{n,i,t} \sum_{q'=1}^{q-1} [(\pi_{niq'} - \gamma_{niq'} B_{niq'}) B^{s(q')}_{nit} + L(\gamma_{niq'} B^{s(q')2}_{nit}) - \sum_{n,j,i,g,t} P_{ni} . YQ^s_{njigt}$$

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

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

(۲۶)

$$Z_s = FS + SS_s$$

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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

(۲۹)

$$Minimize\ Z = FS + E(SS_s)$$

(۲۸)

$$s.t.$$

$$I2^s_{ni(t-1)} + \sum_{j,g} YQ^s_{njig(t-LTjig)} - D^s_{nit} - B^s_{ni(t-1)} = I2^s_{nit} - B^s_{nit}$$

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

(۲۹)

$$\sum_{k,g} XV_{kjgt}.GHG_g.d1_{kj} + \sum_{i,g} YV^s_{jigt}.GHG_g.d2_{ji} \le GHl_{jt}$$

$$\forall j,t,s$$

(۳۰)

$$\sum_{k,g,t} XV_{kjgt}.EU_g.d1_{kj} + \sum_{i,g,t} YV^s_{jigt}.EU_g.d2_{ji} \le EUI_j$$

$$\forall j,s$$

(۳۱)

$$\forall i,t,s \ \sum_n I2^s_{nit} \le CP2_i$$

(۳۲)

$$(YV^s_{jigt} - 1)V_g \le \sum_n v_n.YQ^s_{njigt} \le YV^s_{jigt}V_g$$

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

(۳۳)

$$\forall n,j,t,s \ \sum_{i,g} YQ^s_{njigt} \le XO_{njt} + XR_{njt}$$

(۳۴)

$$B_{ni(q-1)}\tau^s_{nit(q-1)} \le B^{(q-1)s}_{nit} \le B_{niq}\tau^s_{nit(q-1)}$$

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

(۳۵)

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

(۳۶)

$$\forall n,i,s \ B^s_{nit} = \sum_{q'=1}^{q-1} B^{q's}_{nit}$$

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[1] امید ریاضی هزینه‌های کل سیستم تولیدی بیان کرد. مستقل از نوع تابع توزیع به‌کار رفته در تولید سناریوها و پارامترهای غیرقطعی، تخمین انحراف معیار نمونه‌ای برای هزینه کل سیستم تولیدی به صورت رابطه (۳۷) محاسبه می‌شود.

(۳۷)

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

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

(۳۸)

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

1- Confidence interval

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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.

(۳۹)

$$\Pr(\varphi \le \Phi_{\alpha/2}) = 1-\alpha/2$$
$$\varphi \approx N(\mu=0,\sigma=1)$$

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 لنحراف معیار نمونه‌ای $S(n)$ و نیز در نظر گرفتن حداکثر خطای ممکن (er) برای سطح اطمینان $1-\alpha/2$، حد پایین تعداد سناریوی مورد نیاز با استفاده از رابطه (۴۰) به دست می‌آید.

(۴۰)

$$n' \ge \left[\frac{\Phi_{\alpha/2} S(n)}{er}\right]^2$$

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 (مثلا $n \le 30$)، 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 er محاسبه می‌شود.

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

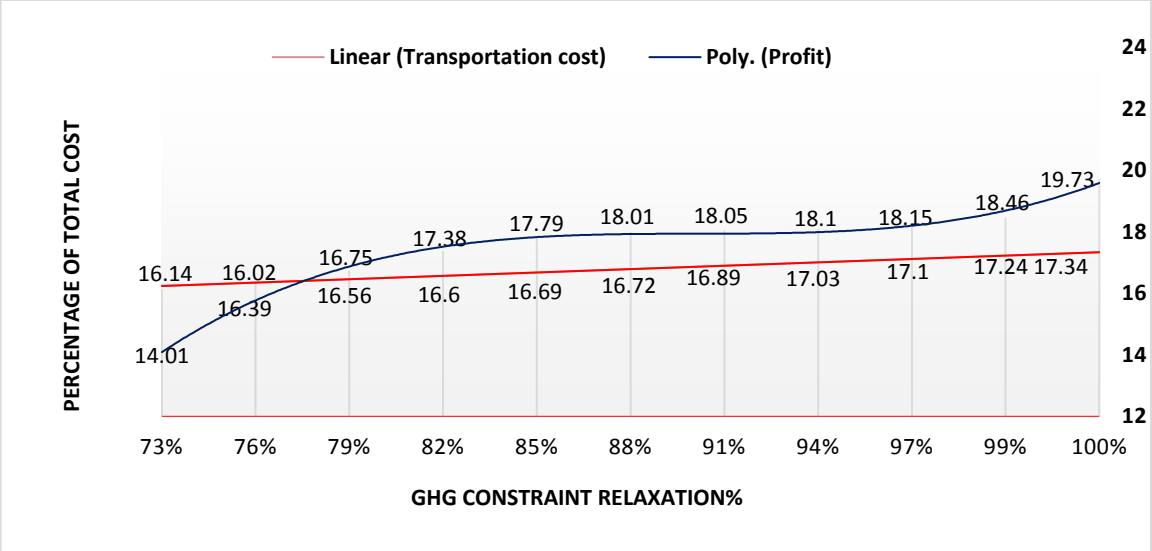
همه محاسبات با استفاده از الگوریتم CPLEX در نرم‌افزار IBM ILOG CPLEX 12.2 روی یک کامپیوتر شخصی پنتیوم چهار با پردازشگر ۲/۵ گیگاهرتزی دو هسته و با حافظه داخلی ۲ گیگا بایتی تحت ویندوز ویستا اجرا شده است. همه نتایج گزارش شده در این قسمت بر اساس داده‌های مثال فرضی است. جدول (۱) هر یک از اجزاء توابع هدف و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

جدول ۱- مقادیر عناصر تابع هدف مسئله

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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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 تجریه تحلیل می‌کنیم. نتایج در شکل (۱) نشان داده شده است.

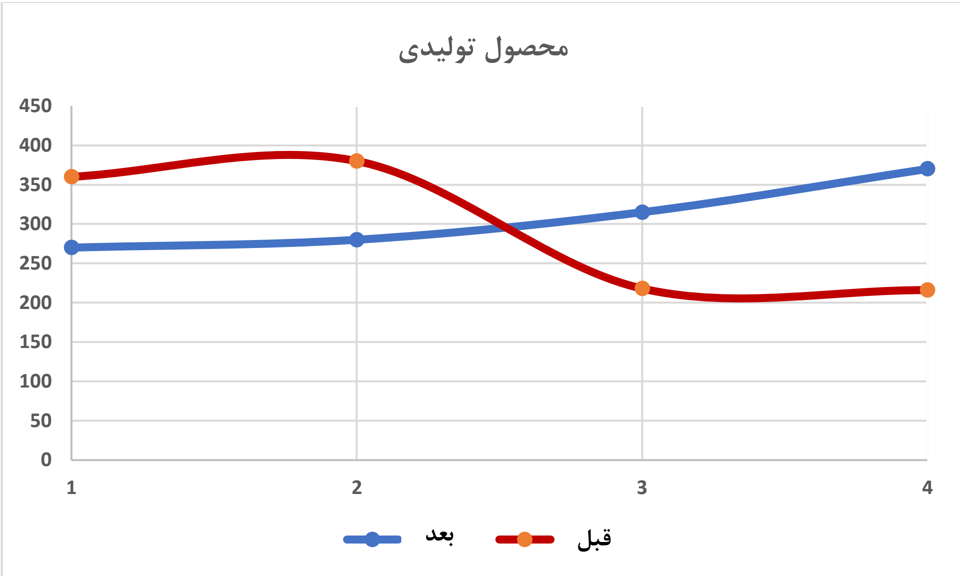


نمودار ۱- هزینه حمل و نقل و سود حاشیه‌ای محدودیت انتشار گازهای گلخانه‌ای

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 حمل‌ونقل همچنان با یک روند خطی کاهش می‌یابد در حالی‌که 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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 محدودیت های مربوط به میزان مجاز پسماندهای صنعتی، سود حاشیه ای 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 حجم های کوچکتری از نظر تعداد قراردارند و پسماند کمتری تولید می کنند و سودآوری بیشتری دارند، متناسب با تقاضا افزایش می‌یابد. نمودار ۲ نرخ متوسط تولید برای دسته های 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

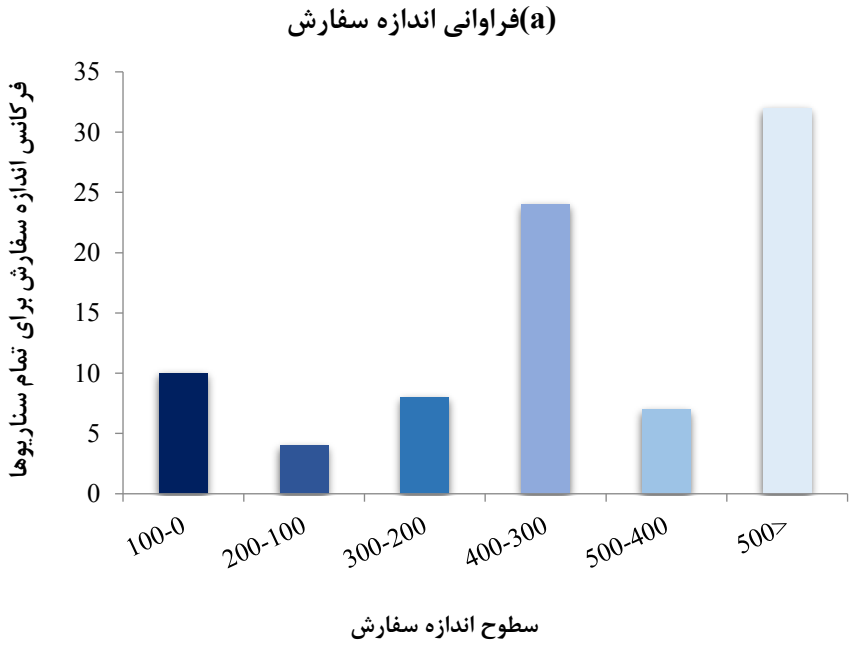
سناریو	هزینه کل	(-Z)سود	هزینه نیروی کار	هزینه حمل	هزینه کمبود	هزینه خرید	هزینه تولید و موجودی
۱	۹۹۲۸۰۵	۸۳۶۳۸	۲۶۳۹۶۰	۱۵۵۴۹۰	۱۸۱۳۵	۱۳۱۰۴۰	۱۲۴۲۱۸۰
۲	۹۴۵۵۸۰	۸۱۷۹۶	۲۴۲۲۹۰	۱۵۴۸۰۰	۱۵۷۶۵	۱۲۴۵۰۰	۴۰۸۲۲۵
۳	۹۶۳۸۲۹/۴	۱۰۴۲۱۰	۲۴۶۵۰۰	۱۵۷۰۳۰	۷۲۲۹/۴	۱۲۹۱۱۰	۴۲۳۹۶۰
۴	۹۴۴۵۷۹	۱۲۰۵۱۰	۲۵۳۱۱۰	۱۵۲۰۶۰	۲۹۷۴	۱۲۸۶۳۰	۴۰۷۸۰۵
۵	۹۶۸۵۲۷	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	۴۱۵۷۲۳/۲
انحراف استاندارد	۱۸۲۱۱/۳۱	۱۸۱۱۸/۲۳۴	۷۱۷۸/۲۸۰۵	۲۲۳۵/۸۵	۷۲۱۳/۹۲۷	۱۷۹۷/۵۴	۶۷۶۰/۷۷۱۲

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

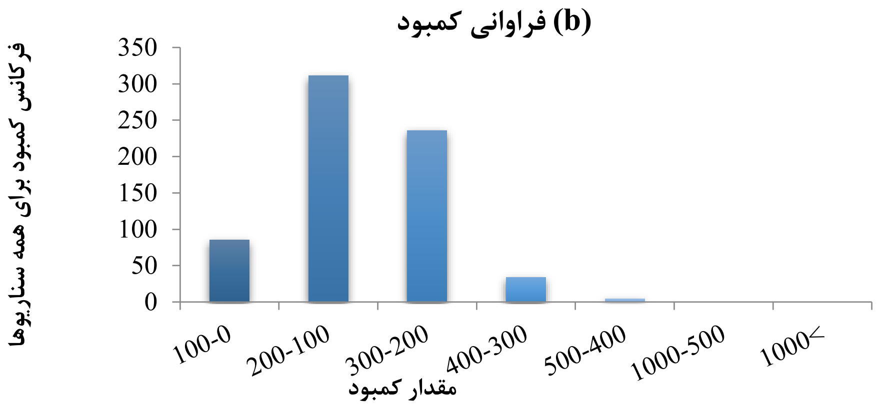
با استفاده از معادلات مربوط به تخمین تعداد سناریوها و در نظر گرفتن سطح اطمینان ۰/۹۵ و حداکثر خطای قابل قبول $E(Z)\times$ ۰/۰۵ ، حداقل تعداد سناریو برابر ۶۰ به دست می‌آید. هر چقدر حداکثر خطای قابل قبول کمتر باشد، تعداد سناریوی لازم برای رسیدن به سطح اطمینان مورد نظر افزایش می‌یابد. برای مثال، برای رسیدن به سطح حداکثر خطای قابل قبول ۴، ۳ و ۲ درصد امید ریاضی هزینه‌ها، حد پایین تعداد سناریوهای مورد نیاز به ترتیب برابر ۹۱، ۱۶۲ و ۳۶۵ 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 ۳ درصد هزینه‌های کل سیستم تولیدی به ۱/۳ 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 ($100 < B_{nit} < 500$) که در شکل (b۳) 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 (>۵۰۰). طبق شکل (a۳) سفارشات با حجم بیش از ۵۰۰ 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.



[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]



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

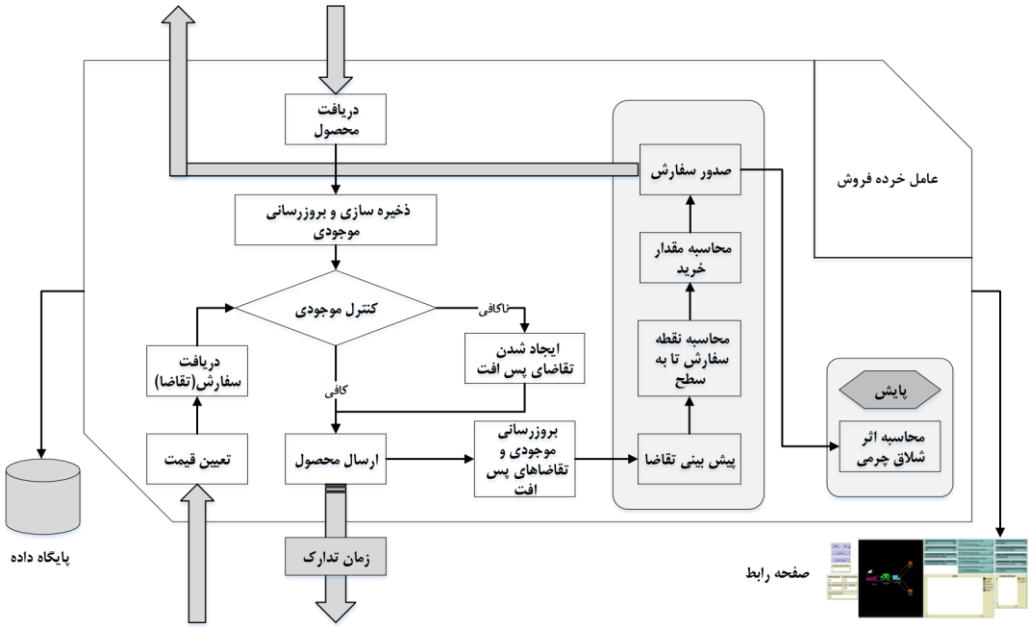
رویکرد عامل‌بنیان و پیاده‌سازی آن

در میان تکنیک‌های شبیه‌سازی، سیستم مدل‌سازی عامل‌بنیان، یک زمینه تکنیکی نوظهور است. با توجه به فرضیات مسئله، مشخص شد که سیستم زنجیره تأمین غیرخطی است و استفاده از مدل بازی قیمت‌گذاری، سیستم را پیچیده‌تر می‌کند. همچنین برای اعمال پویایی به مدل رقابت، نیاز است که از شبیه‌سازی عامل‌بنیان استفاده شود. مدل مسئله در نرم‌افزار پیاده‌سازی شده است.

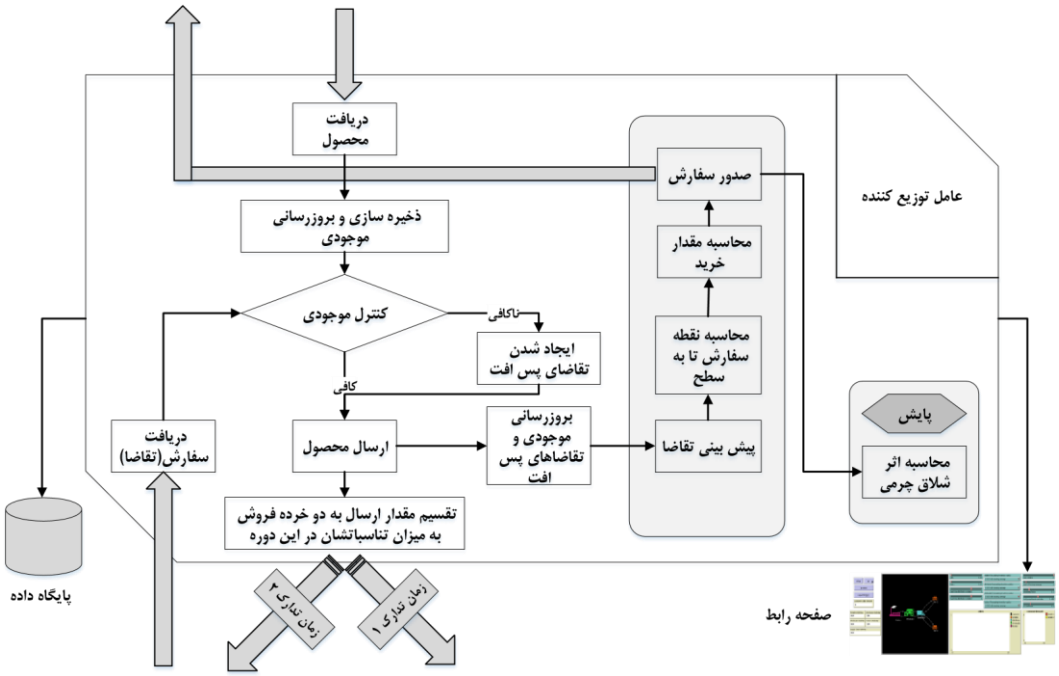
در مدل ارائه شده، پنج عامل شامل دو خرده‌فروش، یک توزیع‌کننده، یک عمده‌فروش و یک کارخانه، معرف اعضای مختلف زنجیره تأمین هستند. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به نمایش مفهومی کارکرد هر یک از اعضای زنجیره تأمین می‌پردازد.

در صفحه رابط، کاربر می‌تواند خط‌مشی بازپرسازی و پیش‌بینی هر یک از رده‌های زنجیره تأمین را انتخاب کند. ضرایب هر یک از روش‌های پیش‌بینی و بازپرسازی و ضرایب تعدیل، قیمت خرده‌فروشان را تعیین کند. همچنین می‌تواند زمان تدارک ارسال محصول به خرده‌فروشان را متفاوت در نظر بگیرد (به عنوان مثال، یکی از خرده‌فروشان در منطقه دورتری قرار دارد و برای ارسال محصول به آن مدت زمان بیشتری مورد نیاز است.). در مقابل کاربر می‌تواند 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 خرده‌فروش را نیز به تفکیک رصد کند. علاوه بر این، می‌تواند به تعداد دلخواه تعداد دوره اجرای مدل را تعیین کند.

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

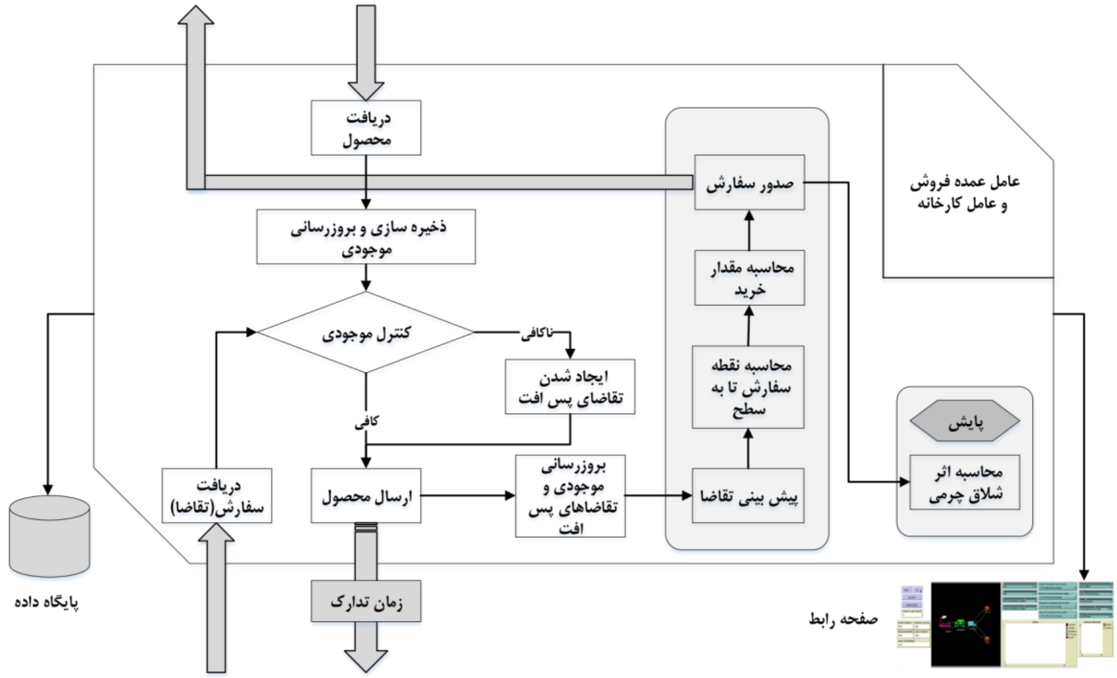


شکل ۱- نمایش مفهومی کارکرد هر یک از خرده‌فروشان



شکل ۲- نمایش مفهومی کارکرد توزیع‌کننده

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]



شکل ۳- نمایش مفهومی کارکرد عمده‌فروش و کارخانه

اعتبارسنجی و صحه‌گذاری (راستی‌آزمایی)

از آنجا که مدل ارائه شده، مدل جدیدی است و مسئله‌ای کاملاً مشابه با آن در ادبیات مورد بررسی قرار نگرفته است، مدل مقالات نزدیک به مدل ارائه شده، طبق رویکرد مسئله این تحقیق پیاده‌سازی شده است و نتایج مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در جدول (۳) به پیاده‌سازی مدل مقاله پونته و همکاران[1] پرداخته شده و طبق شرایط معین و برای حالت تک خرده‌فروشی، نتایج مدل پیاده‌سازی شده و مدل مقالات مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

- ✓ همانطور که مشخص است، نتایج به‌دست آمده، تصدیق‌کننده اعتبار مدل شبیه‌سازی توسعه داده شده با دقت مناسبی است. از آن‌جایی که بازه حاصل از نتایج شبیه‌سازی دربر گیرنده نتایج دو مدل دیگر است (یعنی فرض صفر برابری میانگین‌ها قابل رد شدن نیست)؛ از این‌رو، اعتبار الگوریتم شبیه‌سازی در بخش‌های مربوط به زنجیره تأمین و موجودی قابل تأیید است.

1- Ponte

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

جدول ۳- اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی عامل‌بنیان زنجیره تامین

پارامترهای مسئله	مدل شبیه‌سازی(پونته، ۲۰۱۷)					نتایج شبیه‌سازی				
	BERet	BEDist	BEWhole	BEFact	BESC	BERet	BEDist	BEWhole	BEFact	BE_{SC}
سیاست موجودی OUT پیش‌بینی میانگین متحرک با ۵ = SPAN تابع تقاضای یکنواخت موجودی دردسترس انبار = ۱۵ واحد	۱.۴۶۱∓۰.۰۱	۱.۴۹۷∓۰.۰۲	۱.۶۸۰∓۰.۰۱	۱.۶۹۰∓۰.۰۱	۶.۴۱۰∓۰.۰۹	۱.۵۰۱∓۰.۰۱۲	۱.۵۶۰۲∓۰.۰۱۱	۱.۷۲۹∓۰.۰۰۷	۱.۶۸۹∓۰.۰۰۵	۶.۳۶۶∓۰.۱۱
سیاست موجودی OUT تقاضا با ضریب همبستگی ۰/۳ تابع تقاضای یکنواخت موجودی دردسترس انبار = ۰ واحد	۱.۶۳∓۰.۰۳	۱.۵۷∓۰.۰۳	۱.۶۱∓۰.۰۳	۱.۷۰∓۰.۰۲	۶.۵۱∓۰.۴۵	۱.۴۹۵∓۰.۰۱۵	۱.۵۹۲∓۰.۰۰۹	۱.۵۲۱∓۰.۰۰۵	۱.۷۰∓۰.۰۰۵	۶.۲۵۵∓۰.۱۰۹
سیاست موجودی OUT پیش بینی خوش بینانه تابع تقاضای نرمال بدون در نظر گرفتن موجودی دردسترس انبار	-	-	-	-	۲۳۲.۱∓۱۰۴۳	-	-	-	-	۲۱۹.۱۴
سیاست موجودی OUT پیش بینی خوش بینانه تقاضا با ضریب پوآسون ۱۰۰ بدون در نظر گرفتن موجودی دردسترس انبار	-	-	-	-	۲۴۸.۳۶∓۲۷.۶۳	-	-	-	-	۲۲۰.۷۲

به منظور بررسی اعتبار مدل بازی قیمت‌گذاری از اعتبارسنجی پیش‌بینی شده، استفاده شده است؛ به این صورت که بین رفتار مدل و رفتاری که از مدل انتظار می‌رود داشته باشد، مقایسه‌ای صورت می‌پذیرد.

- ✓ مدل قیمت‌گذاری کاملاً منطبق با انتظارات عمل می‌کند. از آنجایی که اگر ضرایب تعدیل قیمت به گونه‌ای تنظیم شوند که مدل در حالت پایدار باشد، پس از چند دور انجام بازی تکاملی توسط خرده‌فروشان، مشاهده می‌شود که هنگام رسیدن به تعادل، قیمت هر خرده‌فروش مقدار ثابتی می‌شود که دقیقا برابر با نقطه تعادل نش است.
- ✓ اگر ضرایب تعدیلی که انتخاب می‌شوند، طبق معیار جری، منجر به سیستم ناپایدار شود، مدل شبیه‌سازی عامل‌بنیان ارائه شده نیز سیستم ناپایداری را نمایش می‌دهد و در غیر این صورت مدل شبیه‌سازی به یک شرایط پایدار می‌رسد و پس از آن مقدار تقاضا و قیمت هر خرده‌فروش پایدار می‌شود.

با اتمام این مراحل، اعتبارسنجی و صحه‌گذاری مدل به پایان می‌رسد.

معرفی سناریوهای مسئله و تجزیه وتحلیل نتایج

۱۰ سناریو بصورت تصادفی تولید نموده و مسئله را به ازای هر سناریو جداگانه حل می‌کنیم. 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 می‌زنیم.

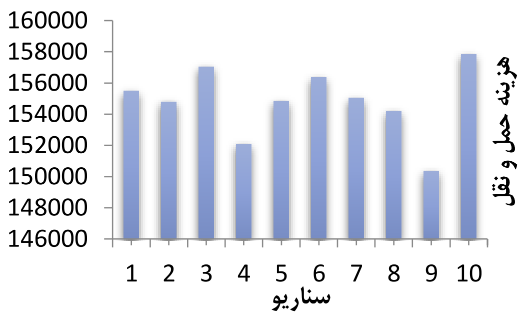
[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

جدول ۴- اجزای تابع هدف سناریوهای مسئله

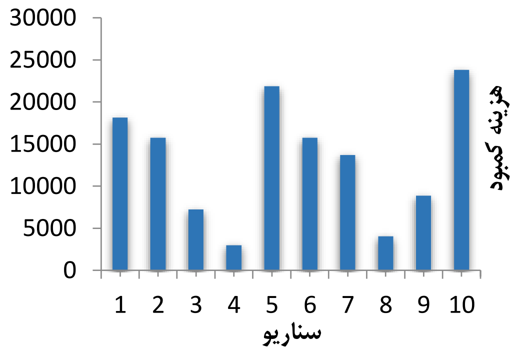
سناریو	هزینه کل	سود (Z-)	هزینه نیروی کار	هزینه حمل	هزینه کمبود	هزینه خرید	هزینه تولید و موجودی
1	992805	83638	263960	155490	18135	131040	424180
2	945580	81796	242290	154800	15765	124500	408225
3	963829.4	104210	246500	157030	7229.4	129110	423960
4	944579	120510	253110	152060	2974	128630	407805
5	968527	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

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

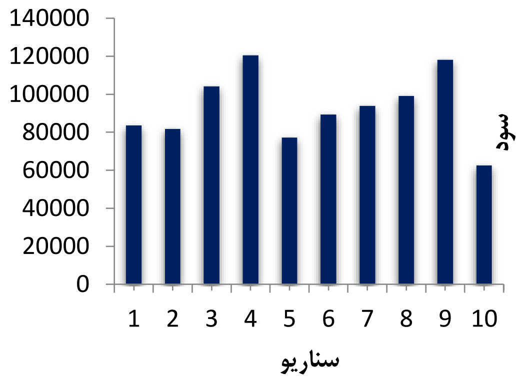
(a)



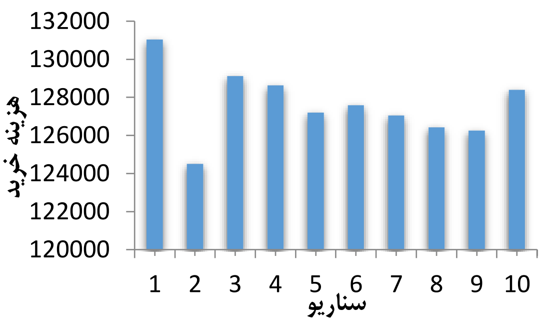
(d)



(b)



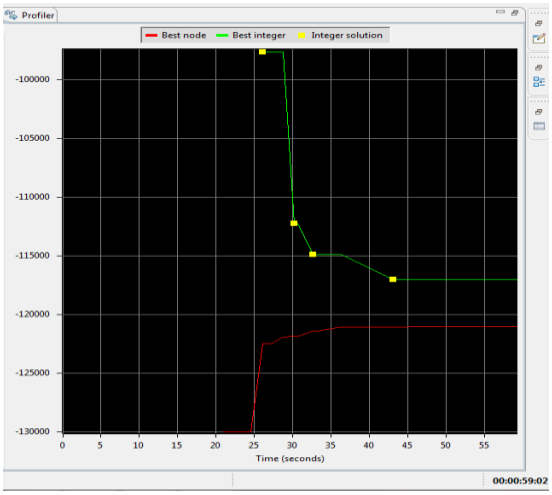
(c)



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.

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

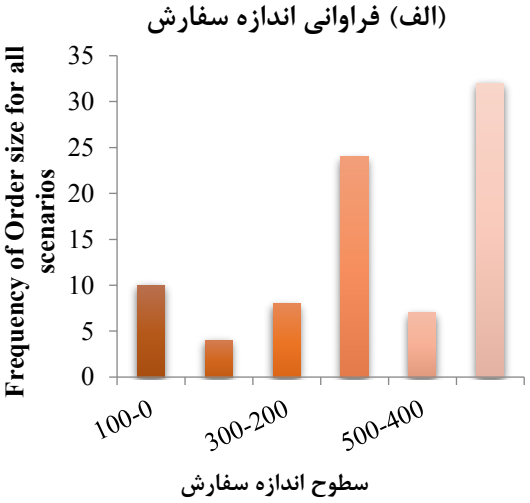
لازم به ذکر است هرچقدر حداکثر خطای قابل قبول کمتر باشد تعداد سناریوی لازم برای رسیدن به سطح اطمینان مورد نظر افزایش می‌یابد. برای مثال برای رسیدن به سطح حداکثر خطای قابل قبول ۴، ۳ و ۲ درصد امید ریاضی هزینه ها، حد پائین تعداد سناریوهای مورد نیاز به ترتیب برابر ۹۱، ۱۶۲ و ۳۶۵ بدست می‌آید. در این قسمت تعداد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

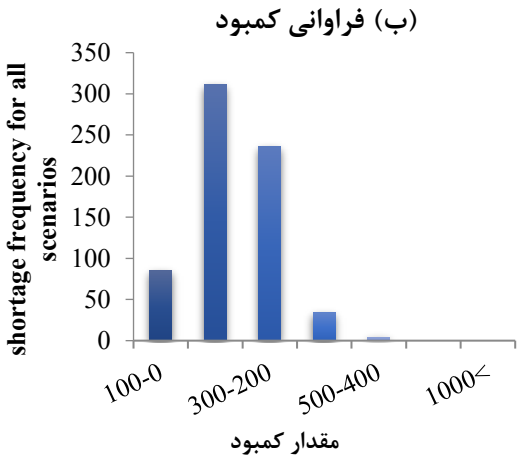


شکل ۴-همگرائی الگوریتم CPLEX به جواب بهینه

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<Bnit<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 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 تصمیم گیری راجع به آن قبل از تحقق مقادیر واقعی پارامترها صورت می‌پذیرد.





[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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

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 رخداد سناریوهای نامحتمل، غیر از امید ریاضی، معیار تغییرپذیری نرم را به تابع هدف مدل پیشنهادی می‌افزاییم.

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

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

s.t.

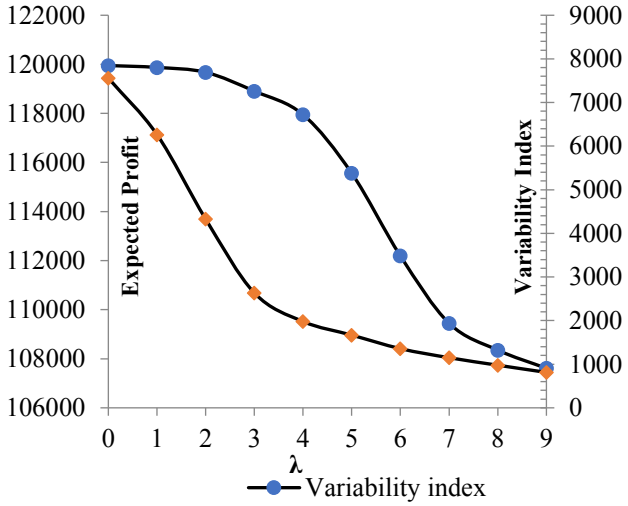
$$semivar_s^+ \geq SS_s - E(SS_s),\ \forall s$$

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

و سایر محدودیت‌های مدل

که در آن λ وزن نسبی معیار تغییرپذیری است و توسط تصمیم گیر مقداردهی می‌شود.

شکل ۶- نتیجه یک تحلیل حساسیت روی مقدار λرا نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود برای مقادیر بزرگ λ امید ریاضی زیان کل سیستم تولیدی افزایش می‌یابد (سود حاشیه‌ای کاهش می‌یابد) در حالیکه برای مقادیر کوچکتر λ 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 تصمیم گیر با تنظیم λبر اساس میزان ریسک پذیری و ریسک گریزی خود می‌تواند از میان این جواب‌های پارتویی جواب ارجح با سطح اطمینان مورد نظر و حداکثر خطای قابل قبول را برگزیند



شکل ۶- امیدریاضی 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 تأمین 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

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 همانطورکه 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 حللت تقریباً پایدار می‌رسد که در این حللت 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 ایفاکرده است. در مورد تابع تحفیف 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 باحذف 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 دورهای متحمل هزینه زیاد نگهداری موجودی و در دورهای دیگر هزینه کمبود را برایشان دربر داشته باشد.

در هر ۱۰ سناریو تقریبا 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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 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 پایدار 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 مؤثربرعجین شدن شغلی به‌منظور بهبود عملکرد و بهره‌وری کارکنان(موردمطالعه: دانشگاه آزاد اسلامی استان تهران). فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی،۱۷(۶۵)، ۱۶۲-۱۳۷.

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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

کرمی، ذبیح‌اله؛ ترابی، محمدامین و حسینی، سید روح‌اله. (۱۴۰۱). مدل ادراک کارکنان از هوش مصنوعی در کار با استفاده از فن داده‌بنیاد. *فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی*، ۱۷(۶۵)، ۹۰-۵۳.

پزشکی‌فر، سیامک؛ علوی متین، یعقوب و حضرتی، مصطفی. (۱۴۰۱). الگوی اسلامی ارزش‌یابی عملکرد کارکنان. *فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی*، ۱۷(۶۶)، ۳۰-۱.

اصفهانی‌زنجانی، محمد؛ نجفی، امیر؛ نقیلو، احمد؛ محمدی، نبی‌اله. (۱۳۹۹). تبیین فراتحلیل مسائل پایداری زنجیره تأمین و مدیریت ریسک. *کاوش‌های مدیریت بازرگانی*، ۲۳(۱۲)، ۲۱۷-۲۵۳.

جاویدی عبداله زاده اول، نرگس؛ اسدزاده، احمد؛ شهمراد، صداقت. (۱۳۹۸). بررسی تطبیقی سیستم اقتصادی پونزی و غیرپونزی با رویکرد مدل‌سازی عامل-بنیان. *فصلنامه علمی نظریه‌های 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 برنامه‌ریزی 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 پایدار و عملکردسازمانی. سومین کنفرانس علمی دستاوردهای نوین در مطالعات علوم مدیریت، حسابداری و اقتصاد ایران.

روشنی، سعید. (۱۳۹۷). کاربرد مدل‌سازی عامل‌بنیان در تحلیل سیستم‌های پیچیده اجتماعی: روش شناسی تحلیل سیستم‌های پیچیده اجتماعی: روش شناسی تحلیل سیستم‌های 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., Malleson, 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

طراحی الگوی عامل بنیان زنجیره تامین در.../ سعید قاسمی برقی، صادق عابدی، رضا رادفر، مهران خلج ـــ ـــ

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

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.

Fu, Y., & Zhu, J. (2019). Big production enterprise supply chain endogenous risk management based on blockchain. *IEEE access*, 7, 15310-15319.

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.

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.

Koberg, E., & Longoni, A. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. *Journal of cleaner production*, 207, 1084-1098.

a literature review and research framework. *Benchmarking: An International Journal*. 28(2). DOI:10.1108/BIJ-04-2020-0156

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:

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]

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

.

Introductionto Computational Models of Social Life. Princeton University Press, Princeton,NJ.

Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Arti_cial Intelligence*. Addison-Wesley, Harlow, England

[Downloaded from iueam.ir on 2026-05-27]