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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

**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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

| | |
|---|---|
| $CR_{jn}$ | هزینه متغیر تولید محصول نوع n در اوقات عادی در کارخانه j |
| $CO_{jn}$ | هزینه متغیر تولید محصول نوع n در اوقات اضافه کاری در کارخانه j |
| $PC_{nj}$ | هزینه راه‌اندازی تولید محصول 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 |
| $CI1_{nj}$ | 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 تأمین‌کننده 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 ($m^3$) |
| $GHG_g$ | میزان انتشار گاز CO2 توسط وسیله حمل و نقل g در واحد مسافت |
| $GHl_{jt}$ | سطح مجاز انتشار گازهای گلخانه ای در هر دوره توسط کارخانه j |
| $WT$ | حجم مجاز پسماندهای صنعتی تولید شده توسط هر کارخانه |
| $wp$ | پسماند تولید شده توسط یک واحد کالای نوع n در کارخانه j |
| $LT_{nkjg}$ | زمان تدارک برای ارسال کالای نوع n از تأمین کننده k به کارخانه j توسط وسیله حمل g |
| $LT_{njig}$ | زمان تدارک برای ارسال کالای نوع n از کارخانه j به نقطه مشتری i توسط وسیله حمل g |
| $\pi_{ni}$ | هزینه کمبود محصول 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 سیستم تولیدی و زنجیره تأمین است و شامل هزینه‌های نیروی انسانی (حقوق، استخدام و اخراج)، هزینه نگهداری موجودی در کارخانه‌ها و نقاط مشتری، هزینه‌های حمل و نقل، هزینه‌های تولید در وقت عادی، اضافه کاری، هزینه‌های خرید و هزینه‌های کمبود که از آن درآمد حاصل از فروش کل، کسر شده است. محدودیت ارائه شده در رابطه (۲) برای یک تابع چند ضابطه‌ای غیرخطی به منظور تخفیف مقداری در نظر گرفته شده است که به فرم کلی رابطه (۳) است.

(۳)

[ Downloaded from mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

طراحی الگوی عامل بنیان زنجیره تامین در.../ سعید قاسمی برقی، صادق عابدی، رضا رادفر، مهران خلج ـــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــ\ 131

(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)

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

(۱۱)

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

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)

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

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

(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)

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

$$\begin{aligned} & \sum_{n,i,t} \sum_{q'=1}^{q-1} [(\pi_{niq'} - \gamma_{niq'} B_{niq'}) B^{(q')}_{nit} \\ & + \gamma_{niq'} L(B^{2(q')}_{nit})] \\ & - \sum_{n,j,i,g,t} P_{ni} . YQ_{njigt} \end{aligned} \quad (۱۹)$$

s. t.

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

(۲۰)

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

(۲۱)

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

(۲۲)

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

(۲۳)

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

### زمان تدارک منعطف

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

[ Downloaded from mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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)

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

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

(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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

## 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 (μ=400, σ: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.

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 انحراف 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)

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

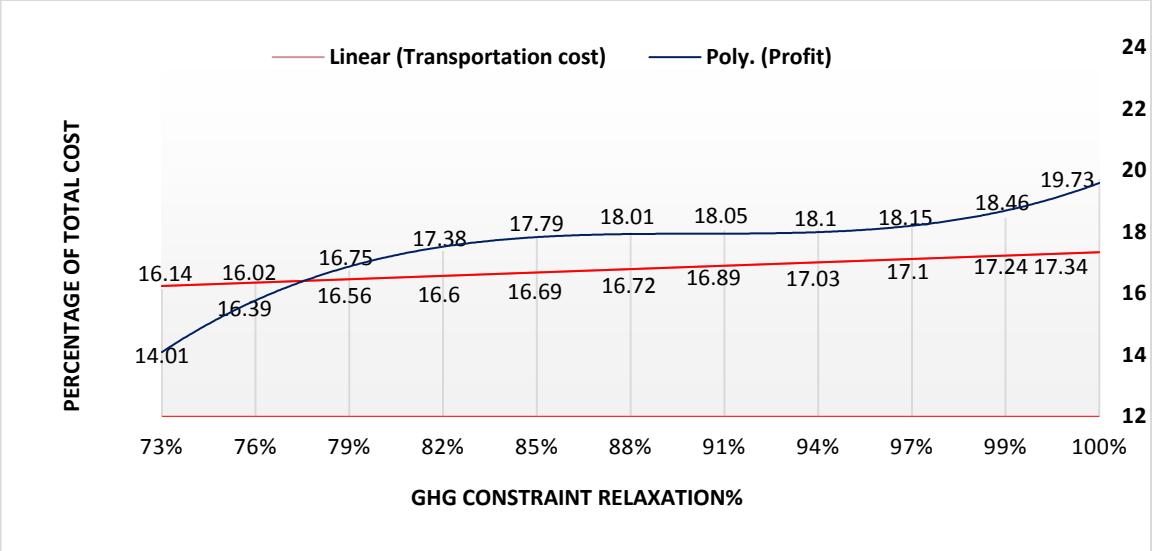
برای به دست آوردن تعداد سناریوهای مورد نیاز (n')، ابتدا مسئله برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای مورد نظر را با تعداد کوچک دلخواه از سناریوها حل می‌کنیم (مثلا $n \le 30$)، سپس بر اساس نتایج به دست آمده، انحراف معیار نمونه‌ای را بر اساس معادله (۳۶) تخمین می‌زنیم (S(n))). پس از آن با استفاده از رابطه (۳۹)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

**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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

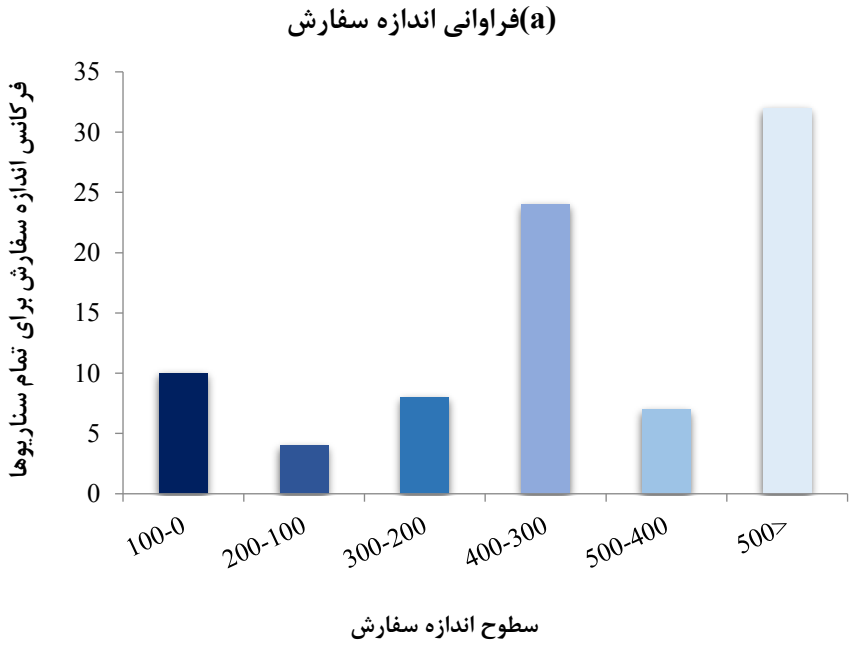
[ Downloaded from mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

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.

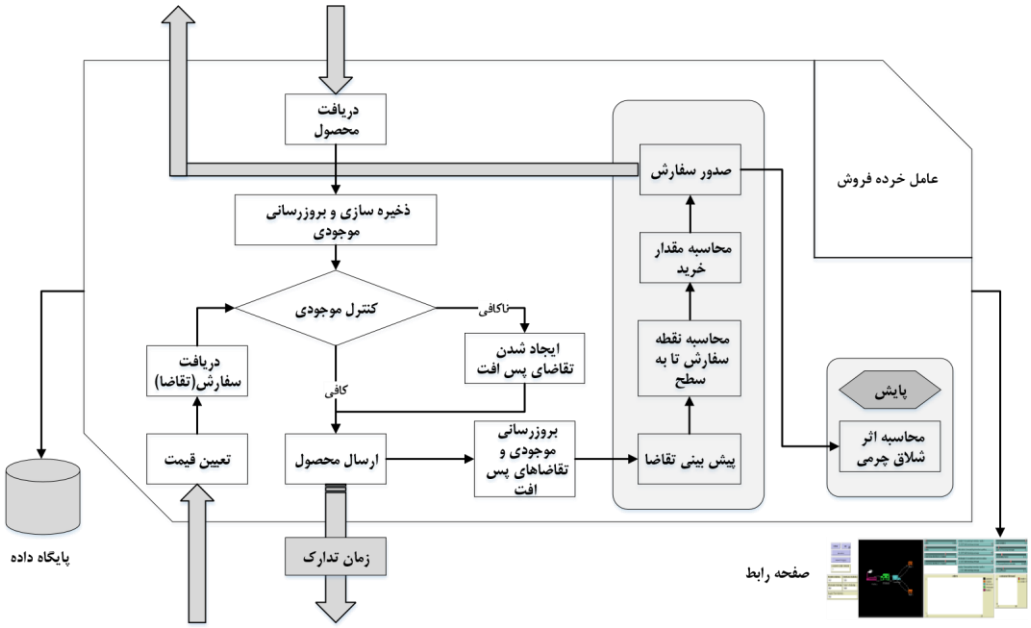
با توجه به تابع چند ضابطه غیرخطی در نظر گرفته شده برای تابع هزینه کمبود، هزینه کمبود در مقایسه با حالت خطی کاهشی محسوسی نشان می‌دهد و از حدود ۳ درصد هزینه‌های کل سیستم تولیدی به ۱/۳ درصد کاهش می‌یابد و این موضوع اهمیت غیرخطی فرض کردن تابع هزینه‌های کمبود را مشخص می‌کند. علاوه بر این، بیشتر کمبودها در بازه دوم تابع چند ضابطه‌ای قرار گرفته‌اند ($۱۰۰ < B_{nit} <۵۰۰$) 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.

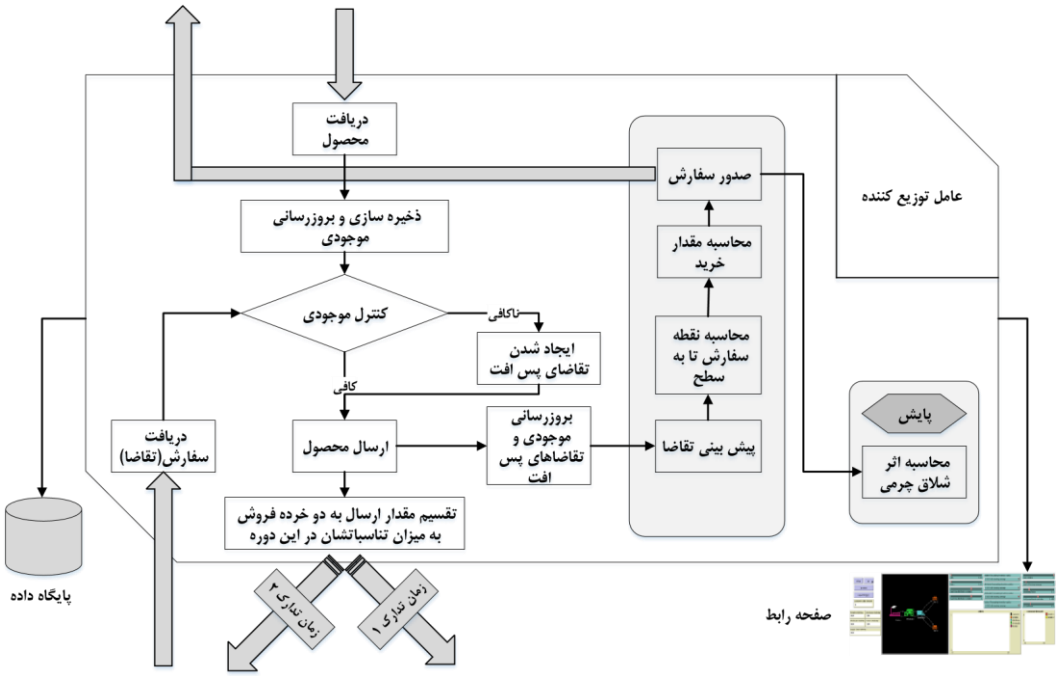



[ Downloaded from mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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




**شکل ۱- نمایش مفهومی کارکرد هر یک از خرده‌فروشان**




**شکل ۲- نمایش مفهومی کارکرد توزیع‌کننده**

[ Downloaded from mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

**جدول ۳- اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی عامل‌بنیان زنجیره تامین**

| پارامترهای مسئله | مدل شبیه‌سازی(پونته، ۲۰۱۷) | | | | | نتایج شبیه‌سازی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BESC | BEFact | BEWhole | BEDist | BERet | $BE_{SC}$ | BEFact | BEWhole | BEDist | BERet |
| سیاست موجودی OUT<br>پیش‌بینی میانگین متحرک با ۵ = SPAN<br>تابع تقاضای یکنواخت<br>موجودی دردسترس انبار = ۱۵ واحد | ۶.۴۱±۰.۰۹ | ۱.۶۹±۰.۰۱ | ۱.۶۸±۰.۰۱ | ۱.۴۹۷±۰.۰۲ | ۱.۴۶۱±۰.۰۱ | ۶,۳۶۶±۰,۱۱ | ۱.۶۸۹±۰.۰۵ | ۱.۷۲۹±۰.۰۷ | ۱.۵۶۰۲±۰.۱۱ | ۱.۵۰۱±۰.۰۱۲ |
| سیاست موجودی OUT<br>تقاضا با ضریب همبستگی ۰/۳<br>تابع تقاضای یکنواخت<br>موجودی دردسترس انبار = ۰ واحد | ۶.۵۱±۰.۴۵ | ۱.۷۰±۰.۰۲ | ۱.۶۱±۰.۰۳ | ۱.۵۷±۰.۰۳ | ۱.۶۳±۰.۰۳ | ۶.۲۵۵±۰.۱۰۹ | ۱.۷۰±۰.۰۰۵ | ۱.۵۲۱±۰.۰۰۵ | ۱.۵۹۲±۰.۰۰۹ | ۱.۴۹۵±۰.۰۱۵ |
| سیاست موجودی OUT<br>پیش بینی خوش بینانه<br>تابع تقاضای نرمال<br>بدون در نظر گرفتن موجودی دردسترس انبار | ۲۳۲.۱±۱.۴۳ | - | - | - | - | ۲۱۹.۱۴ | - | - | - | - |
| سیاست موجودی OUT<br>پیش بینی خوش بینانه<br>تقاضا با ضریب پوآسون ۱۰۰<br>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.

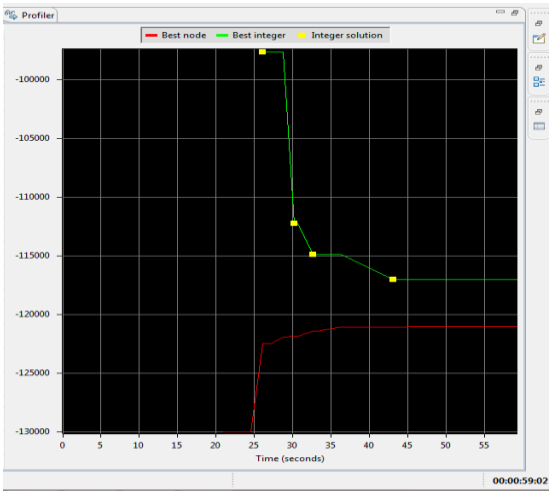
## معرفی سناریوهای مسئله و تجزیه وتحلیل نتایج

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

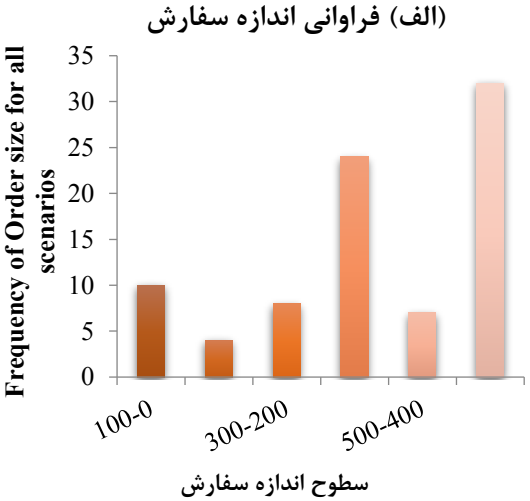
لازم به ذکر است هرچقدر حداکثر خطای قابل قبول کمتر باشد تعداد سناریوی لازم برای رسیدن به سطح اطمینان مورد نظر افزایش می‌یابد. برای مثال برای رسیدن به سطح حداکثر خطای قابل قبول ۴، ۳ و ۲ درصد امید ریاضی هزینه ها، حد پائین تعداد سناریوهای مورد نیاز به ترتیب برابر ۹۱، ۱۶۲ و ۳۶۵ بدست می‌آید. در این قسمت تعداد 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.

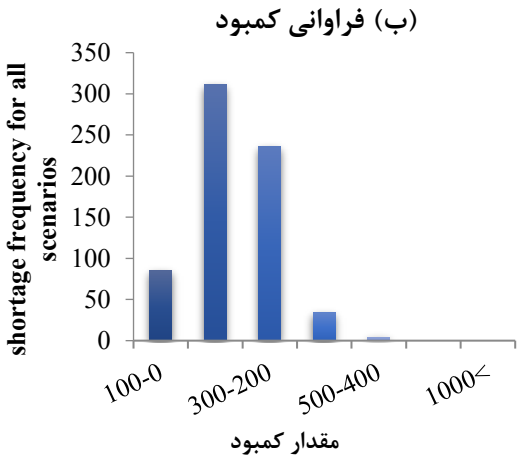



**شکل ۴-همگرائی الگوریتم CPLEX به جواب بهینه**

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

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 می‌یلبد. 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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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

[ Downloaded from mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]

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:

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 mail.iueam.ir on 2026-09-28 ]