

## Multi-Objective Supply Chain Model with Stochastic Demand: An Optimization Approach Based on Simulation and Scenario Development

**Shima Salehi Moghadam** \*

Ph.D. Candidate, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

**Mohammad'Taghi Taghavifard** 

Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

**Ghanbar Abbaspour Esfadan** 

Assistant Professor, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

**Aboutrab Alirezaei** 

Assistant Professor, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

### Abstract

Integration of supply chain decisions reduces costs and delivery time to customers, but uncertainty in supply chain offending parameters, including demand, disrupts this integration. This demand uncertainty has led to an increase in interest in the use of probabilistic planning and simulation models in supply chain modeling. Therefore, the overall purpose of this study was to model and develop a multi-level, multi-product, multi-period supply chain network model with conflicting objectives such as cost minimization, delivery time minimization, and maximizing system-wide reliability. The supply chain network under study had 4 levels or subsystems of suppliers, manufacturers, distributors and retailers. In this study, it was assumed that demand is random and follows a probabilistic distribution function. Therefore, the simulation technique was used to estimate costs including shipping costs and lost sales costs and other costs. After developing a multi-objective model, for the studied problem, scenario building was done based on different perspectives on inventory levels





\* Corresponding Author: shsalehsh9@gmail.com

**How to Cite:** Salehi Moghadam, Sh., Taghavifard, M. T., Abbaspour Esfadan, Gh., Alirezaei, A.(2022). Development of Multi-Objective Supply Chain Model with Stochastic Demand: An Optimization Approach Based on Simulation and Scenario Development, *Journal of Industrial Management Studies*, 20(66), 197-249

(minimum inventory, maximum inventory and average inventory level) and based on each scenario, values related to the objectives were estimated. In the end, based on the Parthian answers obtained for each case of the model, based on Vickor decision-making method, the final ranking of the answers and selection of the best case from the proposed model was performed. Results show that the second scenario, considering the average inventory level, was selected as the best solution for the described model.

**Keywords:** Supply Chain, Multi-Objective Model, Stochastic Demand, Simulation-Based Optimization, Scenario.

## توسعه مدل چندهدفه زنجیره تأمین با تقاضای تصادفی: رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی و تدوین سناریو

- دانشجوی دکتری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی،  
واحد تهران جنوب، تهران. \*  **شیمیا صالحی مقدم**
- استاد، عضو هیئت‌علمی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و  
حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران.  **محمد تقی تقوی فرد**
- استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران  
جنوب، تهران.  **قنبر عباس پور اسفدن**
- استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران  
جنوب، تهران.  **ابوتراب علیرضایی**

### چکیده

یکپارچه‌سازی تصمیمات در زنجیره‌های تأمین منجر به کاهش هزینه‌ها و زمان تحویل سفارش‌ها به مشتریان می‌شود ولی عدم قطعیت در پارامترهای متخلف زنجیره تأمین از جمله تقاضا، این یکپارچه‌سازی را دچار اختلال می‌کند. این عدم قطعیت در تقاضا، منجر به افزایش علاقه‌مندی در استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی احتمالی و شبیه‌سازی در مدل‌سازی زنجیره‌های تأمین شده است. بنابراین هدف کلی از این پژوهش، مدل‌سازی و توسعه مدل شبکه زنجیره‌تأمین چند سطحی، چند محصولی، چند دوره‌ای با اهداف متعارض همچون کمینه‌کردن هزینه، کمینه کردن زمان تحویل و بیشینه کردن قابلیت اطمینان کل سیستم بوده است. شبکه زنجیره تأمین موردبررسی دارای ۴ سطح یا زیرسیستم تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان بوده است. در این پژوهش، فرض بر این بود که تقاضای تصادفی است و از یک تابع توزیع احتمالی پیروی می‌کند. بنابراین از تکنیک شبیه‌سازی برای برآورد هزینه‌ها شامل هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه فروش اذست‌رفته و سایر هزینه‌ها استفاده شد. پس از تدوین مدل چندهدفه، برای مسئله موردبررسی سناریوسازی بر اساس دیدگاه‌های مختلف نسبت به سطوح موجودی (حداقل موجودی، حداکثر موجودی و سطح متوسط موجودی) صورت گرفت و بر اساس هر سناریو مقادیر مرتبط با اهداف موردبررسی برآورد

شد. در انتها نیز بر اساس جواب‌های پارتوی به‌دست‌آمده برای هر حالت از مدل، بر اساس روش تصمیم‌گیری ویکور به رتبه‌بندی نهایی جواب‌های و انتخاب بهترین حالت از مدل پیشنهادی اقدام شد. نتایج حاکی از آن بود که سناریوی دوم یعنی در نظر گرفتن سطح متوسط موجودی به‌عنوان بهترین راهکار برای مدل تشریح شده انتخاب شد.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین، مدل چندهدفه، تقاضای تصادفی، بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی، سناریو.

## مقدمه

امروزه، مدیریت زنجیره تأمین<sup>۱</sup> (SCM) که برنامه‌ریزی تولید برای کل زنجیره تأمین را از تأمین‌کننده مواد اولیه تا مشتری نهایی پوشش می‌دهد، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. مدیریت زنجیره تأمین از نظر رقابت بر اساس قیمت، کیفیت، قابلیت اطمینان، پاسخگویی و انعطاف‌پذیری در بازار جهانی تأثیر فوق‌العاده‌ای بر عملکرد سازمانی دارد (بیلال و حسینا، ۲۰۲۰). مطالعات اخیر نشان داده است که یکپارچه‌سازی تصمیمات مرتبط با تولید و حمل‌ونقل محصولات در زنجیره‌های تأمین منجر به کاهش هزینه‌ها، و زمان تحویل سفارش‌ها به مشتریان شده و متعاقباً به بهبود رقابت در زنجیره تأمین می‌انجامد (اهم و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵). وظیفه مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان این‌گونه برشمرد: «بیشینه کردن ارزش افزوده و کاهش هزینه کل در طول فرآیندهای تجاری با تمرکز بر سرعت و پاسخ به نیاز بازار». امروزه مدیریت زنجیره تأمین به‌عنوان یک الزام، به‌خصوص برای صنایع تولیدی که می‌خواهند محصولاتشان با هزینه‌های رقابتی و کیفیتی بالاتر از رقبایشان در بازار عرضه شود، در آمده است (کاسکان و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵).

در بیشتر طراحی‌های زنجیره‌ای زنجیره تأمین، هدف این بوده است که محصولات از یک‌لایه به لایه دیگر ارسال شود تا بتوانیم تقاضاها را تأمین کنیم تا مبلغ هزینه استراتژیک و تاکتیکی / عملیاتی به حداقل برسد (بیلال و حسینا، ۲۰۲۰). با این حال پیچیدگی‌های موجود در روابط متقابل اجزای مختلف همراه با عدم قطعیت<sup>۴</sup> در سراسر زنجیره، تصمیم‌گیری زنجیره‌تأمین را دچار چالش کرده است (پسندیده و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵). به‌طوری‌که می‌توان گفت زنجیره‌های تأمین سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که عوامل (زیرسیستم‌های) آن دارای تعامل با یکدیگر است و بدین طریق ویژگی‌های جدیدی به دست می‌آورند (لوکینسکی و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۴). در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین با توجه به

- 
1. Supply Chain Management
  2. Ehm et al.
  3. Coskun et al.
  4. Uncertainty
  5. Pasandideh et al.
  6. Lukinskiy et al.

معیارهای متفاوت اثرگذار بر عملکرد زنجیره به‌جای در نظر گرفتن تنها یک عامل، معیارهای دیگر نیز مورد توجه قرار می‌گیرد (تیموری و حافظ‌الکتاب، ۱۳۸۷)، بنابراین طراحی زنجیره تأمین چند هدفه برای مسائلی با اهداف متعارض و متفاوت، به‌منظور در نظر گرفتن هم‌زمان آن‌ها به کار می‌رود و یک توازن میان معیارهای متفاوت برقرار می‌کند (لیانگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳). ماهیت پویا و پیچیده زنجیره تأمین درجه بالایی از عدم قطعیت را در تصمیم‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین تحمیل می‌کند و تأثیر معناداری بر عملکرد کلی شبکه زنجیره تأمین می‌گذارد (کلیبی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰). هنگامی که سیستم پیچیده و شامل تعاملات احتمالی و غیرخطی بسیار در بین عناصر باشد، روش‌های کلاسیک ریاضی همانند مدل‌سازی ممکن است قادر به تحلیل سیستم نباشند، اما شبیه‌سازی معمولاً توانایی تجزیه و تحلیل هر سیستمی را دارد. شبیه‌سازی روشی کارا برای مدل‌سازی مسائل با متغیرهای احتمالی و دارای عدم قطعیت است و از طرفی دیگر روش شبیه‌سازی روشی منعطف بوده که می‌تواند با روش‌های دیگر از جمله الگوریتم‌های فراابتکاری، شبکه عصبی مصنوعی، روش سطح پاسخ و سایر روش‌ها ترکیب شده و یک چارچوب قدرتمند را در زمینه بهینه‌سازی مسائل مختلف شکل دهد. به دلیل مزایایی که روش بهینه‌سازی بر پایه شبیه‌سازی از آن‌ها برخوردار است این روش در سال‌های اخیر به روش پرکاربردی برای بهینه‌سازی و ارتقای عملکرد سیستم‌های پیچیده از جمله انواع مختلفی از زنجیره‌های تأمین تبدیل شده است.

با توجه به موارد ذکر شده مسئله مورد بررسی شامل موارد زیر است:

شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی دارای ۴ سطح یا زیرسیستم است که شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان می‌باشد. مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به کارخانه‌های تولیدی (تولیدکنندگان) ارسال می‌شود، در کارخانه‌ها هر محصول با ترکیب خاصی از مواد خام تولید می‌شود، محصولات از تولیدکنندگان به مراکز توزیع (توزیع‌کنندگان) و از آنجا به خرده‌فروش‌ها ارسال می‌گردد. بازار به چند

1. Liang et al.

2. Klibi et al.

ناحیه مختلف تقسیم‌بندی شده است که تقاضای بازار از طریق مراجعه افراد به خرده‌فروش‌ها برآورده می‌شود.

فرض بر این است که تقاضا تصادفی است و از یک تابع توزیع احتمالی پیروی می‌کند. بنابراین از تکنیک شبیه‌سازی برای برآورد هزینه‌ها که شامل هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه فروش از دست‌رفته و سایر هزینه‌ها استفاده می‌شود.

برای مسئله موردبررسی سناریوسازی بر اساس دیدگاه‌های مختلف نسبت به سطوح موجودی (حداقل موجودی، حداکثر موجودی و سطح متوسط موجودی) صورت می‌گیرد و بر اساس هر سناریو مقادیر مرتبط با اهداف موردبررسی برآورد می‌شود.

با توجه به موارد پیش‌گفته، هدف کلی از این پژوهش، مدل‌سازی و توسعه مدل شبکه زنجیره‌تأمین چند سطحی، چند محصولی، چند دوره‌ای با اهداف متعارض همچون کمینه‌کردن هزینه، کمینه‌کردن زمان تحویل و بیشینه‌کردن قابلیت اطمینان کل سیستم) و فرض تصادفی بودن تقاضا با به‌کارگیری تکنیک بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی است. بنابراین در ادامه ساختار کلی تحقیق بدین شکل است که ابتدا مبانی نظری و پیشینه تحقیق موردبررسی قرار می‌گیرد. پس‌از آن در بخش بعدی پژوهش، روش‌شناسی تحقیق ارائه می‌شود. در قسمت تجزیه‌وتحلیل پژوهش، جهت درک بهتر مدل پیشنهادی و نشان دادن کاربردی بودن آن و یافتن پاسخ‌های بهینه و یا شدنی، از مثال عددی در قالب سناریوهای مختلف با نرم‌افزار لینگو، استفاده می‌شود. پس‌از آن، بر اساس جواب‌های پارتوی به‌دست‌آمده برای هر حالت از مدل (هر سناریو)، بر اساس روش تصمیم‌گیری ویکور به رتبه‌بندی نهایی جواب‌ها و انتخاب بهترین حالت از مدل پیشنهادی اقدام می‌شود. در انتها نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهای برگرفته از پژوهش ارائه می‌شود.

## پیشینه پژوهش

### مدیریت زنجیره تأمین

مدیریت زنجیره تأمین تمامی فعالیت‌های زنجیره تأمین را باهم هماهنگ می‌کند. واژه مدیریت زنجیره تأمین اولین بار توسط دو محقق به نام‌های اولیور و وبر<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۲ بکار رفت (اشتدلر و کیلگر، ۲۰۰۵). سپس بطور گسترده در دهه ۱۹۹۰ استفاده شد. قبل از آن واژه لجستیک و مدیریت عملیات بجای این واژه استفاده می‌شد (هوگوس<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶). انجمن حرفه‌ای مدیریت زنجیره تأمین<sup>۳</sup>، مدیریت زنجیره تأمین را به صورت زیر تعریف کرده است:

مدیریت زنجیره تأمین دربرگیرنده برنامه‌ریزی و مدیریت کلیه فعالیت‌های منبع یابی و تدارکات، تبدیل کالاها از مرحله ماده خام (استخراج) تا تحویل به مصرف‌کننده نهایی و فعالیت‌های لجستیک می‌باشد. همچنین دربرگیرنده فعالیت‌های هماهنگی و همکاری مابین تأمین‌کنندگان، واسطه‌ها، خرده‌فروشان و مشتریان می‌باشد<sup>۴</sup>.

### قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از احتمال عملکرد رضایت‌بخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین. این تعریف شامل چهار بخش اصلی است: احتمال، عملکرد رضایت‌بخش، زمان و شرایط کار معین. احتمال با یک عدد بیان می‌شود که همان شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان است. سه بخش دیگر (عملکرد، زمان و شرایط کار) همگی پارامترهای مهندسی هستند که مهندسين و متخصصین قادر به تأمین اطلاعات مربوط به عملکرد رضایت‌بخش می‌باشند و زمان ممکن است به صورت ممتد و یا منقطع مطرح باشد و نهایتاً شرایط کار ممکن است کاملاً یکنواخت و یا به شدت در تغییر باشد (آلن و بیلنتون، مترجم رضایان، ۱۳۹۰).

---

1. Oliver & Webber

2. Hugos

3. Council of Supply Chain Management Professional (CSCMP)

4. <http://cscmp.org>



### قابلیت اطمینان زنجیره تأمین

قابلیت اطمینان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های زنجیره تأمین است که تأثیر قابل توجهی بر کمال (تمامیت)<sup>۱</sup> و کیفیت محصولات و هزینه‌های لجستیکی در زنجیره تأمین دارد (لوکینسکی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴). یک زنجیره تأمین برای دستیابی به اثربخشی و کارایی نیازمند قابلیت اطمینان بالاست (بورکوفزکیس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸). تحقیقات مبتنی بر قابلیت اطمینان در حوزه‌های مهندسی و مدیریت به‌طور فزاینده‌ای انجام شده است؛ اما در این تحقیقات به ندرت به مفاهیم موجود در ادبیات زنجیره تأمین دانشگاهی اشاره شده است (ژین میائو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹). تحلیل مقالات مرتبط نشان می‌دهد که در بیشتر موضوعات مرتبط با قابلیت اطمینان زنجیره تأمین، نظرات متفاوتی وجود دارد (لوکینسکی و همکاران، ۲۰۱۴). توماس (۲۰۰۲) اولین کسی بود که به‌صراحت مفهوم الزامات زنجیره تأمین<sup>۵</sup> را به‌عنوان «احتمال برآورده سازی الزامات اصلی زنجیره جهت تأمین ملزومات لازم برای نقاط انتقال حیاتی درون سیستم» مطرح کرد. برخی از منابع، مفهوم SCR را از یک دیدگاه خاص، برای مثال زمان حضور در سرویس دهی (نویونهوئیزه و وانداییل<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶)، یا شکست بالقوه (کویگلی و والزی<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷)، مطرح کرده‌اند. به‌طور کلی، یک زنجیره تأمین در صورتی قابل اطمینان است که باوجود ازکارافتادگی بخش‌هایی از زنجیره، عملکرد خوبی داشته باشد (ژین میائو و همکاران، ۲۰۰۹).

### شبیه‌سازی زنجیره تأمین

شبیه‌سازی زنجیره تأمین اشاره دارد که عامل یک مدل است که نشان‌دهنده مدل مناسب یک زنجیره تأمین است (ترززی و کاوالیری<sup>۸</sup>، ۲۰۰۴). مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان در

- 
1. Completeness
  2. Lukinskiy et al.
  3. Burkovskis
  4. Xin Miao
  5. Supply Chain Requirements (SCR)
  6. Nieuwenhuysse and Vandaele
  7. Quigley and Walls
  8. Terzi and Cavalieri

یک مدل موردبررسی قرار داد. بررسی کل یک زنجیره تأمین به دلیل هزینه‌هایی که دارد کار دشواری است و یا تا حدودی غیرعملی است که این کار در سازمان واقعی انجام شود. عملکرد مدل را می‌توان مورد مطالعه قرار داده و سپس خواص مربوط به عملکرد زنجیره تأمین واقعی را می‌توان استنباط کرد. دلایل متعددی برای شبیه‌سازی زنجیره تأمین وجود دارد. استفاده از مدل می‌تواند غیرممکن بودن و یا پرهزینه بودن مشاهده فرآیندهای خاص در یک زنجیره تأمین واقعی را اثبات کند. به‌عنوان مثال، خرید و فروش در سال‌های آینده و غیره. استفاده از معادلات ریاضی برای توصیف زنجیره تأمین می‌تواند بیش‌ازحد پیچیده باشد. حتی اگر یک مدل ریاضی فرمول‌بندی شد، برای به دست آوردن یک راه‌حل با استفاده از تکنیک‌های تحلیلی می‌تواند بیش‌ازحد پیچیده باشد. بنابراین می‌توان مطالعه تغییرات در یک زنجیره تأمین را در یک مدل انجام موردبررسی قرار داد و یا راه‌حل‌های تحلیلی را از طریق مدل توسعه‌یافته بررسی کرد. (توماس و چارپنتیر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵).

در سال‌های اخیر ادبیات زنجیره‌تأمین در حال رشد است و روش‌های جدید تحقیق در ساختار زنجیره‌تأمین در حال ظهور است (سالما و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹). اما مطالعات نسبتاً کمی در زمینه مدل‌سازی و حل فرایندهای یکپارچه خرید-تولید-توزیع در زنجیره‌تأمین و در شرایط تصادفی بودن متغیرهای موردبررسی انجام شده است (پیدرو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹). در ادامه به بررسی مطالعاتی که در حوزه موضوع موردبررسی صورت گرفته‌اند پرداخته می‌شود.

اسورونوز و زیپکین<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) سیستم‌های زنجیره‌تأمین را از نظر نوع توزیع و چند سطحی بودن در نظر گرفتند (یعنی هر تسهیل بیش از یک پشتیبان مستقیم دارد). آن‌ها تخمین‌های حالت پایا (ثابت) را برای متوسط سطح موجودی و تعداد متوسط سفارش‌های معوق ارجاعی را برای هر سطح ذخیره به دست آوردند، درنهایت با استفاده از این تقریب‌ها، نویسندگان ساخت یک مدل بهینه‌سازی را که تعیین‌کننده حداقل هزینه بر مبنای

- 
1. Thomas & Charpentier
  2. Salema et al.
  3. Peidro et al.
  4. Svoronos & Zipkin

سطح ذخیره است، پیشنهاد کردند. بومن<sup>۱</sup> (۱۹۹۸)، تحقیقی را بر روی طراحی و تحلیل زنجیره تأمین انجام داد. این تحقیق بر اساس مدل سازی زنجیره تأمین چندمرحله‌ای استوار بود و به چهار مدل تقسیم می‌گردید: مدل‌های قطعی<sup>۲</sup>، مدل‌های احتمالی<sup>۳</sup>، مدل‌های اقتصادی<sup>۴</sup> و مدل‌های شبیه‌سازی<sup>۵</sup>. چن و چانگ<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی با پارامترهای فازی برای زنجیره تأمین سه سطحی با چند تأمین‌کننده، چند تولیدکننده، چند مرکز توزیع و چند مرکز فروش در چند دوره زمانی ارائه دادند. در مدل ریاضی آن‌ها هزینه‌های خرید، تولید و توزیع در نظر گرفته شد. لیانگ و چن<sup>۷</sup> (۲۰۰۸)، یک مدل چند هدفه فازی را برای مسئله تولید-توزیع ارائه کردند؛ به طوری که مدل او به طور هم‌زمان هزینه‌های تولید - توزیع، مجموع محصولات برگشتی و مجموع زمان‌های ارسال را حداقل می‌کند. الیف و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۷)، در مقاله‌ای به بررسی مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه چند دوره‌ای، چند محصولی تولید-توزیع در زنجیره تأمین، به طوری که تقاضای مشتری و ظرفیت‌های تولید نامعین هستند، پرداختند. مدل یکپارچه تولید - توزیع پیشنهادشده، مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی فازی بوده است که تابع هدف فازی و محدودیت‌ها منعطف هستند. بیلگن<sup>۹</sup> (۲۰۱۰)، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه برنامه‌ریزی تولید-توزیع، در یک زنجیره تأمین چند سطحی با چند خط تولید، چند کارخانه، چند مرکز توزیع مطرح کرد. مدل او به طور هم‌زمان تخصیص محصولات به خطوط تولید، مقدار محصول حمل شده و تعداد وسایل نقلیه در مسیرهای از پیش تعریف شده را فرموله کرد. اختیاری (۱۳۸۹) به بررسی مدیریت زنجیره تأمین سه سطحی تحت عدم قطعیت با استفاده از برنامه‌ریزی فازی چند هدفه پرداخت. محمدی بیدهندی و

- 
1. Beamon
  2. Deterministic
  3. Stochastic
  4. Economic
  5. Simulation
  6. Chen and Chang
  7. Liang & Chen
  8. Alive and et al
  9. Bilgen

یوسف (۲۰۱۱)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط و الگوریتم حل برای طراحی شبکه زنجیره تأمین قطعی، تک دوره‌ای، چند کالایی پیشنهاد داده‌اند. افشاری نیا و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود با استفاده از روش تجزیه بندرز به حل مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین چندمحصولی دوسطحی با تقاضای تصادفی پرداختند. مظاهری و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود به ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی زنجیره تأمین یکپارچه با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه پرداختند. شول و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود به طراحی شبکه زنجیره تأمین چند دوره‌ای و چند محصولی با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه و تحلیل پوششی داده‌ها اقدام نمودند.

امیرخان و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود از رویکرد برنامه‌ریزی تعاملی فازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چند سطح، چند کالایی و چند دوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن هزینه و زمان استفاده نمودند. ژاوو و همکاران (۲۰۱۵) مدل دوسطحی زنجیره تأمین را با استفاده از بازی همکاری در شرایطی که تقاضا فازی بوده و به قیمت فروش وابسته است، در دو مدل مختلف ارائه کردند که در مدل اول اطلاعات به صورت کامل و در مدل دوم اطلاعات به صورت ناقص در اختیار خریدار قرار گرفته شده است. پسندیده و همکاران (۲۰۱۵)، یک مسئله بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین دو سطحی، چند دوره‌ای و چند محصولی متشکل از تولیدکنندگان و مراکز توزیع را مدل‌سازی کردند. مسئله آن‌ها شامل دو هدف به حداقل رساندن هزینه کل و حداکثرسازی متوسط تعداد محصولات ارائه شده به مشتریان بود. فلفل و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود، یک رویکرد برنامه‌ریزی خطی تصادفی دو مرحله‌ای را برای یک مسئله برنامه‌ریزی زنجیره تأمین چند مرحله‌ای، چند محصولی تحت عدم اطمینان تقاضا معرفی نمودند. لام و آکلان (۲۰۱۶) یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین در معرض ریسک و عدم اطمینان پیشنهاد کردند. صادقیان و طالبی لنگرودی (۱۳۹۶) در تحقیق خود به ارائه یک مدل موجودی در زنجیره تأمین سه سطحی با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی پرداختند. بهنامیان و بشر (۱۳۹۶) در تحقیق خود به مدل‌سازی

چندمرحله‌ای مسئله زنجیره تأمین سه سطحی غیر همکارانه با در نظر گرفتن تخفیف در شرایط عدم قطعیت پرداختند. آگوییره و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود به بررسی رویکردهای بهینه‌سازی برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی زنجیره تأمین تحت عدم قطعیت تقاضا پرداختند. اوزکان و کیلیک (۲۰۱۹) در پژوهش خود از شبیه‌سازی مونت کارلو برای برآورد قابلیت اطمینان شبکه‌های لجستیک و زنجیره تأمین استفاده نمودند. ژانگ و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهش خود به تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی تطبیقی مدل قابلیت اطمینان برای سیستم زنجیره تأمین بر اساس معادلات دیفرانسیل جزئی پرداختند. مشهدی و توکلی مقدم (۱۴۰۰) در پژوهش خود به مدل‌سازی ریاضی برای مسئله مکانیابی-مسیریابی در زنجیره تأمین مواد غذایی فسادپذیر با ریسک اختلال اقدام نمودند. ساجدی نژاد و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود زنجیره تأمین چندمحصوله بر مبنای بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی را مورد بررسی قرار دادند. گوویندان و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود از یک رویکرد ترکیبی بر مبنای تصمیم‌گیری فازی و برنامه‌ریزی ریاضی برای انتخاب تأمین‌کننده و تعیین مقدار بهینه سفارش در زنجیره تأمین حلقه بسته استفاده نمودند. وفایی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش دیگری به طراحی شبکه تأمین پایدار چند سطحی و چندمحصولی اقدام نمودند. مدل مورد استفاده در پژوهش این محققین سه هدفه بوده و در آن حالت‌های مختلف حمل و نقل محصولات مورد بررسی قرار گرفت. برای حل مدل نیز از روش برنامه‌ریزی آرمانی استفاده نمودند. حسینی مطلق و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود یک شبکه زنجیره تأمین چندهدفه جدید ارائه نمودند. ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود به شبیه‌سازی مدل قابلیت اطمینان برای سیستم زنجیره تأمین بر اساس معادلات دیفرانسیل جزئی پرداختند. پاتاک و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود به ارائه یک مدل زنجیره تأمین سه سطحی با تقاضای تصادفی وابسته به قیمت، کیفیت و کاهش انرژی پرداختند. در این پژوهش تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش به‌عنوان سطوح مورد بررسی در زنجیره تأمین در نظر گرفته شدند. چن و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود یک چارچوب بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر شبیه‌سازی در برنامه‌ریزی تولید در

زنجیره‌های تأمین ارائه نمودند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای زنجیره تأمین در این پژوهش، از طریق الگوریتم مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) به منظور دستیابی به جواب‌های پارتو مورد استفاده قرار گرفته تا به هدف بیشینه‌سازی مقدار سود دست‌یافته شود. نیری و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود یک مدل تصادفی فازی چندهدفه در یک شبکه زنجیره تأمین را مورد بررسی قرار دادند. الهرکان و همکاران (۲۰۲۱) بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای زنجیره تأمین دو سطحی را در پژوهش خود مورد بررسی قرار دادند. این محققین سیستم‌های مختلف موجودی برای برآورده ساختن تقاضای مشتری را از طریق مدل و روش ارائه‌شده مورد بررسی قرار دادند. جوزدانی و گوویندان (۲۰۲۱) طراحی شبکه زنجیره تأمین غذاهای فاسدشدنی را مورد بررسی قرار دادند.

با توجه به مطالعه پیشینه تحقیق، هر کدام از تحقیقات انجام گرفته مفروضات خاصی را در نظر گرفته‌اند. برخی از تحقیقات از جمله (پاکسوی و چنگ، ۲۰۱۰؛ ناگورونی، ۲۰۱۰؛ بیدهندی و همکاران، ۲۰۱۱؛ ونگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ پسندیده و همکاران، ۲۰۱۵)، پارامترهای مسئله مانند عرضه، تقاضا، زمان‌های تولید، ظرفیت و هزینه‌های سیستم به صورت قطعی در نظر گرفته شده‌اند. برخی دیگر از تحقیقات از جمله (اسکیگان، ۲۰۰۵؛ نیونهوس و واندال، ۲۰۰۶؛ ترابی و حسینی، ۲۰۰۸؛ بست و گاردنر، ۲۰۱۰؛ لام و آکلان، ۲۰۱۶؛ ژاوو و همکاران، ۲۰۱۵؛ آگوییره و همکاران، ۲۰۱۸) صرفاً بخشی از زنجیره تأمین را مدنظر قرار داده‌اند. در تحقیقات دیگر از جمله (ناگورونی، ۲۰۱۰؛ کاستا و همکاران، ۲۰۱۰؛ میولا و همکاران، ۲۰۱۰؛ شی و همکاران، ۲۰۱۲؛ تسائو و لو، ۲۰۱۲)، مدل تحقیق، تک هدفه، تک محصولی و برای یک دوره مدل‌سازی شده است. در طراحی مدل حاضر سعی شده است برخی از محدودیت‌هایی که محققان پیشین در مطالعات و بررسی‌های خود بر مسئله وارد داشته‌اند، برطرف شده و مدلی سازگارتر با شرایط واقعی مسئله در راستای مدل‌های موجود در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین به حساب آید. این پژوهش درصدد ارائه مدلی است که طراحی شبکه تأمین را با توجه به معیارهای متفاوت اثرگذار بر عملکرد زنجیره انجام دهد. بدین ترتیب به جای در نظر گرفتن عامل هزینه در طراحی شبکه

زنجیره تأمین، معیارهای زمان و قابلیت اطمینان نیز مورد توجه قرار می‌گیرد (مدل چند هدفه). همچنین در این تحقیق زنجیره تأمین چند محصولی و چند دوره‌ای فرض می‌شود. علاوه بر موارد فوق در این مدل، عدم قطعیت تقاضا نیز مدنظر قرار می‌گیرد تا انطباق بیشتری با واقعیت داشته باشد. بنابراین مدل تحت بررسی در این تحقیق را می‌توان توسعه‌ای بر مدل‌های پیشین در نظر گرفت. اصولاً سیستم مورد بررسی در این تحقیق انطباق بیشتری با واقعیت دارد. این معیار یکی از معیارهای اصلی در پذیرش این دسته تحقیقات در سالیان اخیر به شمار می‌رود.

## روش

با توجه به اهداف و سؤالاتی که تحقیق حاضر به دنبال پاسخگویی به آن‌ها است، ملاحظه می‌شود که تحقیق حاضر از لحاظ زمانی یک تحقیق مقطعی است چرا که بر اساس داده‌های گردآوری شده در مقطعی از زمان به تحلیل سیستم مورد بررسی پرداخته خواهد شد. از آنجا که هدف این تحقیق ارائه و حل مدل جهت طراحی (بهینه) شبکه زنجیره تأمین است و شاید نتوان در کشور یک مورد عملی برای آن یافت، لذا این تحقیق دارای قلمرو مکانی خاصی نیست. ولی برای تصریح کارکرد و کارایی مدل‌ها و رویکردهای ارائه شده، مثال نمونه‌ای در شرایط کنترل شده آزمایشی ایجاد خواهد شد و مدل بر روی آن مثال اجرا می‌شود. در این تحقیق برای گردآوری داده‌ها از مطالعات اسنادی شامل بررسی و مطالعه مقالات چاپ شده در ژورنال‌های بین‌المللی، کتاب‌ها و رساله‌های موجود در این خصوص استفاده شده است. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها در این مطالعه از مفاهیم و روش‌های شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی چند هدفه استفاده شده است. همچنین جهت تحلیل‌های آماری و شبیه‌سازی از نرم‌افزارهای Minitab و ED<sup>۱</sup> استفاده شده است.

روش‌های متعددی در برخورد با عدم قطعیت وجود دارد: (۱) برنامه‌ریزی تصادفی<sup>۲</sup> که در آن متغیرهای تصادفی بر اساس توزیع‌های شناخته شده بیان می‌شوند، (۲) برنامه‌ریزی

---

1. Enterprise Dynamic  
2. Stochastic Programming

فازی<sup>۱</sup> که متغیرها به صورت فازی بیان می‌شوند و (۳) بهینه‌سازی پایدار<sup>۲</sup> که عدم قطعیت بر اساس مجموعه‌ای از سناریوها بیان می‌شود (سahینیدیس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴).

در این تحقیق به منظور برخورد با عدم قطعیت (پارامتر تقاضا به صورت تصادفی با توزیع تصادفی عمومی گاما در نظر گرفته می‌شود) از رویکرد اول یعنی برنامه‌ریزی تصادفی استفاده شده است. با توجه به در نظر گرفتن تقاضا به صورت تصادفی و پیروی آن از تابع توزیع گاما، در این تحقیق به منظور برآورد رابطه ریاضی مربوط به هدف اول (کمینه‌سازی هزینه‌ها) از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی استفاده می‌شود. زمانی که تقاضای مشتریان تصادفی باشد این تصادفی بودن به صورت زنجیروار در کل زنجیره تأمین از مشتریان تا تأمین‌کنندگان تأثیر خود را می‌گذارد و بنابراین، نمی‌توان میزان ارسالی از خرده‌فروش به مشتریان، میزان کالای ارسالی از توزیع‌کننده برای خرده‌فروشان، میزان کالای ارسالی از تولیدکننده برای توزیع‌کنندگان و نیز میزان ارسالی مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان را به صورت دقیق برآورد نمود و در رابطه ریاضی مرتبط با تابع هدف اول قرار داد. بدین منظور ابتدا بر اساس مثال عددی موردنظر، یک مدل شبیه‌سازی از سیستم موردبررسی در نرم‌افزار شبیه‌سازی طراحی می‌شود. پس از اعتبار سنجی مدل شبیه‌سازی شده و به منظور برآورد رابطه ریاضی تابع هدف هزینه، با به کارگیری طراحی آزمایش‌ها، آزمایش‌های مختلفی را بر اساس مقادیر مختلف برای مقدار تقاضای مشتریان (که به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است) طراحی می‌شوند. فاکتورهای موردبررسی در طراحی آزمایش‌ها شامل عواملی می‌شوند که در رابطه مربوط به تابع هدف هزینه‌های کلی زنجیره در نظر گرفته شده‌اند. این فاکتورها شامل میزان ارسال محصول  $p$  ام از خرده‌فروش  $I$  ام به ناحیه  $a$  ام در دوره  $t$  ام، میزان ارسال محصول  $p$  ام از توزیع‌کننده  $k$  ام به خرده‌فروش  $I$  ام در دوره  $t$  ام، میزان ارسال محصول  $p$  ام از تولیدکننده  $z$  ام به توزیع‌کننده  $k$  ام در دوره  $t$  ام، میزان ارسال ماده خام  $m$  ام برای تولید محصول  $p$  ام از تأمین‌کننده  $i$  ام به تولیدکننده  $z$  ام در دوره  $t$  ام، موجودی محصول  $p$  ام در انبار تولیدکننده

- 
1. Fuzzy Programming
  2. Robust Optimization
  3. Sahinidis



زام در دوره  $t$  ام، موجودی محصول  $p$  ام در توزیع کننده  $k$  ام در دوره  $t$  ام، موجودی محصول  $p$  ام در خرده فروش  $l$  ام در دوره  $t$  ام و مقدار کمبود محصول  $p$  ام در ناحیه  $a$  ام در دوره  $t$  ام، هستند.

بر اساس آزمایش‌های طراحی شده، مدل شبیه‌سازی شده اجرا شده و بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار تابع هدف هزینه‌های کلی سیستم مشخص می‌شود. با انجام تمامی آزمایش‌های طراحی شده و مشخص نمودن مقدار تابع هدف هزینه‌ها برای تمامی آزمایش‌ها، در ادامه از رویکرد رگرسیون به منظور برآورد رابطه ریاضی عوامل تأثیرگذار بر هزینه‌های کلی زنجیره (تابع هدف هزینه‌های کلی زنجیره) استفاده می‌شود. پس از برآورد رابطه ریاضی مربوط به تابع هدف، این تابع هدف به همراه دیگر اهداف و محدودیت‌های مدل تشریح شده، وارد نرم‌افزار لینگو شده و با روش محدودیت اپسیلون مدل نهایی تحقیق حل می‌شود.

روش اپسیلون محدودیت یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجهه با مسائل چند هدفه است که در هر مرحله تمامی توابع هدف به جزء یکی از آن‌ها به محدودیت‌ها انتقال می‌یابد و مسئله با یک تابع هدف حل می‌شود (ارگات و گاندیلوکس، ۲۰۰۲). اگر فرم کلی مسئله چندهدفه به صورت رابطه ۳۸ فرض شود:

$$\begin{aligned} \max & (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)) \\ \text{s.t.} & x \in S \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۳۸})$$

در رابطه ۵۲،  $x$  یک بردار از متغیرهای تصمیم و  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)$  توابع هدف و  $S$  ناحیه شدنی می‌باشد. در این روش یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود و دیگر توابع هدف به عنوان محدودیت در نظر گرفته می‌شوند (رابطه ۳۹):

$$\begin{aligned}
 & \max f_1(x) \\
 & st : \\
 & f_2(x) \geq \varepsilon_2 \\
 & f_3(x) \geq \varepsilon_3 \quad (\text{رابطه ۳۹}) \\
 & \vdots \\
 & f_p(x) \geq \varepsilon_p \\
 & x \in S
 \end{aligned}$$

به طور کلی گام‌های روش اپسیلون محدودیت به صورت زیر است (توکی مقدم و همکاران، ۱۳۹۰):

- گام ۱- یکی از توابع هدف را به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب کنید.
- گام ۲- هر بار با توجه یکی از توابع هدف، مسئله را حل کنید و مقادیر بهینه هر تابع هدف را به دست آورید.
- گام ۳- بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی را به تعداد از قبل مشخص شده تقسیم کنید و یک جدول برای  $\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$  به دست آورید.
- گام ۴- هر بار مسئله را با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر  $\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$  حل کنید.
- گام ۵- جواب‌های پارتو یافت شده را گزارش کنید.

### بسترهای نرم‌افزاری پیاده‌سازی و اجرا

مدل ارائه شده در این تحقیق توسط نرم‌افزار لینگو نسخه ۱۴ پیاده‌سازی شده است. کد مربوط به مدل توسعه داده شده در نرم‌افزار لینگو بر روی یک کامپیوتر شخصی با پردازشگر اینتل ۷ هسته‌ای و RAM ۴ گیگابایتی در محیط سیستم عامل ویندوز ۱۰ اجرا شد.

### شبیه‌سازی زنجیره تأمین

این مرحله از شبیه‌سازی شامل تعریف مشکل و مسئله‌ای که از طریق شبیه‌سازی باید آن را بهبود داد، می‌باشد. ناکارایی سیستمی که برای مطالعه انتخاب می‌شود اولاً باید از طریق شبیه‌سازی قابل حل باشد ثانیاً باید از نظر تحلیل هزینه و سود مقرون‌به‌صرفه باشد. در مرحله تعریف مسئله باید متغیرهایی که قرار است بر روی آن مطالعه گردند، مشخص و به‌طور دقیق تعریف گردند (عظیمی، ۱۳۹۳). شبکه زنجیره تأمین مفروض برای تحقیق حاضر، شامل ۴ مرحله (سطح) است. نخستین مرحله زنجیره تأمین شامل I تأمین‌کننده است که مواد اولیه را برای کارخانه‌ها فراهم می‌کند. دومین مرحله شامل J کارخانه تولیدی است که تغییر شکل مواد اولیه به محصول نهایی در آن‌ها اتفاق می‌افتد. سومین مرحله شبکه شامل K مرکز توزیع است که محصولات نهایی از کارخانه‌ها به این مراکز ارسال می‌شوند و از آنجا به خرده‌فروش‌ها ارسال می‌شود. بنابراین آخرین سطح زنجیره تأمین شامل L خرده‌فروش است که فروش محصولات به مشتریان در این مراکز انجام می‌شود. لازم به ذکر است که بازار مشتریان نیز شامل A منطقه است که تقاضای خود را با مراجعه به خرده‌فروش‌ها برآورده می‌سازند. مدل به‌صورت کششی طراحی شده است به‌نحوی که با تقاضای خرده‌فروشان، انبارهای مراکز تولیدی به میزان سفارش پر شده و محصولات از این مراکز به مراکز توزیع و سپس به خرده‌فروش موردنظر ارسال خواهد شد. در این میان از سیستم حمل‌ونقل همگن با ظرفیت مشخص برای جابه‌جایی محصولات استفاده شده است.

### اتم‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی

اتم انبار<sup>۱</sup>: این اتم در واقع نشان‌دهنده انبارهای عمده‌فروش و انبار مرکزی کارخانه می‌باشد که در این اتم تعیین خواهیم کرد سفارش‌های هر منطقه درست به آن منطقه ارسال شود.

اتم گره<sup>۱</sup>: در اتم گره، ما با تعریف مسیر جابه‌جایی و ظرفیت سیستم حمل‌ونقل و سرعت جابه‌جایی اطلاعات مربوط به جابه‌جایی کالا در زنجیره تأمین را وارد می‌کنیم.

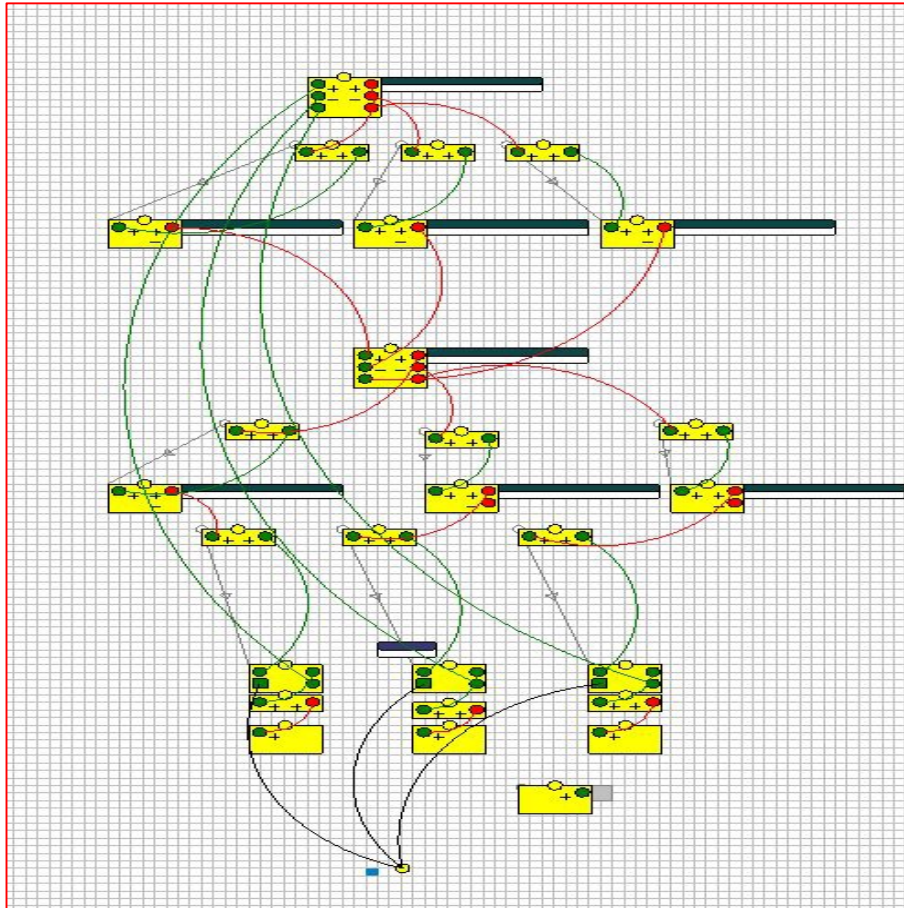
<sup>1</sup> warehouse

اتم کانبان<sup>۲</sup>: اتم کانبان در واقع به نوعی نقش کششی کردن سیستم را بر عهده دارد در این اتم وقتی موجودی کالای خرده فروش به حد سفارش مجدد می رسد سفارش برای تولید و ارسال کالا به انبار مرکزی کارخانه داده می شود سپس با توجه به مقدار سفارش مجدد سیستم موجودی خرده فروش را رفرش خواهد کرد:

اتم خدمت دهنده<sup>۳</sup>: در اتم خدمت دهنده ما به تعریف نرخ مصرف کالا توسط مشتریان می پردازیم.

اتم خروج از مدل شبیه سازی<sup>۴</sup>: اتم خروجی در نرم افزار شبیه سازی نشان دهنده خارج شدن کالا از چرخه زنجیره تأمین می باشد و اتم های محصولات در نهایت به این اتم وارد خواهند شد.

- 
1. Node
  2. Canban
  3. Server
  4. Sink



شکل ۱. نمای کلی از مدل شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار شبیه‌سازی

### مدل‌سازی ریاضی مسئله تحقیق

بعد از تشکیل مدل شبیه‌سازی مربوط به مسئله مورد بررسی، در مرحله بعد باید مدل‌سازی ریاضی مسئله تحقیق انجام شود. شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی دارای چهار سطح یا زیرسیستم است که شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان می‌باشد. مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به کارخانه‌های تولیدی (تولیدکنندگان) ارسال می‌شود، در کارخانه‌ها هر محصول با ترکیب خاصی از مواد خام تولید می‌شود، محصولات از تولیدکنندگان به مراکز توزیع (توزیع‌کنندگان) و از آنجا به خرده‌فروش‌ها

ارسال می‌گردد. بازار به چند ناحیه مختلف تقسیم‌بندی شده است که تقاضای بازار از طریق مراجعه افراد به خرده‌فروش‌ها برآورده می‌شود. تقاضای مربوط به هر ناحیه بازار و نیز ظرفیت ارسال مواد خام توسط تأمین‌کنندگان، ظرفیت تولید کارخانه‌ها، ظرفیت انبار کارخانه‌ها، مراکز توزیع و خرده‌فروش‌ها به صورت قطعی در نظر گرفته می‌شود. هزینه و زمان ارسال مواد اولیه و محصولات از هر مرحله به مرحله دیگر معلوم فرض می‌شود. هدف از طراحی مدل، تعیین تعداد بهینه تسهیلات در هر مرحله (زیرسیستم)، مقدار بهینه ارسال مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان و مقدار بهینه ارسال محصول نهایی از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان و از توزیع‌کنندگان به خرده‌فروش‌ها و از خرده‌فروش‌ها به نواحی مختلف بازار است به طوری که ضمن رعایت محدودیت‌های مدل، اهداف چندگانه مسئله که شامل کمینه کردن هزینه، کمینه کردن زمان تحویل، بیشینه کردن قابلیت اطمینان مسیرهای ارسال و بیشینه کردن قابلیت اطمینان کل سیستم می‌باشد، برآورده شود.

ساختار شبکه زنجیره تأمین از ۴ سطح تشکیل شده است که به صورت یک سیستم فشاری<sup>۱</sup> در محیط ساخت برای انبار<sup>۲</sup> عمل می‌کند. نخستین مرحله زنجیره تأمین شامل I تأمین‌کننده است که مواد اولیه را برای کارخانه‌ها فراهم می‌کند. دومین مرحله شامل J کارخانه تولیدی است که تغییر شکل مواد اولیه به محصول نهایی در آن‌ها اتفاق می‌افتد. سومین مرحله شبکه شامل K مرکز توزیع است که محصولات نهایی از کارخانه‌ها به این مراکز ارسال می‌شوند و از آنجا به خرده‌فروش‌ها ارسال می‌شود. بنابراین آخرین سطح زنجیره تأمین شامل L خرده‌فروش است که فروش محصولات به مشتریان در این مراکز انجام می‌شود. لازم به ذکر است که بازار مشتریان نیز شامل A منطقه است که تقاضای خود را با مراجعه به خرده‌فروش‌ها برآورده می‌سازند. به منظور مدل‌سازی مسئله موردبررسی، حداقل‌سازی هزینه تولید محصولات، حداقل‌سازی زمان، حداکثرسازی قابلیت اطمینان مسیرهای ارسال محصولات و حداکثرسازی حداکثرسازی قابلیت اطمینان کل زنجیره تأمین مد نظر است.

---

1. Push

2. Make To Stock

محصول موردنظر در این ساختار یک محصول فسادناپذیر است که میان سطوح مختلف زنجیره جابه‌جا می‌شود. تقاضای اولیه در این ساختار از سوی مشتریان یا مصرف‌کنندگان نهایی صادر می‌شود. فرض می‌شود که تقاضای نواحی مختلف بازار غیر یکسان و با نرخ‌های متفاوت است. همچنین رابطه خاصی میان عناصر یک سطح خاص از زنجیره وجود ندارد. به عبارت دیگر هیچ‌گونه مبادله کالایی میان اجزاء یک زیرسیستم با یکدیگر صورت نمی‌گیرد و اجزای (تسهیلات) هر سطح مستقل از یکدیگر می‌باشند.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد در این تحقیق از طراحی قابلیت اطمینان (پایایی) در سیستم‌های موازی - سری و سری - موازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین الگوبرداری می‌کنیم. به همین منظور برای مسیرهای موجود بین مراحل مختلف زنجیره تأمین یک شاخص قابلیت اطمینان در نظر گرفته شده است. که این شاخص احتمال سالم بودن کالا و احتمال حمل بدون نقص کالا را از یک تسهیل به تسهیل دیگر نشان می‌دهد. که این شاخص بسته به تکنولوژی تولید و تکنولوژی نگهداری محصول و کیفیت جاده‌های بین تسهیلات مختلف متفاوت است. لازم به ذکر است که زمان‌های ارسال، هزینه ارسال و قابلیت اطمینان مسیرهای بین سطوح مختلف برای مواد خام مختلف، محصولات مختلف و دوره‌های مختلف متفاوت در نظر گرفته شده است.

در تحقیق حاضر علاوه بر اینکه برای مسیرهای موجود بین مراحل مختلف زنجیره یک شاخص قابلیت اطمینان در نظر گرفته شده است؛ برای هر جزء در هر سطح یا زیر سیستم نیز یک قابلیت اطمینان تعریف شده است: احتمال عملکرد صحیح و بدون از کارافتادگی یک تسهیل در یک دوره زمانی معین. که قابلیت اطمینان تسهیلات در زیر سیستم‌های تأمین و تولید، وابستگی شدیدی به عواملی چون انعطاف‌پذیری خطوط تولید، توان طراحی، میزان سرمایه‌گذاری و ... دارد. به عبارت دیگر قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگانی که دارای خطوط تولید انعطاف‌پذیر می‌باشند، بالاتر خواهد بود. همچنین قابلیت اطمینان عمده‌فروشان و خرده‌فروشان نیز بستگی زیادی به سیستم‌های حمل‌ونقل و انبارش آن‌ها دارد که هر چه سرعت پاسخگویی آن‌ها و تأمین محصولات بدون عیب آن‌ها

به مراحل پایین دست خود بیشتر باشد از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار خواهند بود. در ادامه سایر مفروضات این مسئله بیان می شود:

مفروضات مدل مورد بررسی شامل موارد زیر است:

- مدل زنجیره تأمین مورد بررسی چهار سطحی است (تأمین کننده، تولید کننده، توزیع کننده، خرده فروش).
- مکان ثابت مشتریان به چند ناحیه مختلف تقسیم شده است.
- تقاضای مشتریان از طریق خرده فروشها تأمین می گردد.
- مدل چند دوره ای است.
- مدل چند محصولی است.
- کمبود مجاز است به عبارت دیگر امکان اینکه بخشی از تقاضای مشتریان برآورده نشود، وجود دارد.

- امکان نگهداری موجودی برای تولید کننده وجود دارد.
- امکان نگهداری موجودی برای توزیع کننده وجود دارد.
- امکان نگهداری موجودی برای خرده فروش وجود دارد.
- موجودی اول دوره برابر با صفر در نظر گرفته می شود.
- همه تسهیلات بالقوه اند.
- هر تولید کننده امکان تولید انواع محصولات را دارد.
- هر تأمین کننده امکان تأمین انواع مواد اولیه را دارد.
- هر ناحیه از بازار به انواع محصولات نیاز دارد.
- تقاضای بازار و ظرفیت تولید و انبار برای همه تسهیلات زنجیره قطعی در نظر گرفته شده است.

- میزان تأمین مواد اولیه توسط تأمین کنندگان قطعی در نظر گرفته شده است.
- هزینه ارسال مواد خام و محصولات بین سطوح مختلف زنجیره قطعی در نظر گرفته شده است.



- زمان ارسال مواد خام و محصولات بین سطوح مختلف زنجیره قطعی در نظر گرفته شده است.
- قابلیت اطمینان مربوط به مسیرهای بین تسهیلات غیر یکسان در نظر گرفته شده است.
- حجم محصولات تولیدی یکسان فرض شده است.

اندیس‌ها و مجموعه‌های مورد استفاده در مدل ریاضی به شرح زیر می‌باشند.

|                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| $I$ = مجموعه تمام تأمین کنندگان | $A$ = مجموعه تمام مناطق مشتریان |
| $i$ = اندیس برای تأمین کنندگان  | $a$ = اندیس برای منطقه مشتریان  |
| $J$ = مجموعه تمام تولید کنندگان | $M$ = مجموعه تمام مواد خام      |
| $j$ = اندیس برای تولید کنندگان  | $m$ = اندیس برای مواد خام       |
| $K$ = مجموعه تمام توزیع کنندگان | $P$ = مجموعه تمام محصولات       |
| $k$ = اندیس برای توزیع کنندگان  | $p$ = اندیس برای محصولات        |
| $L$ = مجموعه تمام خرده فروشان   | $T$ = مجموعه تمام دوره‌ها       |
| $l$ = اندیس برای خرده فروشان    | $t$ = اندیس برای دوره‌ها        |

پارامترهای مورد استفاده در تحقیق به شرح زیر هستند.

$$Cap1_{imt} = \text{ظرفیت تأمین کننده } i \text{ ام از ماده خام } m \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$Cap_{jt} = \text{ظرفیت انبار تولید کننده } j \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$ProdCap_{jpt} = \text{ظرفیت تولید برای تولید کننده } j \text{ ام از محصول } p \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$cap3_{kt} = \text{ظرفیت توزیع کننده } k \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$cap4_{lt} = \text{ظرفیت خرده فروش } l \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$C1_{ijmpt} = \text{هزینه تأمین و ارسال مواد خام } m \text{ ام برای تولید محصول } p \text{ ام از}$$

$$\text{تأمین کننده } i \text{ ام به تولید کننده } j \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$C2_{jkpt} = \text{هزینه تولید و ارسال محصول } p \text{ ام از تولید کننده } j \text{ ام به توزیع کننده } k \text{ ام در}$$

دوره  $t$  ام

$C3_{klpt}$  = هزینه ارسال محصول  $p$  ام از توزیع کننده  $k$  ام به خرده فروش  $l$  ام در دوره  $t$  ام

$C4_{lapt}$  = هزینه ارسال محصول  $p$  ام از خرده فروش  $l$  ام به ناحیه  $a$  ام در دوره  $t$  ام

$in\ cost1_{jpt}$  = هزینه نگهداری محصول  $p$  ام توسط تولید کننده  $j$  ام در دوره  $t$  ام

$in\ cost2_{kpt}$  = هزینه نگهداری محصول  $p$  ام توسط توزیع کننده  $k$  ام در دوره  $t$  ام

$in\ cost3_{lpt}$  = هزینه نگهداری محصول  $p$  ام توسط خرده فروش  $l$  ام در دوره  $t$  ام

$sh\ cost_{apt}$  = هزینه کمبود محصول  $p$  ام در ناحیه  $a$  ام (عدم برآورده شدن تقاضای

بازار) در دوره  $t$  ام

$d1_{ijmpt}$  = زمان تأمین و ارسال ماده خام  $m$  ام مورد نیاز برای تولید محصول  $p$  ام از

تأمین کننده  $i$  ام به تولید کننده  $j$  ام در دوره  $t$  ام

$d2_{jkpt}$  = زمان تولید و ارسال محصول  $p$  ام از تولید کننده  $j$  ام به توزیع کننده  $k$  ام در

دوره  $t$  ام

$d3_{klpt}$  = زمان ارسال محصول  $p$  ام از توزیع کننده  $k$  ام به خرده فروش  $l$  ام در دوره  $t$

ام

$d4_{lapt}$  = زمان ارسال محصول  $p$  ام از خرده فروش  $l$  ام به ناحیه  $a$  ام در دوره  $t$  ام

$rx_{ijmpt}$  = قابلیت اطمینان مسیر ارسال ماده خام  $m$  ام برای تولید محصول  $p$  ام از

تأمین کننده  $i$  ام به تولید کننده  $j$  ام در دوره  $t$  ام

$ry_{jkpt}$  = قابلیت اطمینان مسیر ارسال محصول  $p$  ام از تولید کننده  $j$  ام به توزیع کننده

$k$  ام در دوره  $t$  ام

$rz_{klpt}$  = قابلیت اطمینان مسیر ارسال محصول  $p$  ام از توزیع کننده  $k$  ام به خرده فروش

$l$  ام در دوره  $t$  ام

$rw_{lapt}$  = قابلیت اطمینان مسیر ارسال محصول  $p$  ام از خرده فروش  $l$  ام به ناحیه  $a$  ام

در دوره  $t$  ام

$rs_i$  = قابلیت اطمینان تأمین کننده  $i$  ام

$$rm_j = \text{قابلیت اطمینان تولید کننده } j \text{ ام}$$

$$rw_k = \text{قابلیت اطمینان توزیع کننده } k \text{ ام}$$

$$rr_l = \text{قابلیت اطمینان خرده فروش } l \text{ ام}$$

$$\alpha_{mp} = \text{میزان مصرف ماده خام } m \text{ ام برای تولید محصول } p \text{ ام}$$

$$D_{apt} = \text{تقاضای محصول } p \text{ ام در ناحیه } a \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

متغیرهای تصمیم به شرح زیر هستند.

$$x_{ijmpt} = \text{میزان ارسال ماده خام } m \text{ ام برای تولید محصول } p \text{ ام از تأمین کننده } i \text{ ام به}$$

تولید کننده  $j$  ام در دوره  $t$  ام

$$y_{jkpt} = \text{میزان ارسال محصول } p \text{ ام از تولید کننده } j \text{ ام به توزیع کننده } k \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$z_{klpt} = \text{میزان ارسال محصول } p \text{ ام از توزیع کننده } k \text{ ام به خرده فروش } l \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$w_{lapt} = \text{میزان ارسال محصول } p \text{ ام از خرده فروش } l \text{ ام به ناحیه } a \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$in1_{jpt} = \text{موجودی محصول } p \text{ ام در انبار تولید کننده } j \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$in2_{kpt} = \text{موجودی محصول } p \text{ ام در توزیع کننده } k \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$in3_{lpt} = \text{موجودی محصول } p \text{ ام در خرده فروش } l \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$sh_{apt} = \text{مقدار کمبود محصول } p \text{ ام در ناحیه } a \text{ ام در دوره } t \text{ ام}$$

$$R_r = \text{قابلیت اطمینان کل مسیرهای زنجیره تأمین}$$

$$R_s = \text{قابلیت اطمینان کل سیستم (زنجیره تأمین)}$$

متغیرهای صفر و یک برای کنترل کردن تعداد تسهیلات در هر مرحله (زیرسیستم) در طراحی شبکه زنجیره تأمین به کار می‌روند. چنانچه این متغیرها مقدار یک اختیار کنند به منزله این است که آن تسهیل باید در طراحی شبکه وجود داشته باشد و در صورتی که مقدار صفر به خود گیرد به منزله آن است که تسهیل مورد نظر نباید در طراحی شبکه وجود داشته باشد. به طور مثال، اگر متغیر  $ux_{ijmpt}$  مقدار یک به خود گیرد یعنی اینکه باید در

دوره  $t$  ام، ماده خام  $m$  ام، برای تولید محصول  $p$  ام از تأمین کننده  $i$  ام به تولید کننده  $j$  ام ارسال گردد، به عبارت دیگر باید تأمین کننده  $i$  ام در طراحی شبکه در دوره  $t$  ام قرار گیرد.

$$ux_{ijmpt} = \text{متغیر صفر و یک}$$

$$uy_{jkpt} = \text{متغیر صفر و یک}$$

$$uz_{klpt} = \text{متغیر صفر و یک}$$

$$uw_{lappt} = \text{متغیر صفر و یک}$$

$$vx_i = \text{متغیر صفر و یک}$$

$$vy_j = \text{متغیر صفر و یک}$$

$$vz_k = \text{متغیر صفر و یک}$$

$$vw_l = \text{متغیر صفر و یک}$$

بر اساس موارد پیش گفته می توان فرم کلی مدل تحقیق را به صورت زیر نشان داد:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & \sum_i \sum_j \sum_m \sum_p \sum_t C1_{ijmpt} \cdot x_{ijmpt} + \\ & \sum_j \sum_k \sum_p \sum_t C2_{jkpt} \cdot y_{jkpt} + \sum_k \sum_l \sum_p \sum_t C3_{klpt} \cdot z_{klpt} + \\ & \sum_l \sum_a \sum_p \sum_t C4_{lappt} \cdot w_{lappt} + \quad \text{رابطه (۱)} \\ & \sum_j \sum_p \sum_t \text{in cost}1_{jpt} \cdot \text{in}1_{jpt} + \sum_k \sum_p \sum_t \text{in cost}2_{kpt} \cdot \text{in}2_{kpt} + \\ & \sum_l \sum_p \sum_t \text{in cost}3_{lpt} \cdot \text{in}3_{lpt} + \sum_a \sum_p \sum_t \text{sh cost}_{apt} \cdot \text{sh}_{apt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{min } Z_2 = & \sum_i \sum_j \sum_m \sum_p \sum_t d1_{ijmpt} ux_{ijmpt} + \sum_j \sum_k \sum_p \sum_t d2_{jkpt} uy_{jkpt} \\ & + \sum_k \sum_l \sum_p \sum_t d3_{klpt} uz_{klpt} + \sum_l \sum_a \sum_p \sum_t d4_{lappt} uw_{lappt} \quad \text{رابطه (۲)} \end{aligned}$$

$$\text{max } Z_3 = 1 - \prod_i \prod_a \left( 1 - \left( 1 - \prod_j \prod_k \prod_l \prod_m \prod_p \prod_t \left[ 1 - (ux_{ijmpt} \cdot rx_{ijmpt} \times uy_{jkpt}) \right] \right) \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{max } R_s = \left[ 1 - \prod_i (1 - rs_i \cdot vx_i) \right] \left[ 1 - \prod_j (1 - m_j \cdot vy_j) \right] \left[ 1 - \prod_k (1 - vz_k) \right] \left[ 1 - \prod_l (1 - vw_l) \right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sum_j \sum_p x_{ijmpt} \leq cap1_{imt} \quad \forall i, \forall m, \forall t \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$f_{jpt} \leq \frac{\sum_i x_{ijmpt}}{\alpha_{mp}} \quad \forall m, \forall j, \forall p, \forall t \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\sum_p f_{jpt} + \sum_p in1_{jpt-1} - \sum_p \sum_k y_{jkpt} \leq cap2_{jt} \quad \forall j, \forall t \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\sum_p \sum_j y_{jkpt} + \sum_p in2_{kpt-1} - \sum_p \sum_l z_{klpt} \leq cap3_{kt} \quad \forall k, \forall t \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\sum_p \sum_k z_{klpt} + \sum_p in3_{lpt-1} - \sum_p \sum_a w_{lappt} \leq cap4_{lt} \quad \forall l, \forall t \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\sum_l w_{lappt} + sh_{appt} = D_{appt} \quad \forall a, \forall t, \forall p \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$f_{jpt} + in1_{jpt-1} = \sum_k y_{jkpt} + in1_{jpt} \quad \forall j, \forall p, \forall t \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$\sum_j y_{jkpt} + in2_{kpt-1} = \sum_l z_{klpt} + in2_{kpt} \quad \forall k, \forall p, \forall t \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$\sum_k z_{klpt} + in3_{lpt-1} = \sum_a w_{lappt} + in3_{lpt} \quad \forall p, \forall t, \forall l \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$x_{ijmpt} \leq M_1 u x_{ijmpt} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$u x_{ijmpt} \leq M_2 x_{ijmpt} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$y_{jkpt} \leq M_1 u y_{jkpt} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$u y_{jkpt} \leq M_2 y_{jkpt} \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$z_{klpt} \leq M_1 u z_{klpt} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$u z_{klpt} \leq M_2 z_{klpt} \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$w_{lappt} \leq M_1 u w_{lappt} \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$u w_{lappt} \leq M_2 w_{lappt} \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$x_{ijmpt} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall m, \forall p, \forall t \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$y_{jkpt} \geq 0, \text{ integer} \quad \forall j, \forall k, \forall p, \forall t \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

|  |            |
|--|------------|
| $z_{klpt} \geq 0, \text{ integer } \forall k, \forall l, \forall p, \forall t$       | رابطه (۲۴) |
| $w_{lapt} \geq 0, \text{ integer } \forall l, \forall a, \forall p, \forall t$       | رابطه (۲۵) |
| $in1_{jpt} \geq 0, \text{ integer } \forall j, \forall p, \forall t$                 | رابطه (۲۶) |
| $in2_{kpt} \geq 0, \text{ integer } \forall k, \forall p, \forall t$                 | رابطه (۲۷) |
| $in3_{lpt} \geq 0, \text{ integer } \forall l, \forall p, \forall t$                 | رابطه (۲۸) |
| $sh_{lpt} \geq 0, \text{ integer } \forall l, \forall p, \forall t$                  | رابطه (۲۹) |
| $ux_{ijmpt} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall m, \forall p, \forall t$ | رابطه (۳۰) |
| $uy_{jkpt} \in \{0,1\} \quad \forall j, \forall k, \forall p, \forall t$             | رابطه (۳۱) |
| $uz_{klpt} \in \{0,1\} \quad \forall k, \forall l, \forall p, \forall t$             | رابطه (۳۲) |
| $uw_{lapt} \in \{0,1\} \quad \forall l, \forall a, \forall p, \forall t$             | رابطه (۳۳) |

تابع هدف اول به دنبال حداقل سازی بهای تمام شده محصول است. که شامل هزینه تأمین، تولید و ارسال محصول بین مراحل مختلف زنجیره تأمین، هزینه نگهداری موجودی در هر مرحله و نیز هزینه کمبود محصول در نواحی مختلف بازار می‌باشد. تابع هدف دوم به دنبال حداقل سازی زمان تأمین، تولید و ارسال مواد خام و محصولات بین مراحل مختلف زنجیره تأمین می‌باشد. در تابع هدف سوم، با توجه به اینکه مسیرهای موجود بین مراحل مختلف زنجیره تأمین دارای قابلیت اطمینان متفاوتی هستند، لذا به دنبال ارسال مواد و محصولات از مسیرهایی هستیم که قابلیت اطمینان آن مسیرها حداکثر باشد. تابع هدف چهارم مدل برای حداکثر سازی قابلیت اطمینان کل زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. در محدودیت (۵) میزان ارسال ماده خام  $m$  ام از تأمین کننده  $t$ ام به سایر تولیدکنندگان در دوره  $t$  ام نباید بیشتر از ظرفیت آن تأمین کننده باشد. در محدودیت ۶، حداکثر امکان تولید محصول  $p$  ام از مواد خام ارسال شده از تأمین کنندگان مختلف نباید از ظرفیت تولیدی تولید کننده  $t$ ام در دوره  $t$  ام بیشتر باشد. در محدودیت (۷)، محصولاتی که تولید کننده  $t$ ام در دوره  $t$  ام تولید می‌کند بعلاوه موجودی که از دوره قبل در انبار تولید کننده  $t$ ام باقی مانده است، منهای محصولاتی که از تولید کننده  $t$ ام به سایر توزیع کنندگان ارسال می‌شود

نباید از ظرفیت انبار تولیدکننده  $z$  ام بیشتر باشد. در رابطه (۸)، مجموع محصولاتی که از تولیدکننده‌ها به توزیع‌کننده  $k$  ام ارسال می‌شود و میزان موجودی که از دوره قبل از محصولات مختلف در انبار توزیع‌کننده باقی مانده است، منهای محصولاتی که از آن توزیع‌کننده به سایر خرده‌فروش‌ها ارسال می‌شود نباید از ظرفیت توزیع‌کننده  $k$  ام بیشتر باشد. در محدودیت (۹)، مجموع محصولاتی که از توزیع‌کننده‌ها به خرده‌فروش  $l$  ام ارسال می‌شود، بعلاوه موجودی که از دوره قبل در خرده‌فروش  $l$  ام باقی مانده است منهای محصولات ارسالی از خرده‌فروش  $l$  ام به نواحی مختلف بازار نباید از ظرفیت خرده‌فروش بیشتر باشد. در رابطه (۱۰)، میزان محصولی که از خرده‌فروش‌های مختلف به ناحیه  $a$  ام بازار ارسال می‌شود باید با تقاضای ناحیه  $a$  ام برابر باشد در غیر این صورت باعث به وجود آمدن کمبود (تقاضای برآورد نشده) محصول می‌شود. در رابطه (۱۱)، میزان محصولاتی که تولیدکننده  $z$  ام از مواد خام دریافتی از تأمین‌کنندگان تولید می‌کند، بعلاوه موجودی محصولاتی که از دوره قبل در انبار تولیدکننده  $z$  ام باقیمانده است باید برابر با میزان ارسال محصول از تولیدکننده  $z$  ام به سایر توزیع‌کننده‌ها و موجودی دوره جاری تولیدکننده  $z$  ام باشد. در رابطه (۱۲)، میزان محصولی که از تولیدکنندگان مختلف به توزیع‌کننده  $k$  ام ارسال می‌شود بعلاوه موجودی که از دوره قبل در انبار توزیع‌کننده  $k$  ام باقیمانده است باید با میزان ارسال محصول از توزیع‌کننده  $k$  ام به سایر خرده‌فروش‌ها و موجودی دوره جاری توزیع‌کننده  $k$  ام برابر باشد. در رابطه (۱۳)، میزان محصولی که از توزیع‌کنندگان مختلف به خرده‌فروش  $l$  ام ارسال می‌شود، بعلاوه موجودی که از دوره قبل در خرده‌فروش  $l$  ام باقیمانده است باید با میزان ارسال محصول از خرده‌فروش  $l$  ام و موجودی دوره جاری توزیع‌کننده  $k$  ام برابر باشد.

در تابع هدف دوم و سوم از متغیرهای صفر و یک استفاده شده است تا زمانی که ارسالی از یک مسیر صورت گرفت زمان و قابلیت اطمینان آن مسیر در توابع هدف دوم و سوم مدنظر قرار گیرد. بنابراین خواهیم داشت:

$$ux_{ijmpt} = \begin{cases} 1 & \text{if } x_{ijmpt} > 0 \\ 0 & \text{if } x_{ijmpt} = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{رابطه} \\ (۳۴) \end{array}$$

$$uy_{jkpt} = \begin{cases} 1 & \text{if } y_{jkpt} > 0 \\ 0 & \text{if } y_{jkpt} = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{رابطه} \\ (۳۵) \end{array}$$

$$uz_{klpt} = \begin{cases} 1 & \text{if } z_{klpt} > 0 \\ 0 & \text{if } z_{klpt} = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{رابطه} \\ (۳۶) \end{array}$$

$$uw_{lapt} = \begin{cases} 1 & \text{if } w_{lapt} > 0 \\ 0 & \text{if } w_{lapt} = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{رابطه} \\ (۳۷) \end{array}$$

بنابراین برای لحاظ کردن روابط ۳۴ تا ۳۷ محدودیت‌های ۱۶ تا ۲۱ به مسئله اضافه می‌شود. مقدار ارسال بین سطوح مختلف زنجیره تأمین و نیز مقدار موجودی و کمبود نمی‌تواند مقدار منفی به خود بگیرند، لذا محدودیت‌های ۲۲ تا ۲۹ به‌عنوان محدودیت‌های علامت، برای این منظور به مسئله اضافه می‌شوند.

#### یافته‌ها

جهت حل مدل ارائه‌شده در این تحقیق، از یک زنجیره تأمین چهار سطحی شامل دو تأمین‌کننده، سه تولیدکننده، دو مرکز توزیع، سه خرده‌فروش (مراکز فروش) که تقاضای سه منطقه از مشتریان را برآورده می‌سازند، استفاده شده است. در مدل تحقیق از یک نوع محصول که از یک نوع ماده اولیه تولید می‌شود و زنجیره تأمین تک دوره‌ای در نظر گرفته شده است. پارامترهای قطعی مدل به‌طور تصادفی از بازه‌های یکنواخت جدول ۱ انتخاب شده‌اند. همچنین جدول ۲ و شکل ۲ ابعاد مسئله موردبررسی را نشان می‌دهد. در زنجیره تأمین موردبررسی، مواد اولیه موردنیاز کارخانه اول از امین‌کننده اول و مواد اولیه کارخانه دوم از تأمین‌کننده دوم تأمین می‌شود. کارخانه اول و دوم محصولات تولیدی خود را به عمده‌فروش اول تحویل می‌دهند و عمده‌فروش دوم نیز محصولات تولیدی کارخانه سوم



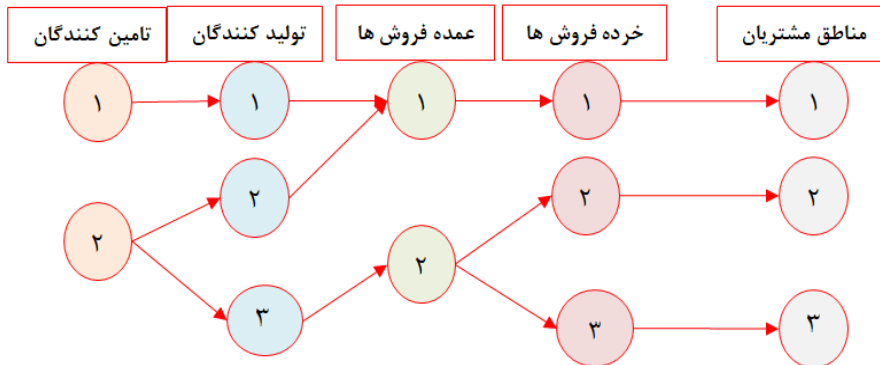
را تحویل می‌گیرد. خرده‌فروش اول جهت برآورده ساختن تقاضای مشتریان مربوط به ناحیه اول از عمده‌فروش اول و خرده‌فروش‌های دوم و سوم نیز به‌منظور برآورده ساختن تقاضای نواحی دوم و سوم از عمده‌فروش دوم محصولات را دریافت می‌کنند.

جدول ۱. مقادیر پارامترها

| پارامتر           | توزیع پارامتر | پارامتر     | توزیع پارامتر    | پارامتر          | توزیع پارامتر  |
|-------------------|---------------|-------------|------------------|------------------|----------------|
| $C1_{ijmpt}$      | $U(8,27)$     | $d2_{jkpt}$ | $U(3,7)$         | $sh\ cost_{apt}$ | $U(550,750)$   |
| $C2_{jkpt}$       | $U(30,55)$    | $d3_{klpt}$ | $U(3,8)$         | $\alpha_{mp}$    | $U(2,4)$       |
| $C3_{klpt}$       | $U(6,14)$     | $d4_{lapt}$ | $U(1,5)$         | $Cap1_{imt}$     | $U(1100,1250)$ |
| $C4_{lapt}$       | $U(8,18)$     | $D_{apt}$   | $Gamma(220, 25)$ | $Cap_{jt}$       | $U(400,850)$   |
| $in\ cost1_{jpt}$ | $U(4,12)$     | $rs_i$      | $U(0.6,0.85)$    | $ProdCap_{jpt}$  | $U(350,750)$   |
| $in\ cost2_{kpt}$ | $U(7,14)$     | $rm_j$      | $U(0.6,0.85)$    | $cap3_{kt}$      | $U(600,950)$   |
| $in\ cost3_{lpt}$ | $U(9,20)$     | $rw_k$      | $U(0.6,0.85)$    | $cap4_{lt}$      | $U(150,300)$   |
| $d1_{ijmpt}$      | $U(5,12)$     | $rr_l$      | $U(0.6,0.85)$    |                  |                |

جدول ۲. ابعاد مسئله موردبررسی

| تعداد مناطق مشتریان | تعداد مراکز فروش | تعداد توزیع کننده | تعداد تولید کننده | تعداد تأمین کننده |
|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ۳                   | ۳                | ۲                 | ۳                 | ۲                 |



شکل ۲. زنجیره تأمین مربوط به مثال عددی موردبررسی

طراحی آزمایش‌ها به‌منظور برآورد رابطه تابع هدف هزینه

به منظور طراحی آزمایش‌ها برای این مسئله از طرح پلاکت-برمان استفاده می‌شود. طرح‌های پلاکت-برمان به لحاظ تعداد اجرا طرح‌های بسیار کارایی هستند. عامل‌های شناسایی شده بر اساس زنجیره تأمین مربوط به مثال عددی می‌باشد. با توجه به روابطی که بین اجزای مختلف زنجیره تأمین مورد بررسی وجود دارد می‌توان ۲۳ عامل در طراحی آزمایش در نظر گرفت. متغیرهای از نوع X نشان‌دهنده میزان مواد اولیه ارسالی از تأمین‌کنندگان برای تولیدکنندگان می‌باشند. متغیرهای از نوع Y نشان‌دهنده میزان محصول ارسالی از تولیدکنندگان برای عمده‌فروش‌ها می‌باشند. متغیرهای از نوع Z نشان‌دهنده میزان محصول ارسالی از عمده‌فروش‌ها برای هر یک از خرده‌فروش‌ها هستند. متغیرهای از نوع W نشان‌دهنده میزان محصول ارسالی برای هر یک از نواحی مشتریان از هر یک از خرده‌فروش‌ها هستند. متغیرهای از نوع IN نیز نشان‌دهنده ظرفیت موجودی برای هر یک از اجزای زنجیره هستند و در نهایت متغیرهای از نوع SH نیز نشان‌دهنده میزان کمبود محصول برای هر یک از نواحی مشتریان و تقاضای آن‌ها است. بر اساس این عامل‌ها و به کارگیری طرح عاملی پلاکت-برمان، آزمایش‌های طراحی شده تعداد ۲۴ آزمایش است.

بعد از طراحی آزمایش‌ها، هر کدام از آن‌ها در مدل شبیه‌سازی پیاده‌سازی و بر اساس مقادیر به دست آمده برای پارامترهای مختلف، مقدار هزینه کل محاسبه می‌شود. فرمول مربوط به رابطه فاکتورها و هزینه به صورت رابطه ۴۰ محاسبه شده است:

$$\begin{aligned} \text{COST} = & 347006 + 4706 X_{11} + 845.1 X_{21} + 2397 X_{23} \\ & + 312.6 Y_{11} + 1753 Y_{21} \\ & + 1683 Y_{32} + 2172 Z_{11} + 1157 Z_{22} + 329.5 Z_{23} + 556.8 W_{11} + 2 \\ & 048 W_{22} + 1445 W_{33} + 407.1 IN_{11} + 6878 IN_{12} + 1802 IN_{13} \\ & + 2720 IN_{21} + 3594 IN_{22} + 3013 IN_{31} + 3054 IN_{32} \\ & + 3275 IN_{33} + 342.5 SH_1 + 633.0 SH_2 + 1370 SH_3 \end{aligned} \quad (\text{رابطه } 40)$$

رابطه به دست آمده بر اساس مقدار هر یک از متغیرهای تصمیم که به صورت آزمایشی طراحی شده بودند حاصل شده است. در این رابطه باید مقدار هر یک از پارامترها (هزینه‌های ارسال، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های کمبود) در مقادیر متغیرهای تصمیم

ضرب شود و رابطه کلی تابع هدف مرتبط با هزینه‌های کلی زنجیره به دست می‌آید و این تابع هدف در کنار سه تابع هدف دیگر و محدودیت‌های مرتبط با آن‌ها در قالب یک مدل کلی در نظر گرفته می‌شود.

### نتایج حاصل از حل مدل برای مثال عددی

با توجه به مدل تشریح شده و در نظر گرفتن مثال عددی، این مدل در نرم‌افزار لینگو ۱ به روش محدودیت اپسیلون حل شد و جواب‌های پارتوی به دست آمده برای آن به شرح جدول ۳ است

جدول ۳. نتایج حاصل از اجرای مدل برای مثال عددی

| شماره جواب | هزینه  | زمان | قابلیت اطمینان مسیر | قابلیت اطمینان کل | شماره جواب | هزینه  | زمان | قابلیت اطمینان مسیر | قابلیت اطمینان کل |
|------------|--------|------|---------------------|-------------------|------------|--------|------|---------------------|-------------------|
| ۱          | 336145 | 252  | 0.9625              | 0.6815            | ۶          | 349215 | 198  | 0.9023              | 0.6357            |
| ۲          | 374261 | 245  | 0.9712              | 0.6754            | ۷          | 362547 | 150  | 0.9521              | 0.6697            |
| ۳          | 345231 | 198  | 0.9321              | 0.6451            | ۸          | 335821 | 263  | 0.9352              | 0.6214            |
| ۴          | 366210 | 239  | 0.9451              | 0.6612            | ۹          | 347982 | 274  | 0.9723              | 0.6712            |
| ۵          | 360123 | 211  | 0.9687              | 0.6421            | ۱۰         | 337982 | 239  | 0.9412              | 0.6032            |

### طراحی سناریو

به منظور بهبود در فرایندها از منظر معیارهای عملکردی سیستم سناریوهای مختلفی تعریف می‌شوند و اثر آن‌ها بر متغیرهای عملکردی موردنظر در سیستم بررسی می‌شوند. این سناریوها می‌توانند از ابعاد و جنبه‌های گوناگون تعریف و مطرح شوند. سازمان‌ها برای تولید کالا و ارائه خدمت، به مواد اولیه و قطعات نیاز دارند و از عرضه کنندگان آن تأمین می‌نمایند. هدف اصلی از مدیریت مواد اولیه و قطعات موردنیاز، این است که: اولاً در هنگام نیاز کالا و قطعات به میزان موردنظر موجود باشد و ثانیاً مقدار کالا و قطعات به اندازه «مناسب» باشد، یعنی نه به میزان زیاد که هزینه انبارداری فوق‌العاده‌ای را بر سازمان تحمیل

نماید و فضای دیگر کالاها را اشغال نماید و نه آن قدر کم باشد که خط تولید متوقف شود. به عبارت دیگر، منافع ناشی از دارا بودن موجودی بیش از هزینه‌های کمبود آن باشد (وایت و سنسلايو، ۱، ۲۰۱۸). منظور از موجودی تنها مواد اولیه و قطعات نیست. بلکه موجودی به: مواد اولیه و قطعات، کالاهای نیمه ساخته، ماشین‌آلات، ابزارآلات تولیدی، لوازم تعمیرات آن‌ها و کالای ساخته شده اطلاق می‌شود. در سیستم‌های نوین تولید، سازمان‌ها به دنبال کاهش میزان موجودی و نگهداری آن در حداقل ممکن هستند. به گونه‌ای که مواد اولیه هنگام نیاز، وارد سیستم شده و کالای تکمیل شده باری مشتریان ارسال گردد. البته حذف کامل انبار و دارا بودن مواد اولیه در موقع نیاز و به‌طور مطلق امکان ندارد. با توجه به این موارد در این تحقیق قصد داریم با توجه به تصادفی بودن مقدار تقاضا رویکردهای مختلفی را برای سطح سفارش مجدد و مقدار سفارش مجدد در هر یک از مراحل زنجیره تأمین در نظر بگیریم.

### سناریو اول

در این حالت با دیدگاه احتیاطی و ریسک‌گریز به تعیین حد سطح سفارش مجدد و مقدار سفارش مجدد می‌پردازیم و مقادیر بالایی را برای آن‌ها در نظر می‌گیریم. این سناریو با دیدگاه «حداکثر موجودی» در ارتباط است.

حداکثر موجودی به منزله بالاترین مقدار کالای موجود در انبار (نرم افزار انبارداری) است اما نگهداری کالا بیش از این مقدار به صرفه نمی‌باشد. زمانی که مقدار موجودی قلم کالای موجود در انبار بیش از حداکثر موجودی اطلاع داده شود این باید بررسی و علت آن گزارش شود و در صورت لزوم اصلاحاتی باید صورت بگیرد. حداکثر موجودی ارتباط مستقیمی به اندازه سفارش دارد و فسادپذیری کالا در مدت مصرف می‌بایست در نظر گرفته شود (وایت و سنسلايو، ۲۰۱۸).

میزان حداکثر موجودی عبارت است از:

توسعه مدل چندهدفه زنجیره تأمین با تقاضای تصادفی...؛ صالحی مقدم و همکاران | ۲۳۳

(حداقل مدت تحویل (روز) \* حداقل مصرف روزانه) - میزان سفارش مجدد + نقطه سفارش =  
حداکثر موجودی

در این سناریو، موجودی اولیه ۱ برای انبارهای تولیدکننده ۵۰۰، سطح سفارش مجدد ۲ ۲۵۰ و مقدار جایگزینی ۳ ۳۰۰ در نظر گرفته می شود.

با در نظر گرفتن مقادیر موردنظر برای پارترهای موردبررسی، مجدداً با به کارگیری نرم افزار لینگو مسئله را حل می کنیم و جواب های حاصل به شرح جدول ۴ هستند.

جدول ۴. مقادیر توابع هدف مدل سناریوی اول تحقیق

| شماره جواب | هزینه کل | زمان ارسال | قابلیت اطمینان مسیر | قابلیت اطمینان سیستم | شماره جواب | هزینه کل | زمان ارسال | قابلیت اطمینان مسیر | قابلیت اطمینان سیستم |
|------------|----------|------------|---------------------|----------------------|------------|----------|------------|---------------------|----------------------|
| ۱          | ۳۳۳۵۶۰   | ۲۴۵        | 0.9952              | 0.6934               | ۶          | ۳۴۸۹۹۲   | ۱۹۲        | 0.9637              | 0.6632               |
| ۲          | ۳۶۲۹۵۶   | ۲۴۲        | 0.9863              | 0.6785               | ۷          | ۳۶۱۲۸۶   | ۱۴۸        | 0.9796              | 0.6721               |
| ۳          | ۳۴۲۰۸۹   | ۱۸۹        | 0.9899              | 0.6924               | ۸          | ۳۳۳۵۴۶   | ۲۵۷        | 0.9687              | 0.6894               |
| ۴          | ۳۶۴۹۶۱   | ۲۳۲        | 0.9936              | 0.6852               | ۹          | ۳۴۵۶۲۷   | ۲۶۷        | 0.9864              | 0.6674               |
| ۵          | ۳۵۵۱۳۴   | ۱۹۸        | 0.9947              | 0.6734               | ۱۰         | ۳۳۵۴۹۷   | ۲۳۸        | 0.9632              | 0.6523               |

### سناریو دوم

در این حالت حد معتدلی از سطح سفارش مجدد و مقدار سفارش مجدد در نظر خواهیم گرفت. در این سناریو با دیدگاه «متوسط موجودی یا حد مطلوب موجودی» سروکار داریم. برای اطمینان از صحت سیاست های کنترل موجودی انبار و رعایت مطلوب موازین اقتصادی متوسط موجودی را ملاک عمل قرار داده و موجودی کالاهای انبار را با حد متوسط مطلوب موجودی مقایسه می نمایند. در انبارهایی که بیش از پنجاه درصد کالاهای انبار دارای موجودی معادل حد مطلوب داشته باشند، می توان نتیجه گرفت که در این انبارها مدیریت و کنترل موجودی وضعیت مناسبی دارد (وایت و سنسلاو، ۲۰۱۸).

1. Initial inventory
2. Reorder level
3. Replenishment quantity

میزان سطح مورد اعتماد موجودی عبارت است از:

$\alpha$ : سطح ریسک یا سطح خطر مدیریت برابر است با: احتمال اینکه در یک دوره با

کمبود مواجه شویم

سطح مورد اعتماد موجودی برابر  $(1 - \alpha)$  است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

متوسط تعداد دوره‌ها در سال / (متوسط تعداد دوره‌های دارای کمبود در سال) = سطح مورد اعتماد موجودی

با اعمال تغییرات مرتبط با این سناریو و در نظر گرفتن مقادیر موردنظر برای

پارمترهای موردبررسی، مجدداً با به‌کارگیری نرم‌افزار لینگو مسئله را حل می‌کنیم و

جواب‌های حاصل به شرح جدول ۵ هستند.

جدول ۵. مقادیر توابع هدف مدل سناریوی دوم تحقیق

| شماره جواب | هزینه کل | زمان ارسال | قابلیت اطمینان مسیر | قابلیت اطمینان سیستم | شماره جواب | هزینه کل | زمان ارسال | قابلیت اطمینان مسیر | قابلیت اطمینان سیستم |
|------------|----------|------------|---------------------|----------------------|------------|----------|------------|---------------------|----------------------|
| ۱          | ۳۳۰۸۹۶   | ۲۴۷        | ۰,۹۷۸۱              | ۰,۷۰۵۸               | ۶          | ۳۴۶۸۲۱   | ۱۹۳        | ۰,۹۴۸۵              | ۰,۷۰۸۵               |
| ۲          | ۳۶۰۱۶۵   | ۲۴۳        | ۰,۹۶۳۷              | ۰,۶۸۹۵               | ۷          | ۳۵۹۱۲۰   | ۱۴۹        | ۰,۹۵۳۷              | ۰,۷۰۱۲               |
| ۳          | ۳۴۰۵۶۹   | ۱۹۵        | ۰,۹۵۳۲              | ۰,۶۹۲۱               | ۸          | ۳۳۰۴۵۷   | ۲۶۳        | ۰,۹۶۱۴              | ۰,۶۹۲۱               |
| ۴          | ۳۶۳۲۱۴   | ۲۳۶        | ۰,۹۷۸۵              | ۰,۷۱۰۶               | ۹          | ۳۴۲۰۱۳   | ۲۶۹        | ۰,۹۷۶۳              | ۰,۶۸۹۴               |
| ۵          | ۳۵۲۶۴۲   | ۲۰۲        | ۰,۹۸۱۲۱             | ۰,۶۸۳۸               | ۱۰         | ۳۳۲۴۸۵   | ۲۳۹        | ۰,۹۵۳۹              | ۰,۶۷۵۴               |

### سناریو سوم

در این حالت با دیدگاه ریسک‌پذیر به تعیین حد سطح سفارش مجدد و مقدار سفارش

مجدد می‌پردازیم و مقادیر پایینی را برای آن‌ها در نظر می‌گیریم. در این سناریو احتمال به

وجود آمدن هزینه ازدست‌رفته بالا می‌رود. این سناریو با دیدگاه «ذخیره اطمینان (احتیاطی)

یا حداقل موجودی ۱» در ارتباط است.

ذخیره اطمینان (SS) عبارت است از میزان اضافه موجودی انبار برای جلوگیری از کمبودهای احتمالی در زمان انتظار جهت دریافت کالا می‌باشد و موجودی را در مقابل افزایش غیرمنتظره تقاضا یا مدت تقاضا بیمه می‌کند، معمولاً ذخیره احتیاطی ۱۰٪ مصرف کل سالانه است، وقتی موجودی کالایی به این سطح می‌رسد این امر گزارش می‌شود و سوابق بررسی شده و در صورت نیاز سیستم بازنگری موجودی اصلاح می‌شود (وایت و سنسلاو، ۲۰۱۸).

(متوسط مدت مصرف (روز) \* متوسط مدت تحویل سفارش (روز)) - نقطه سفارش = حداقل موجودی

با در نظر گرفتن مقادیر موردنظر برای پارمترهای موردبررسی، مجدداً با به کارگیری نرم‌افزار لینگو مسئله را حل می‌کنیم و جواب‌های حاصل به شرح جدول ۶ هستند.

جدول ۶. مقادیر توابع هدف مدل سناریوی سوم تحقیق

| شماره جواب | هزینه کل | زمان ارسال | قابلیت اطمینان مسیر | قابلیت اطمینان سیستم | شماره جواب | هزینه کل | زمان ارسال | قابلیت اطمینان مسیر | قابلیت اطمینان سیستم |
|------------|----------|------------|---------------------|----------------------|------------|----------|------------|---------------------|----------------------|
| ۱          | ۳۳۲۴۷۰   | ۲۴۹        | ۰/۹۷۲۱              | 0.6958               | ۶          | ۳۴۸۶۲۱   | ۱۹۶        | 0.9357              | 0.6532               |
| ۲          | ۳۶۲۱۲۴   | ۲۴۴        | ۰/۹۶۲۱              | 0.6824               | ۷          | ۳۶۰۳۴۷   | ۱۵۲        | 0.9524              | 0.6637               |
| ۳          | ۳۴۱۵۲۱   | ۱۹۶        | ۰/۹۴۱۲              | 0.6596               | ۸          | ۳۳۲۵۴۱   | ۲۶۴        | 0.9581              | 0.6485               |
| ۴          | ۳۶۴۲۳۷   | ۲۳۸        | ۰/۹۵۱۲              | 0.6754               | ۹          | ۳۴۴۱۲۷   | ۲۷۳        | 0.9637              | 0.6498               |
| ۵          | ۳۵۴۲۱۳   | ۲۰۸        | ۰/۹۷۲۳              | 0.6647               | ۱۰         | ۳۳۴۲۱۸   | ۲۴۱        | 0.94585             | 0.6325               |

### رتبه بندی سناریوها بر اساس روش ویکور ۱

با توجه به اینکه در مقایسه سناریوها ما نمی‌توانیم صرفاً بر اساس فقط یک تابع هدف به مقایسه و نتیجه‌گیری دست‌یابیم (چراکه در مقایسه این‌چنینی فقط یک تابع هدف در نظر گرفته می‌شود) بنابراین نیاز به رویکردی داریم تا با استفاده از آن بتوانیم سناریوهای پیشنهادی را بر اساس تمام توابع هدف به صورت هم‌زمان با هم مقایسه کنیم. رویکرد پیشنهادی برای این امر، رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. روش‌های تصمیم‌گیری

#### 1. VIKOR

زیادی بدین منظور وجود دارد. تکنیکی که در این تحقیق استفاده می‌شود تکنیک ویکور است. این روش دارای مبنای ریاضیاتی و محاسباتی مناسبی بوده و کارایی خود را در تحقیقات مختلف اثبات نموده است (امیری، ۱۳۹۵).

با توجه به اینکه مدل در شرایط مختلف (وضعیت فعلی و سناریوهای مختلف) حل شد و با توجه به چند هدفه بودن مدل، جواب‌های به‌دست آمده برای هر حالت به‌صورت پارتو است یعنی نمی‌توان به‌طور قطع مشخص کرد که کدام جواب برای هر حالت از مدل می‌تواند به‌عنوان بهترین جواب انتخاب شود. بنابراین قبل از مقایسه سناریوها با یکدیگر ابتدا باید جواب‌های پارتو به‌دست آمده برای هر سناریو رتبه‌بندی شوند و بر اساس بهترین جواب به‌دست آمده سناریوها را با یکدیگر مقایسه نماییم.

در ادامه برای هر یک از سناریوها و مثال عددی (در مجموع چهار حالت شامل مثال عددی (وضعیت فعلی) و سه سناریو)، یک جدول تصمیم‌گیری تشکیل داده و مجموعه جواب‌های هر حالت مدل را بر اساس روش ویکور به‌منظور انتخاب بهترین راه‌حل، مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهیم.

جدول ۷. ماتریس تصمیم‌گیری مربوط به نتایج به‌دست آمده برای مثال عددی

| معیارها (اهداف)<br>گزینه‌ها (جواب‌ها) | هزینه<br>$C_1$ | زمان<br>$C_2$ | قابلیت اطمینان مسیر<br>$C_3$ | قابلیت اطمینان کل<br>$C_4$ |
|---------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------------------|
| $A_1$                                 | ۳۳۶۱۴۵         | ۲۵۲           | ۰,۹۶۲۵                       | ۰,۶۸۱۵                     |
| $A_2$                                 | ۳۷۴۲۶۱         | ۲۴۵           | ۰,۹۷۱۲                       | ۰,۶۷۵۴                     |
| $A_3$                                 | ۳۴۵۲۳۱         | ۱۹۸           | ۰,۹۳۲۱                       | ۰,۶۴۵۱                     |
| $A_4$                                 | ۳۶۶۲۱۰         | ۲۳۹           | ۰,۹۴۵۱                       | ۰,۶۶۱۲                     |
| $A_5$                                 | ۳۶۰۱۲۳         | ۲۱۱           | ۰,۹۶۸۷                       | ۰,۶۴۲۱                     |
| $A_6$                                 | ۳۴۹۲۱۵         | ۱۹۸           | ۰,۹۰۲۳                       | ۰,۶۳۵۷                     |
| $A_7$                                 | ۳۶۲۵۴۷         | ۱۵۰           | ۰,۹۵۲۱                       | ۰,۶۶۹۷                     |
| $A_8$                                 | ۳۳۵۸۲۱         | ۲۶۳           | ۰,۹۳۵۲                       | ۰,۶۲۱۴                     |
| $A_9$                                 | ۳۴۷۹۸۲         | ۲۷۴           | ۰,۹۷۲۳                       | ۰,۶۷۱۲                     |
| $A_{10}$                              | ۳۳۷۹۸۳         | ۲۳۹           | ۰,۹۴۱۲                       | ۰,۶۰۳۲                     |



| معیارها (اهداف)<br>گزینه‌ها (جواب‌ها) | هزینه<br>$C_1$ | زمان<br>$C_2$ | قابلیت اطمینان مسیر<br>$C_3$ | قابلیت اطمینان کل<br>$C_4$ |
|---------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------------------|
| $fi^*$                                | ۳۳۵۸۲۱         | ۱۵۰           | ۰,۹۷۲۳                       | ۰,۶۸۱۵                     |
| $fi^-$                                | ۳۷۴۲۶۱         | ۲۷۴           | ۰,۹۰۲۳                       | ۰,۶۰۳۲                     |

بر اساس نتایج مربوط به مثال عددی، می‌خواهیم از بین جواب‌های پارتوی به‌دست آمده با به‌کارگیری روش ویکور مناسب‌ترین جواب را انتخاب نماییم. لازم به ذکر است با توجه به اینکه مثال مورد استفاده در این تحقیق به صورت یک مثال عددی است و بنابراین جهت وزن دهی به هر یک از اهداف مدل جهت رتبه‌بندی نهایی، وزن تمامی اهداف را با هم برابر در نظر می‌گیریم و با توجه به در اختیار داشتن چهار تابع هدف، وزن هر یک از اهداف رو ۰,۲۵ در نظر می‌گیریم. در ادامه محاسبات مربوط به رتبه‌بندی جواب‌های مثال عددی با استفاده از روش ویکور را مشاهده می‌کنیم.

جدول ۸. محاسبه مقادیر  $S^*$ ,  $S^-$ ,  $R^*$  و  $R^-$  و  $Q^*$

| $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ | $S_6$ | $S_7$ | $S_8$ | $S_9$ | $S_{10}$ | $S^- = 0.242$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------|
| 0.242 | 0.464 | 0.417 | 0.539 | 0.419 | 0.58  | 0.284 | 0.552 | 0.362 | 0.534    | $S^* = 0.58$  |
| $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_6$ | $R_7$ | $R_8$ | $R_9$ | $R_{10}$ | $R^* = 0.585$ |
| 0.205 | 0.25  | 0.144 | 0.197 | 0.158 | 0.585 | 0.174 | 0.228 | 0.25  | 0.25     | $R^- = 0.144$ |
| $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ | $Q_5$ | $Q_6$ | $Q_7$ | $Q_8$ | $Q_9$ | $Q_{10}$ | $Q^* = Q_7$   |
| 0.69  | 0.448 | 0.259 | 0.499 | 0.264 | 1     | 0.096 | 0.554 | 0.298 | 0.552    |               |

با به‌کارگیری روش ویکور برای جواب‌های پارتوی حاصل از سناریوهای اول تا سوم نیز می‌توان بهترین مجموعه جواب برای هر سناریو را محاسبه نمود. نحوه انجام محاسبات برای این سه سناریو نیز همانند محاسبات صورت گرفته برای رتبه‌بندی جواب‌های مثال عددی است.

جدول ۹. ماتریس تصمیم‌گیری مربوط به نتایج به‌دست‌آمده برای سناریوی اول

| معیارها (اهداف)<br>گزینه‌ها (جواب‌ها) | هزینه<br>$C_1$ | زمان<br>$C_2$ | قابلیت اطمینان مسیر<br>$C_3$ | قابلیت اطمینان کل<br>$C_4$ |
|---------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------------------|
| $A_1$                                 | ۳۳۳۵۶۰         | ۲۴۵           | 0.9952                       | 0.6934                     |
| $A_2$                                 | ۳۶۲۹۵۶         | ۲۴۲           | 0.9863                       | 0.6785                     |
| $A_3$                                 | ۳۴۲۰۸۹         | ۱۸۹           | 0.9899                       | 0.6924                     |
| $A_4$                                 | ۳۶۱۲۸۶         | ۱۴۸           | 0.9796                       | 0.6721                     |
| $A_5$                                 | ۳۶۴۹۶۱         | ۲۳۲           | 0.9936                       | 0.6852                     |
| $A_6$                                 | ۳۵۵۱۳۴         | ۱۹۸           | 0.9947                       | 0.6734                     |
| $A_7$                                 | ۳۴۸۹۹۲         | ۱۹۲           | 0.9637                       | 0.6632                     |
| $A_8$                                 | ۳۳۳۵۴۶         | ۲۵۷           | 0.9687                       | 0.6894                     |
| $A_9$                                 | ۳۴۵۶۲۷         | ۲۶۷           | 0.9864                       | 0.6674                     |
| $A_{10}$                              | ۳۳۵۴۹۷         | ۲۳۸           | 0.9632                       | 0.6523                     |
| $fi^*$                                | ۳۳۳۵۴۶         | ۱۴۸           | ۰,۹۹۵۲                       | ۰,۶۹۳۴                     |
| $fi^-$                                | ۳۶۴۹۶۱         | ۲۶۷           | ۰,۹۶۳۲                       | ۰,۶۵۲۳                     |

جدول ۱۰. ماتریس تصمیم‌گیری مربوط به نتایج به‌دست‌آمده برای سناریوی دوم

| معیارها (اهداف)<br>گزینه‌ها (جواب‌ها) | هزینه<br>$C_1$ | زمان<br>$C_2$ | قابلیت اطمینان مسیر<br>$C_3$ | قابلیت اطمینان کل<br>$C_4$ |
|---------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------------------|
| $A_1$                                 | ۳۳۰۸۹۶         | ۲۴۷           | 0.9781                       | 0.7058                     |
| $A_2$                                 | ۳۶۰۱۶۵         | ۲۴۳           | 0.9637                       | 0.6895                     |
| $A_3$                                 | ۳۴۹۱۲۰         | ۱۴۹           | 0.9537                       | 0.7012                     |
| $A_4$                                 | ۳۴۰۵۶۹         | ۱۹۵           | 0.9532                       | 0.6921                     |
| $A_5$                                 | ۳۶۳۲۱۴         | ۲۳۶           | 0.9785                       | 0.7106                     |
| $A_6$                                 | ۳۵۲۶۴۲         | ۲۰۲           | 0.98121                      | 0.6838                     |
| $A_7$                                 | ۳۴۶۸۲۱         | ۱۹۳           | 0.9485                       | 0.7085                     |
| $A_8$                                 | ۳۳۰۴۵۷         | ۲۶۳           | 0.9614                       | 0.6921                     |
| $A_9$                                 | ۳۴۲۰۱۳         | ۲۶۹           | 0.9763                       | 0.6894                     |
| $A_{10}$                              | ۳۳۲۴۸۵         | ۲۳۹           | 0.9539                       | 0.6754                     |

| معیارها (اهداف)<br>گزینه‌ها (جواب‌ها) | هزینه<br>$C_1$ | زمان<br>$C_2$ | قابلیت اطمینان مسیر<br>$C_3$ | قابلیت اطمینان کل<br>$C_4$ |
|---------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------------------|
| $fi^*$                                | ۳۳۰۴۵۷         | ۱۴۹           | ۰,۹۸۱۲۱                      | ۰,۷۱۰۶                     |
| $fi^-$                                | ۳۶۳۲۱۴         | ۲۶۹           | ۰,۹۴۸۵                       | ۰,۶۷۵۴                     |

جدول ۱۱. ماتریس تصمیم‌گیری مربوط به نتایج به‌دست‌آمده برای سناریوی سوم

| معیارها (اهداف)<br>گزینه‌ها (جواب‌ها) | هزینه<br>$C_1$ | زمان<br>$C_2$ | قابلیت اطمینان مسیر<br>$C_3$ | قابلیت اطمینان کل<br>$C_4$ |
|---------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------------------|
| $A_1$                                 | ۳۳۲۴۷۰         | ۲۴۹           | ۰,۹۷۲۱                       | ۰,۶۹۵۸                     |
| $A_2$                                 | ۳۶۲۱۲۴         | ۲۴۴           | ۰,۹۶۲۱                       | ۰,۶۸۲۴                     |
| $A_3$                                 | ۳۴۱۵۲۱         | ۱۹۶           | ۰,۹۴۱۲                       | ۰,۶۵۹۶                     |
| $A_4$                                 | ۳۶۴۲۳۷         | ۲۳۸           | ۰,۹۵۱۲                       | ۰,۶۷۵۴                     |
| $A_5$                                 | ۳۵۴۲۱۳         | ۲۰۸           | ۰,۹۷۲۳                       | ۰,۶۶۴۷                     |
| $A_6$                                 | ۳۴۸۶۲۱         | ۱۹۶           | ۰,۹۳۵۷                       | ۰,۶۶۳۲                     |
| $A_7$                                 | ۳۳۲۵۴۱         | ۲۶۴           | ۰,۹۵۸۱                       | ۰,۶۴۸۵                     |
| $A_8$                                 | ۳۴۴۱۲۷         | ۲۷۳           | ۰,۹۶۳۷                       | ۰,۶۴۹۸                     |
| $A_9$                                 | ۳۶۰۳۴۷         | ۱۵۲           | ۰,۹۵۲۴                       | ۰,۶۶۳۷                     |
| $A_{10}$                              | ۳۳۴۲۱۸         | ۲۴۱           | ۰,۹۴۵۸۵                      | ۰,۶۳۲۵                     |
| $fi^*$                                | ۳۳۲۴۷۰         | ۱۵۲           | ۰,۹۷۲۳                       | ۰,۶۹۵۸                     |
| $fi^-$                                | ۳۶۴۲۳۷         | ۲۷۳           | ۰,۹۳۵۷                       | ۰,۶۳۲۵                     |

با توجه به محاسبات صورت گرفته برای هر ۴ حالت موردبررسی (مثال عددی، سناریوی اول، سناریوی دوم و سناریوی سوم) می‌توان بهترین جواب‌های به‌دست‌آمده از روش ویکور برای این چهار حالت از مدل را به‌صورت جدول ۱۲ به نمایش درآورد.

جدول ۱۲. جواب‌های برتر هر حالت از مدل بر اساس روش ویکور

| معیارها (اهداف)<br>گزینه‌ها (جواب‌ها) | هزینه<br>$C_1$ | زمان<br>$C_2$ | قابلیت اطمینان مسیر<br>$C_3$ | قابلیت اطمینان کل<br>$C_4$ |
|---------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------------------|
| $A_1$                                 | ۳۶۲۵۴۷         | ۱۵۰           | ۰,۹۵۲۱                       | ۰,۶۶۹۷                     |
| $A_2$                                 | ۳۶۱۲۸۶         | ۱۴۸           | ۰,۹۷۹۶                       | ۰,۶۷۲۱                     |
| $A_3$                                 | ۳۴۹۱۲۰         | ۱۴۹           | ۰,۹۵۳۷                       | ۰,۷۰۱۲                     |
| $A_4$                                 | ۳۶۰۳۴۷         | ۱۵۲           | ۰,۹۵۲۴                       | ۰,۶۶۳۷                     |
| $fi^*$                                | ۳۴۹۱۲۰         | ۱۴۸           | ۰,۹۷۹۶                       | ۰,۷۰۱۲                     |
| $fi^-$                                | ۳۶۲۵۴۷         | ۱۵۲           | ۰,۹۵۲۱                       | ۰,۶۶۳۷                     |

به‌منظور انتخاب بهترین حالت برای مدل از بین چهار حالت پیشنهادی، در انتها نیز مجدداً از روش ویکور استفاده نموده که محاسبات به‌صورت زیر است.

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ |
| 0.165 | 0.579 | 0.702 | 0.047 |
| $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 0.125 | 0.25  | 0.25  | 0.041 |
| $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ |
| 0.708 | 0.09  | 0     | 1     |

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدلی برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین ارائه شد و بحث تصادفی بودن تقاضا در آن توسعه داده شد. جهت درک بهتر مدل پیشنهادی و نشان دادن کاربردی بودن آن و یافتن پاسخ‌های بهینه و یا شدنی با مثال عددی در قالب سناریوهای مختلف با نرم‌افزار لینگو، موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت. داده‌های مثال عددی از بازه‌های یکنواخت به‌طور تصادفی انتخاب شدند. لازم به ذکر است که مدل توسعه داده‌شده در این رساله در حالت عمومی و مستقل از تعداد تسهیلات در هر سطح زنجیره‌تأمین و مقادیر پارامترها ارائه شدند لذا در حالت عمومی این مدل برای هر زنجیره‌تأمینی که در محیط‌های تولیدی که منطبق بر الگوهای ارائه شده در این پژوهش باشد، قابل کاربرد است. لذا ارائه مطالعه

موردی و یا مثال و نتایج به‌هیچ‌وجه در جهت اثبات یا رد یا کاربردی بودن مدل مطرح شده نیست. این مثال فقط جهت روشن شدن یکی از چندین کاربرد ممکن مدل توسعه داده شده این پژوهش و آشنایی با خروجی‌های مدل و توصیف آن بود. به‌منظور تدوین مدل پیشنهادی، ابتدا با به‌کارگیری طراحی آزمایش‌ها به برآورد رابطه ریاضی مربوط به تابع هدف هزینه اقدام شد. پس از تدوین مدل چندهدفه موردنظر، نتایج حل مسئله نمونه بر اساس داده‌های عنوان شده در قالب سناریوهای مختلف با نرم‌افزار لینگو، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در انتها نیز بر اساس جواب‌های پارتوی به‌دست آمده برای هر حالت از مدل، بر اساس روش تصمیم‌گیری ویکور به رتبه‌بندی نهایی جواب‌های و انتخاب بهترین حالت از مدل پیشنهادی اقدام شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در انتها بر اساس شاخص ویکور به‌دست آمده برای هر یک از گزینه‌ها، گزینه سوم (سناریوی دوم) یعنی در نظر گرفتن سطح متوسط موجودی به‌عنوان بهترین راهکار برای دستیابی به بهترین جواب پارتو برای مدل تشریح شده پیشنهاد شد.

### پیشنهادهای تحقیق

بر اساس یافته‌های حاصل از تحقیق، درصد قابل توجهی از هزینه‌های زنجیره تأمین به هزینه‌های تأمین و توزیع تعلق دارد. از لحاظ ریاضی تغییرات هزینه‌های کل زنجیره تأمین به تغییر پارامترهای این توابع حساس است و از دیدگاه اقتصادی مدیریت هزینه‌های تأمین و توزیع در سودآوری و کنترل هزینه‌های کل زنجیره تأمین تأثیر بیشتری دارد. بنابراین به‌عنوان یکی از پیشنهادها حاصل از تحقیق به مدیران توصیه می‌شود که توجه ویژه‌ای به هزینه‌های تأمین و توزیع داشته و به‌منظور کاهش حداکثری در هزینه‌های کل زنجیره تأمین تأکید بیشتری بر روی کاهش این نوع از هزینه‌ها داشته باشند.

با توجه به سناریوهای پیشنهادی برای این تحقیق بر اساس سطوح موجودی‌ها و انواع دیدگاه‌ها نسبت به این سطوح، دیدگاه متوسط موجودی هزینه‌های کمتری به‌سازمان تحمیل نموده و قابلیت اطمینان کل زنجیره را نیز به نسبت دو سناریوی دیگر، بیشتر بهبود

می‌بخشد. بنابراین به مدیران توصیه می‌شود جهت مدیریت موجودی‌ها در زنجیره تأمین شرکت خود، توجه ویژه‌ای به این رویکرد نسبت به موجودی‌ها داشته باشند.

با توجه به اینکه مدل مورداستفاده در این رساله در حالت کلی مستقل از تعداد شاخص‌ها و مقدار آن‌ها ارائه شده است، بنابراین با توجه به این مورد می‌تواند مبنای بسیاری از تحقیقات آتی در مورد مطالعه‌های گوناگون مورداستفاده قرار گیرد. بنابراین به‌عنوان یکی از پیشنهادهای این تحقیق، به‌کارگیری مدل توسعه داده‌شده در یک مورد مطالعه واقعی است.

در این تحقیق مدل پیشنهادی بر اساس رویکرد کنترل موجودی در قالب سه سناریو موردبررسی گرفت. محققین می‌توانند به‌منظور انجام تحقیقات آتی با در نظر گرفتن سایر رویکردها به تدوین سناریوهای مختلف و مقایسه آن‌ها اقدام کنند.

در این تحقیق فرض بر این بود که تقاضا برای محصول به‌صورت تصادفی بوده و تابع توزیع تقاضا از یک تابع توزیع تصادفی پیروی می‌کنند و بر این اساس از رویکرد طراحی آزمایش‌ها به‌منظور برآورد رابطه ریاضی تابع هدف هزینه (که تقاضا بر روی این تابع هدف مؤثر بود) استفاده شد. با توجه به شرایط فعلی حاکم بر شرکت‌ها، می‌توان به‌منظور نزدیک‌تر شدن مدل به حالت واقعی، دیگر پارامترهای مدل از جمله زمان تولید هر محصول، ظرفیت هر یک از قسمت‌های زنجیره و هزینه‌های ساخت و ارسال و ... را به‌صورت فازی یا خاکستری در نظر گرفته و به حل مدل مبادرت کنند.

در این تحقیق در توابع هدف قابلیت اطمینان (قابلیت اطمینان مسیر و قابلیت اطمینان کل زنجیره) فرض بر این بود که قابلیت اطمینان اجزای زنجیره تأمین مستقل از زمان هستند. در عمل بسیاری از تجهیزات و ماشین‌آلات تولیدی و وسایل نقلیه دارای قابلیت اطمینان وابسته به زمان هستند و باگذشت زمان ممکن است قابلیت اطمینان آن‌ها کاسته شده و احتمال خرابی آن‌ها بیشتر شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود محققین در استفاده از مدل این تحقیق، بحث قابلیت اطمینان وابسته به زمان را نیز در نظر بگیرند. همچنین پیشنهاد

می‌شود محققین از مدل پژوهش و روش ارائه‌شده برای مثال‌هایی واقعی از دنیای واقعی استفاده نمایند.

در این پژوهش از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی (شبیه‌سازی، طراحی آزمایش‌ها و رگرسیون) به‌عنوان یک روش قطعی استفاده شده است. محققین می‌توانند بجای استفاده از رگرسیون، از رویکرد شبکه‌های عصبی و در صورت NP-HARD شدن مدل از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده نمایند.

#### ORCID

Shima Salehi  
Moghadam

 <http://orcid.org/0000-0003-2447-8079>


Mohammad' Taghi  
TaghaviFard,

 <http://orcid.org/0000-0002-4212-2079>

Ghanbar Abbaspour  
Esfadan

 <http://orcid.org/0000-0002-9830-5966>

Aboutrab Alirezaei

 <http://orcid.org/0000-0003-4750-1673>

## منابع

- اختیاری، مصطفی. (۱۳۸۹). مدیریت زنجیره تأمین سه سطحی تحت عدم قطعیت با استفاده از برنامه‌ریزی فازی چند هدفه. *مطالعات مدیریت صنعتی*، سال هشتم، شماره ۱۸، پاییز ۱۳۸۹، صفحات ۱۲۳ تا ۱۶۰.
- اشترلر، هارتموت و کیلگر، کریستوف (۲۰۰۵). *مدیریت زنجیره تأمین* ترجمه نسرین عسگری و رضا فراهانی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول ۱۳۸۵.
- افشاری نیا، زهرا؛ توکلی مقدم، رضا و قلی پور کنعانی، یوسف (۱۳۹۲). استفاده از روش تجزیه بندرز به حل مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین چندمحصولی دوسطحی با تقاضای تصادفی. *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*. سال اول، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۲، صص ۱۵۵-۱۶۵.
- امیرخان، محمد؛ نورنگ، احام و توکلی مقدم، رضا (۱۳۹۴). یک رویکرد برنامه‌ریزی تعاملی فازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چندسطحی، چندکالایی و چند دوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن هزینه و زمان. *مدیریت تولید و عملیات*، دوره ششم، شماره (۱)، پیاپی (۱۰)، بهار و تابستان ۱۳۹۴.
- بهنامیان، جواد و بشر، محمدمهدی. (۱۳۹۶). مدل‌سازی چندمرحله‌ای مسئله زنجیره تأمین سه سطحی غیرهمکارانه با در نظر گرفتن تخفیف در شرایط عدم قطعیت. *پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری*. دوره ۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶.
- روی بیلیتون، رونالد آلن (۱۳۹۰). *ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی؛ مفاهیم و روش‌ها*؛ مترجم محسن رضائیان. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر.
- صادقیان، رامین و طالبی لنگرودی، گلناز (۱۳۹۶). ارائه یک مدل موجودی در زنجیره تأمین سه‌سطحی با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی. *مهندسی صنایع و مدیریت*، دوره ۳۳، شماره ۱، ۲، بهار و تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۰۱-۱۱۲.
- مظاهری، علی؛ کرباسیان، مهدی؛ سجادی، سیدمجتبی، شیرویه زاد، هادی و عابدی، سعید (۱۳۹۳). ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی زنجیره تأمین یکپارچه با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه. *مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، شماره ۲، جلد ۲۵، شهریورماه ۱۳۹۳. صص ۱۸۶-۲۰۴.



## References

- Aguirre, Adrián M., Liu, Songsong, Papageorgiou, Lazaros G., (2018). Optimisation Approaches for Supply Chain Planning and Scheduling under Demand Uncertainty. *Chemical Engineering Research and Design*, 138: 341-357
- Aliev, R. A., Fazlollahi, B., Guirimov, B. G. Aliev, R. R. (2007). "Fuzzy-genetic approach to aggregate production-distribution planning in supply chain management". *Informaton Sciences*, 177, 4241-4255.
- Aqlan, F., & Lam, S. S. (2016). Supply chain optimization under risk and uncertainty: A case study for high-end server man-ufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 78-87.
- Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and Methods. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281-294.
- Bilge, B. (2010). Application of fuzzy mathematical programming approach to the production allocation and distribution supply chain network problem. *Expert Systems with Applications*, 37(6):4488-4495.
- Billala M. M., & Hossaina M. M. (2020). Multi-objective Optimization for Multi-product Multi-period Four Echelon Supply Chain Problems under Uncertainty. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 13(1), 1-17.
- Burkovskis, R. (2008). Efficiency of freight forwarder's participation in the process of transportation, *Transport*, 23(3): 208-213.
- Chen, S.P., Chang, P.C. (2006). "A mathematical programming approach to supply chain models with fuzzy parameters". *Engineering Optimization*, 38, 647-669.
- Coskun, S., Ozgur, L., Polat, O. and Gungor, A., (2015). A model proposal for green supply chain network design based on consumer segmentation. *Journal of Cleaner Production*. 38(2), 136-146.
- Ehm J, Scholz-Reiter B, Makuschewitz T, Frazzon E M. (2015). Graph-Based Integrated Production and Intermodal Transport Scheduling with Capacity Restrictions. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 23-30.
- Felfel, H., Ayadi, O., & Masmoudi, F. (2016). Multi-objective stochastic multi-site supply chain planning under demand un-certainty considering downside risk. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 268-279.
- Gibson, B.J., Mentzer, J.T. and Cook, R.L. (2005). Supply chain management: the pursuit of a consensus definition. *Journal of Business Logistics*, Vol. 26 No. 2, pp. 17-25
- Hugos M., (2006), "essential of supply chain management", second edition, published by *John Wiley & Sons Inc.*

- Liang, T. F. Chen, H. W. (2008). Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decision with multi-product and multi-time period in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 36, 3367-3377.
- Liang, T. F. Chen, H. W. (2013). Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decision with multi-product and multi-time period in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 36, 3367-3377.
- Lukinskiy, V.S., Lukinskiy, V.V., Churilov, R. (2007). Problem of the Supply Chain Reliability Evaluation. *Transport and Telecommunication*. 15(2):120-129.
- Lukinskiy, V.S., Lukinskiy, V.V., Churilov, R. (2014). "Problem of the Supply Chain Reliability Evaluation". *Transport and Telecommunication*. Vol.15. no.2:120-129.
- Miao, X., Yu, B., Xi, B. (2009). "The Uncertainty Evaluation Method Of Supply Chain Reliability". *Transport*. 24(4):296-300.
- Mirotin, L.B., Sergeev, V.I. (2002). *Principles of Logistics*. M.: INFRA-M.
- Mohammadi Bidhandi, H., & Yusuff R.M. (2011). Integrated Supply Chain Planning under Uncertainty using an Improved Stochastic Approach. *Applied Mathematical Modelling*, 35(6):2618–2630
- Ozkan, O. & Kilic, S. (2019). A Monte Carlo Simulation for Reliability Estimation of Logistics and Supply Chain Networks. *IFAC Papers On Line*, 52-13,2080–2085.
- Pasandideh, S, H, R., Akhavan Niaki, S, T., Asadi, K. (2015) "Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability". *Expert Systems with Applications*, 42:2615-2623.
- peidro, D., Mulla, J., Poler, R., Verdegay, J, L. (2009). Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand, and process uncertainties. *fuzzy sets and systems*, 160, 2640-2657.
- Quigley, J.; Walls, L. 2007. Trading reliability targets within a supply chain using Shapley's value, *Reliability Engineering & System Safety* 92(10): 1448–1457.
- Salema, M., Barbosa-Povoa, A.P., Noavais, A. (2009). "A strategic and tactical model for closed-loop supply chains. *OR Spectrum*, 31, 573-599.
- Svoronos, A., Zipkin. P. (1995). "Evaluation of One-for-One Replenishment Policies for Multiechlon Inventory Systems. *Management Science*, 37(1), 68-83.
- Terzi, S., & Cavalieri, S. (2004). Simulation in the Supply Chain Context: A Survey. *Computers in Industry*, 53(1):3-16.

- Thomas, A., & Charpentier, P. (2005). Reducing simulation models for scheduling manufacturing facilities", *European Journal of Operation Research*, 161, pp. 111-125.
- Van Nieuwenhuysse, I., & Vandaele, N. (2006) The impact of delivery lot splitting on delivery reliability in a two-stage supply chain. *International Journal of Production Economics*, 104(2):694-708
- Wolfgang, K., Thorsten, B. (2006). "Managing Risks in Supply Chains. How to Build Reliable Collaboration in Logistics". *Berlin: Erich Schmidt Verlag*.
- Zaitzev, E.I., Bochazev, A.A. (2010). Optimizing supply-planning in multi-level network structures in the light of reliability. *Logistics and Supply Chain Management*, 2 (37).
- Zaitzev, E.I., Uvarov, S.A. (2012). Using indicators of Perfect Order Fulfillment in the distribution logistics. *Logistics and Supply Chain Management*, 4(51).
- Zhang, M., Chen, J., & Chang Sh-H. (2020). An adaptive simulation analysis of reliability model for the system of supply chain based on partial differential equations. *Alexandria Engineering Journal*. Article in press.
- Pathak, C., Mukherjee, S., and Kumar Ghosh, S. (2020). A Three Echelon Supply Chain Model with Stochastic Demand Dependent on Price, Quality and Energy Reduction. *Journal of Industrial and Management Optimization*.1-17.
- Chen, S., Wang, W., & Zio, E. (2021). A Simulation-Based Multi-Objective Optimization Framework for the Production Planning in Energy Supply Chains. *Energies*, 14,2684.
- Arman Sajedinejad, Erfan Hassannayebi, Mohammad Saviz Asadi Lari. (2020). Simulation based optimization of multi-product supply chain under a JIT system. *Journal of Industrial Engineering and Management Studies*. 7(1), pp. 87-106.
- Nayeri S., Torabi S. A., Tavakoli, M., & Sazvar Z. (2021). A multi-objective fuzzy robust stochastic model for designing a sustainable-resilient-responsive supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 311,127691.
- Ibrahim Alharkan, Mustafa Saleh, Mageed Ghaleb, Abdulsalam Farhan and Ahmed Badwelan (2020). Simulation-Based Optimization of a Two-Echelon Continuous Review Inventory Model with Lot Size-Dependent Lead Time. *Processes*, 8, 1014.
- Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., Gholami-Zanjani, S.M., 2020. An integrated hybrid approach for circular supplier selection and closed loop supply chain network design under uncertainty. *J. Clean. Prod.* 242, 118317.

- Jouzani, J., Govindan, K., (2020). On the sustainable perishable food supply chain network design: a dairy products case to achieve sustainable development goals. *J. Clean. Prod.* 278, 123060.
- Hosseini-Motlagh, S.-M., Samani, M.R.G., Saadi, F.A., 2020. A novel hybrid approach for synchronized development of sustainability and resiliency in the wheat network. *Comput. Electron. Agric.* 168, 105095.
- Vafaei, A., Yaghoubi, S., Tajik, J., Barzinpour, F., 2020. Designing a sustainable multi-channel supply chain distribution network: a case study. *J. Clean. Prod.* 251, 119628

#### References [In Persian]

- Ekhtiari, M. (2010). Three-echelon Supply Chain Management under Uncertainty Using Multi-Objective Fuzzy Programming. *Industrial Management Studies*, 8(18), 123-160. [In Persian]
- Schedler, Hartmut and Kielger, Christoph (2005). *Supply Chain Management*. translated by Nasrin Asgari and Reza Farahani, Amirkabir University of Technology Publications, first edition. [In Persian]
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Afsharinia, Z., Gholipour-Kanani, Y. (2013). Use of a Benders decomposition method for solving a two-echelon multi-commodity supply chain network design problem with stochastic demands. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, 1(2), 155-165. [In Persian]
- Amirkhan, M., Norang, A., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015). An Interactive Fuzzy Programming Approach for Designing a Multi-Echelon, Multi-Product, Multi-Period Supply Chain Network Under Uncertainty Considering Cost and Time. *Journal of Production and Operations Management*, 6(1), 127-148. [In Persian]
- Behnamian, J., Bashar, M. (2017). Multi-stage modeling for non-cooperative multi-echelon supply chain management problem with discount under uncertainty. *Modern Research in Decision Making*, 2(3), 49-75. [In Persian]
- Roy Billinton, Ronald Allen (1390). *Reliability assessment of engineering systems; Concepts and methods*. Translated by Mohsen Rezaian. Tehran: Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Publishing Center. [In Persian]
- Sadeghian, R., Talebi Langaroudi, G. (2017). An inventory model for a three-stage supply chain under stochastic demand. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, 33.1(1.2), 101-112. [In Persian]

Azimi P., Esmati A., & Farajpournazari, M. (2013). Optimization through simulation with comprehensive ED simulation software training. Islamic Azad University of Qazvin. [In Persian]

**استناد به این مقاله:** صالحی مقدم، شیما، تقوی فرد، محمدتقی، عباس پور اسفدن، قنبر، علیرضایی، ابوتراب. (۱۴۰۱). توسعه مدل چندهدفه زنجیره تأمین با تقاضای تصادفی: رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی و تدوین سناریو، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۰(۶۶)، ۱۹۷-۲۴۹.

DOI: 10.22054/jims.2022.60801.2654



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

