Journal of Industrial Management Studies
Vol. 20, No.66, Fall 2022; p 197-249
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2022.60801.2654

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 2022/10/03
Received: 2021/ 05/08
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

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.

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی

سال بیستم، شماره ٦٦، پاییز ١٤٠١، ص ١٩٧ تا ٢٤٩

jims.atu.ac.ir

DOI: 10.22054/jims.2022.60801.2654

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

شیما صالحی مقدم * دانشجوی دکتری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران.

محمدتقی تقوی فرد استاد، عضو هیئت‌علمی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران.

قنبر عباس‌پور اسفدن استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران.

ابوتراب علیرضایی استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران.

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 ازجمله 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 بیشینه‌کردن 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 تقاضا تصادفی است و از یک تابع توزیع احتمالی پیروی می‌کند. بنابراین از تکنیک شبیه‌سازی برای برآورد هزینه‌ها شامل هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه فروش ازدست‌رفته 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

* نویسنده مسئول: shsalehsh9@gmail.com

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[1] (SCM) که برنامه‌ریزی تولید برای کل زنجیره تأمین را از تأمین‌کننده مواد اولیه تا مشتری نهایی پوشش می‌دهد، موردتوجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. مدیریت زنجیره تأمین ازنظر 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[2]، ۲۰۱۵). وظیفه مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان این‌گونه برشمرد: «بیشینه کردن ارزش‌افزوده 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[3]، 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). بااین‌حال پیچیدگی‌های موجود در روابط متقابل اجزای مختلف همراه با عدم قطعیت[4] در سراسر زنجیره، تصمیم‌گیری زنجیره‌تأمین را دچار چالش کرده است (پسندیده و همکاران[5]، ۲۰۱۵). به‌طوری‌که می‌توان گفت زنجیره‌های‌تأمین سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که عوامل (زیرسیستم‌های) آن دارای تعامل با یکدیگر است و بدین طریق ویژگی‌های جدیدی به دست می‌آورند (لوکینسکی و همکاران[6]، 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 موردتوجه قرار می‌گیرد (تیموری و حافظ الکتب، 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[1]، ۲۰۱۳). ماهیت پویا و پیچیده زنجیره‌تأمین درجه بالایی از عدم قطعیت را در تصمیم‌های برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین تحمیل می‌کند و تأثیر معناداری بر عملکرد کلی شبکه زنجیره‌تأمین می‌گذارد (کلیبی و همکاران[2]، ۲۰۱۰). هنگامی‌که 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 تجزیه‌وتحلیل 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 ازجمله الگوریتم‌های فراابتکاری، شبکه عصبی مصنوعی، روش سطح پاسخ و سایر روش‌ها ترکیب‌شده 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 ازجمله انواع مختلفی از زنجیره‌های تأمین تبدیل شده است.

با توجه به موارد ذکرشده مسئله موردبررسی شامل موارد زیر است:

شبکه زنجیره‌تأمین موردبررسی 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 ازآنجا 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 ازدست‌رفته 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، کمینه کردن 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. پس‌ازآن 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. پس‌ازآن، 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[1] در سال ۱۹۸۲ بکار رفت (اشتدلر و کیلگر,۲۰۰۵). سپس بطورگسترده در دهه ۱۹۹۰ استفاده شد. قبل از آن واژه لجستیک و مدیریت عملیات بجای این واژه استفاده می‌شد (هوگوس[2]،۲۰۰۶).

انجمن حرفه‌ای مدیریت زنجیره تأمین[3]، مدیریت زنجیره تأمین را به‌صورت 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[4].

قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از احتمال عملکرد رضایت‌بخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت‌زمان 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 مهندسین و متخصصین قادر به تأمین اطلاعات مربوط به عملکرد رضایت‌بخش می‌باشند و زمان ممکن است به‌صورت ممتد و یا منقطع مطرح باشد و نهایتاً شرایط کار ممکن است کاملاً یکنواخت و یا به‌شدت در تغییر باشد (آلن و بیلینتون، مترجم رضاییان،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 قابل‌توجهی بر کمال (تمامیت)[1] و کیفیت محصولات و هزینه‌های لجستیکی در زنجیره تأمین دارد (لوکینسکی و همکاران[2]، ۲۰۱۴). یک زنجیره‌تأمین برای دستیابی به اثربخشی و کارایی نیازمند قابلیت اطمینان بالاست (بورکوفزکیس[3]، 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 زنجیره‌تأمین دانشگاهی اشاره شده است (ژین میائو و همکاران[4]، ۲۰۰۹). تحلیل مقالات مرتبط نشان می‌دهد که در بیشتر موضوعات مرتبط با قابلیت اطمینان زنجیره‌تأمین، نظرات متفاوتی وجود دارد (لوکینسکی و همکاران، ۲۰۱۴). توماس (۲۰۰۲) اولین کسی بود که به‌صراحت مفهوم الزامات زنجیره تأمین[5] 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 سرویس‌دهی (نویونهویزه و واندایل[6]، ۲۰۰۶)، یا شکست بالقوه (کوییگلی و والز[7]، ۲۰۰۷)، مطرح کرده‌اند. به‌طورکلی، یک زنجیره تأمین در صورتی قابل‌اطمینان 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 (ترزی و کاوالیری[8]، ۲۰۰۴). مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان در

1. Completeness
2. Lukinskiy et al.
3. Burkovskis
4. Xin Miao
5. Supply Chain Requirements (SCR)
6. Nieuwenhuyse 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 موردمطالعه 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.، به‌عنوان‌مثال، خریدوفروش 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[1]، ۲۰۰۵).

در سال‌های اخیر ادبیات زنجیره‌تأمین در حال رشد است و روش‌های جدید تحقیق در ساختار زنجیره‌تأمین در حال ظهور است (سالما و همکاران[2]، 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[3]، ۲۰۰۹). در ادامه به بررسی مطالعاتی که در حوزه موضوع موردبررسی صورت گرفته‌اند پرداخته می‌شود.

اسورونوز و زیپکین[4] (۱۹۹۵) سیستم‌های زنجیره‌تأمین را ازنظر 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[1] (۱۹۹۸)، تحقیقی را بر روی طراحی و تحلیل زنجیره‌تأمین انجام داد. این تحقیق بر اساس مدل‌سازی زنجیره‌تأمین چندمرحله‌ای استوار بود و به چهار مدل تقسیم می‌گردید: مدل‌های قطعی[2]، مدل‌های احتمالی[3]، مدل‌های اقتصادی[4] و مدل‌های شبیه‌سازی[5]. چن و چانگ[6] (۲۰۰۶) یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی با پارامترهای فازی برای زنجیره‌تأمین 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[7] (۲۰۰۸)، یک مدل چند هدفه فازی را برای مسئله تولید- توزیع ارائه کردند؛ به‌طوری‌که مدل او به‌طور هم‌زمان هزینه‌های تولید – توزیع، مجموع محصولات برگشتی و مجموع زمان‌های ارسال را حداقل می‌کند. الیف و همکاران[8] (۲۰۰۷)، در مقاله‌ای به بررسی مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه چند دوره‌ای، چند محصولی تولید- توزیع در زنجیره‌تأمین، به‌طوری‌که 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[9] (۲۰۱۰)، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه برنامه‌ریزی تولید- توزیع، در یک زنجیره‌تأمین چند سطحی با چند خط تولید، چند کارخانه، چند مرکز توزیع مطرح کرد. مدل او به‌طور هم‌زمان تخصیص محصولات به خطوط تولید، مقدار محصول حمل شده و تعداد وسایل نقلیه در مسیرهای از پیش تعریف‌شده 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 به‌صورت کامل و در مدل دوم اطلاعات به‌صورت ناقص در اختیار خریدار قرار گرفته شده است. پسندیده و همکاران (۲۰۱۵)، یک مسئله بهینه‌سازی شبکه زنجیره‌تأمین 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 ارائه‌شده به مشتریان بود. فلفل و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود، یک رویکرد برنامه‌ریزی خطی تصادفی دو مرحله‌ای را برای یک مسئله برنامه‌ریزی زنجیره تأمین چندمرحله‌ای، 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 ارائهٔ یک مدل موجودی در زنجیرهٔ تأمین سه‌سطحی 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 تجزیه‌وتحلیل 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 موردبررسی قرار دادند. گووینداندان 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 مورداستفاده در پژوهش این محققین سه هدفه بوده و در آن حالت‌های مختلف حمل‌ونقل محصولات موردبررسی 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 موردبررسی 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) به‌منظور دستیابی به جواب‌های پارتو مورداستفاده قرارگرفته 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 موردبررسی قرار دادند. الهرکان و همکاران (۲۰۲۱) بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای زنجیره تأمین دو سطحی را در پژوهش خود موردبررسی قرار دادند. این محققین سیستم‌های مختلف موجودی برای برآورده ساختن تقاضای مشتری را از طریق مدل و روش ارائه‌شده موردبررسی قرار دادند. جوزدانی و گوویندان (۲۰۲۱) طراحی شبکه زنجیره تأمین غذاهای فاسدشدنی را موردبررسی قرار دادند.

با توجه به مطالعه پیشینه تحقیق، هرکدام از تحقیقات انجام‌گرفته مفروضات خاصی را در نظر گرفته‌اند. برخی از تحقیقات ازجمله (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 به‌صورت قطعی در نظر گرفته شده‌اند. برخی دیگر از تحقیقات ازجمله (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 زنجیره‌تأمین را مدنظر قرار داده‌اند. در تحقیقات دیگر ازجمله (ناگورونی، ۲۰۱۰؛ کاستا و همکاران، ۲۰۱۰؛ میولا و همکارانف ۲۰۱۰؛ شی و همکاران، ۲۰۱۲؛ تسائو و لو، ۲۰۱۲)، مدل تحقیق، تک هدفه، تک‌محصولی 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 زنجیره‌تأمین به‌حساب 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 به‌جای در نظر گرفتن عامل هزینه در طراحی شبکه

زنجیره‌تأمین، معیارهای زمان و قابلیت اطمینان نیز موردتوجه قرار می‌گیرد (مدل چند هدفه). همچنین در این تحقیق زنجیره‌تأمین 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 موردبررسی 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 ازلحاظ زمانی یک تحقیق مقطعی است چراکه بر اساس داده‌های گردآوری شده در مقطعی از زمان به تحلیل سیستم موردبررسی پرداخته خواهد شد. ازآنجاکه هدف این تحقیق ارائه و حل مدل جهت طراحی (بهینه) شبکه زنجیره‌تأمین 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 ارائه‌شده، مثال نمونه‌ای در شرایط کنترل‌شده 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 چاپ‌شده در ژورنال‌های بین‌المللی، کتاب‌ها و رساله‌های موجود در این خصوص استفاده شده است. جهت تجزیه‌وتحلیل 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[1] استفاده شده است.

روش‌های متعددی در برخورد با عدم قطعیت وجود دارد: ۱) برنامه‌ریزی تصادفی[2] که در آن متغیرهای تصادفی بر اساس توزیع‌های شناخته‌شده بیان می‌شوند، ۲) برنامه‌ریزی

1. Enterprise Dynamic
2. Stochastic Programming

فازی[1] که متغیرها به‌صورت فازی بیان می‌شوند و ۳) بهینه‌سازی پایدار[2] که عدم قطعیت بر اساس مجموعه‌ای از سناریوها بیان می‌شود (ساهینیدیس[3]، ۲۰۰۴).

در این تحقیق به‌منظور برخورد با عدم قطعیت (پارامتر تقاضا به‌صورت 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 به‌صورت تصادفی و پیروی آن از تابع توزیع گاما، در این تحقیق به‌منظور 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 به‌صورت 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 به‌صورت 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 شبیه‌سازی‌شده و به‌منظور برآورد رابطه ریاضی تابع هدف هزینه، با به‌کارگیری طراحی آزمایش‌ها، آزمایش‌های مختلفی را بر اساس مقادیر مختلف برای مقدار تقاضای مشتریان (که به‌صورت 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 l ام به ناحیه a ام در دوره t ام، میزان ارسال محصول p ام از توزیع‌کننده k ام به خرده‌فروش l ام در دوره t ام، میزان ارسال محصول p ام از تولیدکننده j 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 j ام در دوره t ام، موجودی محصول p ام در انبار تولیدکننده

1. Fuzzy Programming
2. Robust Optimization
3. Sahinidis

j ام در دوره t ام، موجودی محصول p ام در توزیع‌کننده k ام در دورهt ام، موجودی محصول p ام در خرده‌فروش l ام در دوره t ام و مقدار کمبود محصول p ام در ناحیه a ام در دوره t ام، هستند.

بر اساس آزمایش‌های طراحی‌شده، مدل شبیه‌سازی‌شده اجراشده و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مقدار تابع هدف هزینه‌های کلی سیستم مشخص می‌شود. با انجام تمامی آزمایش‌های طراحی‌شده و مشخص نمودن مقدار تابع هدف هزینه‌ها برای تمامی آزمایش‌ها، در ادامه از رویکرد رگرسیون به‌منظور 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 شناخته‌شده 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 گاندیبلوکس، ۲۰۰۲). اگر فرم کلی مسئله چندهدفه به‌صورت رابطه ۳۸ فرض شود:

$$\max(f_1(x), f_2(x), \ldots, f_p(x)) \quad s.t: x \varepsilon S \qquad \text{(رابطه ۳۸)}$$

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

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

به‌طورکلی گام‌های روش اپسیلون محدودیت به‌صورت زیر است (توکلی مقدم و همکاران، ۱۳۹۰):

گام ۱- یکی از توابع هدف را به‌عنوان 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 مشخص‌شده تقسیم کنید و یک جدول برای $\varepsilon_2,\ldots,\varepsilon_P$ به دست آورید.

گام ۴- هر بار مسئله را با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر $\varepsilon_2,\ldots,\varepsilon_P$ حل کنید.

گام ۵- جواب‌های پارتو یافت شده را گزارش کنید.

بسترهای نرم‌افزاری پیاده‌سازی و اجرا

مدل ارائه‌شده در این تحقیق توسط نرم‌افزار لینگو نسخه ۱۴ پیاده‌سازی شده است. کد مربوط به مدل توسعه داده‌شده در نرم‌افزار لینگو بر روی یک کامپیوتر شخصی با پردازشگر اینتل ۷ هسته‌ای و RAM ۴ گیگابایتی در محیط سیستم‌عامل 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 قابل‌حل باشد ثانیاً باید ازنظر 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 زنجیره‌تأمین شامل I تأمین‌کننده است که مواد اولیه را برای کارخانه‌ها فراهم می‌کنند. 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 ازآنجا به خرده‌فروش‌ها ارسال می‌شود. بنابراین آخرین سطح زنجیره‌تأمین 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 به‌نحوی‌که با تقاضای خرده‌فروشان، انبارهای مراکز تولیدی به میزان سفارش پرشده 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 مورداستفاده در شبیه‌سازی

اتم انبار[1]: این اتم درواقع 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[1]: 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.

1 warehouse

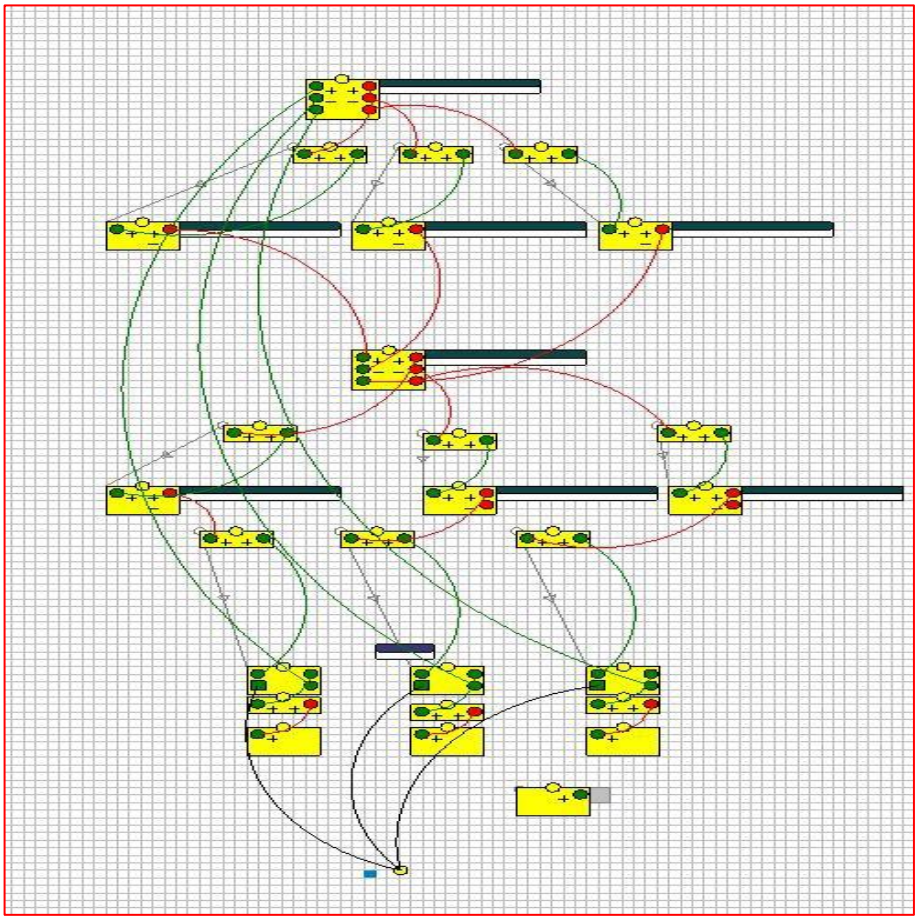
اتم کانبان[۲]: اتم کانبان درواقع به‌نوعی نقش کششی کردن سیستم را بر عهده دارد در این اتم وقتی موجودی کالای خرده‌فروش به حد سفارش مجدد می‌رسد سفارش برای تولید و ارسال کالا به انبار مرکزی کارخانه داده می‌شود سپس با توجه به مقدار سفارش مجدد سیستم موجودی خرده‌فروش را رفرش خواهد کرد:

اتم خدمت دهنده[۳]: در اتم خدمت دهنده ما به تعریف نرخ مصرف کالا توسط مشتریان می‌پردازیم.

اتم خروج از مدل شبیه‌سازی[۴]: اتم خروجی در نرم‌افزار شبیه‌سازی نشان‌دهنده خارج شدن کالا از چرخه زنجیره تأمین می‌باشد و اتم‌های محصولات در نهایت به این اتم وارد خواهند شد.

---

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



شکل ۱. نمای کلی از مدل شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار شبیه‌سازی

مدل‌سازی ریاضی مسئله تحقیق

بعد از تشکیل مدل شبیه‌سازی مربوط به مسئله موردبررسی، در مرحله بعد باید مدل‌سازی ریاضی مسئله تحقیق انجام شود. شبکه زنجیره‌تأمین موردبررسی 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 ازآنجا 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 به‌صورت قطعی در نظر گرفته می‌شود. هزینه و زمان ارسال مواد اولیه و محصولات از هر مرحله‌به‌مرحله 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 به‌طوری‌که ضمن رعایت محدودیت‌های مدل، اهداف چندگانه مسئله که شامل کمینه‌کردن هزینه، کمینه کردن زمان تحویل، بیشینه کردن قابلیت اطمینان مسیرهای ارسال و بیشینه کردن قابلیت اطمینان کل سیستم می‌باشد، برآورده شود.

ساختار شبکه زنجیره‌تأمین از ۴ سطح تشکیل شده است که به‌صورت یک سیستم فشاری[1] در محیط ساخت برای انبار[2] عمل می‌کند. نخستین مرحله زنجیره‌تأمین شامل I تأمین‌کننده است که مواد اولیه را برای کارخانه‌ها فراهم می‌کنند. 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 ازآنجا به خرده‌فروش‌ها ارسال می‌شود. بنابراین آخرین سطح زنجیره‌تأمین 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. به‌منظور مدل‌سازی مسئله موردبررسی، حداقل‌سازی هزینه تولید محصولات، حداقل‌سازی زمان، حداکثرسازی قابلیت اطمینان مسیرهای ارسال محصولات و حداکثر سازی حداکثرسازی قابلیت اطمینان کل زنجیره‌تأمین 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. به‌عبارت‌دیگر 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 زنجیره‌تأمین الگوبرداری می‌کنیم. به همین منظور برای مسیرهای موجود بین مراحل مختلف زنجیره‌تأمین 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 ازکارافتادگی 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. به‌عبارت‌دیگر 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 پایین‌دست خود بیشتر باشد از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار خواهند بود. در ادامه سایر مفروضات این مسئله بیان می‌شود:

مفروضات مدل موردبررسی شامل موارد زیر است:

- مدل زنجیره‌تأمین موردبررسی چهار سطحی است (تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده، خرده‌فروش).
- مکان ثابت مشتریان به چند ناحیه مختلف تقسیم شده است.
- تقاضای مشتریان از طریق خرده‌فروش‌ها تأمین می‌گردد.
- مدل چند دوره‌ای است.
- مدل چند محصولی است.
- کمبود مجاز است به‌عبارت‌دیگر امکان اینکه بخشی از تقاضای مشتریان برآورده نشود، وجود دارد.
- امکان نگهداری موجودی برای تولیدکننده وجود دارد.
- امکان نگهداری موجودی برای توزیع‌کننده وجود دارد.
- امکان نگهداری موجودی برای خرده‌فروش وجود دارد.
- موجودی اول دوره برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.
- همه تسهیلات بالقوه‌اند.
- هر تولیدکننده امکان تولید انواع محصولات را دارد.
- هر تأمین‌کننده 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 تأمین‌کنندگان 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 مورداستفاده در مدل ریاضی به شرح زیر می‌باشند.

I =مجموعه تمام تأمین‌کنندگان — A =مجموعه تمام مناطق مشتریان

i = اندیس برای تأمین‌کنندگان — a = اندیس برای منطقه مشتریان

J = مجموعه تمام تولیدکنندگان — M = مجموعه تمام مواد خام

j = اندیس برای تولیدکنندگان — m = اندیس برای مواد خام

K = مجموعه تمام توزیع‌کنندگان — P = مجموعه تمام محصولات

k = اندیس برای توزیع‌کنندگان — p = اندیس برای محصولات

L = مجموعه تمام خرده‌فروشان — T = مجموعه تمام دوره‌ها

l = اندیس برای خرده‌فروشان — t = اندیس برای دوره‌ها

پارامترهای مورداستفاده در تحقیق به شرح زیر هستند.

$\mathrm{Cap1_{imt}}$ = ظرفیت تأمین‌کننده i ام از ماده خام m ام در دوره t ام

$\mathrm{Cap_{jt}}$ = ظرفیت انبار تولیدکننده j ام در دوره t ام

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

$cap3_{kt}$ =ظرفیت توزیع‌کننده k ام در دوره t ام

$cap4_{lt}$ = ظرفیت خرده‌فروش l ام در دوره t ام

$C1_{ijmpt}$ =هزینه تأمین و ارسال مواد خام m ام برای تولید محصول p ام از تأمین‌کننده i ام به تولیدکننده j ام در دوره t ام

$C2_{jkpt}$ = هزینه تولید و ارسال محصول p ام از تولیدکننده j ام به توزیع‌کننده k ام در دوره t ام

$C3_{klpt}$ =هزینه ارسال محصول p ام از توزیع‌کننده k ام به خرده‌فروش l ام در دوره t ام

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

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

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

$in\ cost3_{lpt}$ =هزینه نگهداری محصول p ام توسط خرده‌فروش 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 موردنیاز برای تولید محصول p ام از تأمین‌کننده i ام به تولیدکننده j ام در دوره t ام

$d2_{jkpt}$ =زمان تولید و ارسال محصول p ام از تولیدکننده j ام به توزیع‌کننده k ام در دوره t ام

$d3_{klpt}$ =زمان ارسال محصول p ام از توزیع‌کننده k ام به خرده‌فروش l ام در دوره t ام

$d4_{lapt}$ =زمان ارسال محصول p ام از خرده‌فروش 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 تأمین‌کننده i ام به تولیدکننده j ام در دوره t ام

ry_{jkpt} = قابلیت اطمینان مسیر ارسال محصول p ام از تولیدکننده j ام به توزیع‌کننده k ام در دوره t ام

rz_{klpt} = قابلیت اطمینان مسیر ارسال محصول p ام از توزیع‌کننده k ام به خرده‌فروش l ام در دوره t ام

rw_{lapt} = قابلیت اطمینان مسیر ارسال محصول p ام از خرده‌فروش l ام به ناحیه a ام در دوره t ام

rs_i = قابلیت اطمینان تأمین‌کننده i ام

rm_j =قابلیت اطمینان تولیدکننده j ام

rw_k =قابلیت اطمینان توزیع‌کننده k ام

rr_l =قابلیت اطمینان خرده‌فروش l ام

α_{mp} = میزان مصرف ماده خام m ام برای تولید محصول pام

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

متغیرهای تصمیم به شرح زیر هستند.

x_{ijmpt} =میزان ارسال ماده خام m ام برای تولید محصول p ام از تأمین‌کننده i ام به تولیدکننده jام در دوره t/م

y_{jkpt} = میزان ارسال محصول p ام از تولیدکننده jام به توزیع‌کننده k ام در دوره t/م

z_{klpt} =میزان ارسال محصول p ام از توزیع‌کننده k ام به خرده‌فروش l ام در دوره t/م

w_{lapt} =میزان ارسال محصول p ام از خرده‌فروش l ام به ناحیه a ام در دوره t ام

$in1_{jpt}$ = موجودی محصول p ام در انبار تولیدکننده jام در دوره t/م

$in2_{kpt}$ =موجودی محصول p ام در توزیع‌کننده k ام در دوره t/م

$in3_{lpt}$ = موجودی محصول p ام در خرده‌فروش l ام در دوره t/م

sh_{apt} = مقدار کمبود محصول p ام در ناحیه a ام در دوره t/م

R_r =قابلیت اطمینان کل مسیرهای زنجیره‌تأمین

R_s =قابلیت اطمینان کل سیستم (زنجیره‌تأمین)

متغیرهای صفر و یک برای کنترل کردن تعداد تسهیلات در هر مرحله (زیرسیستم) در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین به کار می‌روند. چنانچه این متغیرها مقدار یک اختیار کنند به‌منزله این است که آن تسهیل باید در طراحی شبکه وجود داشته باشد و درصورتی‌که مقدار صفر به خود گیرد به‌منزله آن است که تسهیل موردنظر نباید در طراحی شبکه وجود داشته باشد. به‌طور 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 تأمین‌کننده i ام به تولیدکننده j ام ارسال گردد، به‌عبارت‌دیگر باید تأمین‌کننده i ام در طراحی شبکه در دوره t ام قرار گیرد.

ux_{ijmpt} = متغیر صفر و یک

uy_{jkpt} = متغیر صفر و یک

uz_{klpt} = متغیر صفر و یک

uw_{lapt} =متغیر صفر و یک

vx_i = متغیر صفر و یک

vy_j = متغیر صفر و یک

vz_k = متغیر صفر و یک

vw_l = متغیر صفر و یک

بر اساس موارد پیش‌گفته می‌توان فرم کلی مدل تحقیق را به‌صورت زیر نشان داد:

$$
\begin{aligned}
&Min\ Z_1 = \\
&\sum_i \sum_j \sum_m \sum_p \sum_t C1_{ijmpt} . x_{ijmpt} + \\
&\sum_j \sum_k \sum_p \sum_t C2_{jkpt} . y_{jkpt} + \sum_k \sum_l \sum_p \sum_t C3_{klpt} . z_{klpt} + \\
&\sum_l \sum_a \sum_p \sum_t C4_{lapt} . w_{lapt} + \\
&\sum_j \sum_p \sum_t in\ cost1_{jpt} . in1_{jpt} + \sum_k \sum_p \sum_t in\ cost2_{kpt} . in2_{kpt} + \\
&\sum_l \sum_p \sum_t in\ cost3_{lpt} . in3_{lpt} + \sum_a \sum_p \sum_t sh\ cost_{apt} . sh_{apt}
\end{aligned}
\qquad \text{رابطه (۱)}
$$

$$
\min Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_m \sum_p \sum_t d1_{ijmpt}\, ux_{ijmpt} + \sum_j \sum_k \sum_p \sum_t d2_{jkpt}\, uy_{jkpt} + \sum_k \sum_l \sum_p \sum_t d3_{klpt}\, uz_{klpt} + \sum_l \sum_a \sum_p \sum_t d4_{lapt}\, uw_{lapt} \qquad \text{رابطه (۲)}
$$

$$
\max Z_3 = 1 - \prod_i \prod_a \left(1 - \left(1 - \prod_j \prod_k \prod_l \prod_m \prod_p \prod_t \left[1 - \left(ux_{ijmpt} . rx_{ijmpt} \times uy_{jkpt} . ry_{jkpt} \times uz_{klpt} . rz_{klpt} \times uw_{lapt} . rw_{lapt} \right) \right] \right) \right) \qquad \text{رابطه (۳)}
$$

$$
\max R_S = \left[1 - \prod_i \left(1 - rs_i . vx_i \right) \right] \left[1 - \prod_j \left(1 - rm_j . vy_j \right) \right] \left[1 - \prod_k \left(1 - rw_k . vz_k \right) \right] \left[1 - \prod_l \left(1 - rr_l . vw_l \right) \right] \qquad \text{رابطه (۴)}
$$

$\sum_{j}\sum_{p} x_{ijmpt} \le cap1_{imt} \;\forall i, \forall m, \forall t$	رابطه (۵)
$f_{jpt} \le \frac{\sum_{i} x_{ijmpt}}{\alpha_{mp}} \quad \forall m, \forall j, \forall p, \forall t$	رابطه (۶)
$\sum_{p} f_{jpt} + \sum_{p} in1_{jpt-1} - \sum_{p}\sum_{k} y_{jkpt} \le cap2_{jt} \;\forall j, \forall t$	رابطه (۷)
$\sum_{p}\sum_{j} y_{jkpt} + \sum_{p} in2_{kpt-1} - \sum_{p}\sum_{l} z_{klpt} \le cap3_{kt} \;\forall k, \forall t$	رابطه (۸)
$\sum_{p}\sum_{k} z_{klpt} + \sum_{p} in3_{lpt-1} - \sum_{p}\sum_{a} w_{lapt} \le cap4_{lt} \;\forall l, \forall t$	رابطه (۹)
$\sum_{l} w_{lapt} + sh_{apt} = D_{apt} \;\forall a, \forall t, \forall p$	رابطه (۱۰)
$f_{jpt} + in1_{jpt-1} = \sum_{k} y_{jkpt} + in1_{jpt} \;\forall j, \forall p, \forall t$	رابطه (۱۱)
$\sum_{j} y_{jkpt} + in2_{kpt-1} = \sum_{l} z_{klpt} + in2_{kpt} \;\forall k, \forall p, \forall t$	رابطه (۱۲)
$\sum_{k} z_{klpt} + in3_{lpt-1} = \sum_{a} w_{lapt} + in3_{lpt} \;\forall p, \forall t, \forall l$	رابطه (۱۳)
$x_{ijmpt} \le M_1 ux_{ijmpt}$	رابطه (۱۴)
$ux_{ijmpt} \le M_2 x_{ijmpt}$	رابطه (۱۵)
$y_{jkpt} \le M_1 uy_{jkpt}$	رابطه (۱۶)
$uy_{jkpt} \le M_2 y_{jkpt}$	رابطه (۱۷)
$z_{klpt} \le M_1 uz_{klpt}$	رابطه (۱۸)
$uz_{klpt} \le M_2 z_{klpt}$	رابطه (۱۹)
$w_{lapt} \le M_1 uw_{lapt}$	رابطه (۲۰)
$uw_{lapt} \le M_2 w_{lapt}$	رابطه (۲۱)
$x_{ijmpt} \ge 0 \quad \forall i, \forall j, \forall m, \forall p, \forall t$	رابطه (۲۲)
$y_{jkpt} \ge 0, \quad \text{integer} \quad \forall j, \forall k, \forall p, \forall t$	رابطه (۲۳)

$z_{klpt} \geq 0, \quad \text{integer} \quad \forall k, \forall l, \forall p, \forall t$	رابطه (۲۴)
$w_{lapt} \geq 0, \quad \text{integer} \quad \forall l, \forall a, \forall p, \forall t$	رابطه (۲۵)
$in1_{jpt} \geq 0, \quad \text{integer} \quad \forall j, \forall p, \forall t$	رابطه (۲۶)
$in2_{kpt} \geq 0, \quad \text{integer} \quad \forall k, \forall p, \forall t$	رابطه (۲۷)
$in3_{lpt} \geq 0, \quad \text{integer} \quad \forall l, \forall p, \forall t$	رابطه (۲۸)
$sh_{lpt} \geq 0, \quad \text{integer} \quad \forall l, \forall p, \forall t$	رابطه (۲۹)
$ux_{ijmpt} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall \text{j}, \forall \text{m}, \forall p, \forall t$	رابطه (۳۰)
$uy_{jkpt} \in \{0,1\} \quad \forall \text{j}, \forall k, \forall p, \forall t$	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 تمام‌شده محصول است. که شامل هزینه تأمین، تولید و ارسال محصول بین مراحل مختلف زنجیره‌تأمین، هزینه نگهداری موجودی در هر مرحله و نیز هزینه کمبود محصول در نواحی مختلف بازار می‌باشد. تابع هدف دوم به دنبال حداقل‌سازی زمان تأمین، تولید و ارسال مواد خام و محصولات بین مراحل مختلف زنجیره‌تأمین می‌باشد. در تابع هدف سوم، با توجه به اینکه مسیرهای موجود بین مراحل مختلف زنجیره‌تأمین 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 زنجیره‌تأمین در نظر گرفته‌شده است. در محدودیت (۵) میزان ارسال ماده خام m ام از تأمین‌کننده iام به سایر تولیدکنندگان در دوره t ام نباید بیشتر از ظرفیت آن تأمین‌کننده باشد. در محدودیت ۶، حداکثر امکان تولید محصول p ام از مواد خام ارسال‌شده از تأمین‌کنندگان مختلف نباید از ظرفیت تولیدی تولیدکننده jام در دوره t ام بیشتر باشد. در محدودیت (۷)، محصولاتی که تولیدکننده j ام در دوره t ام تولید می‌کند بعلاوه موجودی که از دوره قبل در انبار تولیدکننده j ام باقی مانده است، منهای محصولاتی که از تولیدکننده jام به سایر توزیع‌کنندگان ارسال می‌شود

نباید از ظرفیت انبار تولیدکننده j 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 j ام از مواد خام دریافتی از تأمین‌کنندگان تولید می‌کند، بعلاوه موجودی محصولاتی که از دوره قبل در انبار تولیدکننده j ام باقیمانده است باید برابر با میزان ارسال محصول از تولیدکننده j ام به سایر توزیع‌کننده‌ها و موجودی دوره جاری تولیدکننده j 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:

$$ux_{ijmpt} = \begin{cases} 1 \xrightarrow{if} x_{ijmpt} > 0 \\ 0 \xrightarrow{if} x_{ijmpt} = 0 \end{cases}$$ رابطه (۳۴)

$$uy_{jkpt} = \begin{cases} 1 \xrightarrow{if} y_{jkpt} > 0 \\ 0 \xrightarrow{if} y_{jkpt} = 0 \end{cases}$$ رابطه (۳۵)

$$uz_{klpt} = \begin{cases} 1 \xrightarrow{if} z_{klpt} > 0 \\ 0 \xrightarrow{if} z_{klpt} = 0 \end{cases}$$ رابطه (۳۶)

$$uw_{lapt} = \begin{cases} 1 \xrightarrow{if} w_{lapt} > 0 \\ 0 \xrightarrow{if} w_{lapt} = 0 \end{cases}$$ رابطه (۳۷)

بنابراین برای لحاظ کردن روابط ۳۴ تا ۳۷ محدودیت‌های ۱۶ تا ۲۱ به مسئله اضافه می‌شود. مقدار ارسال بین سطوح مختلف زنجیره‌تأمین 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 زنجیره‌تأمین 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 امین کننده 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

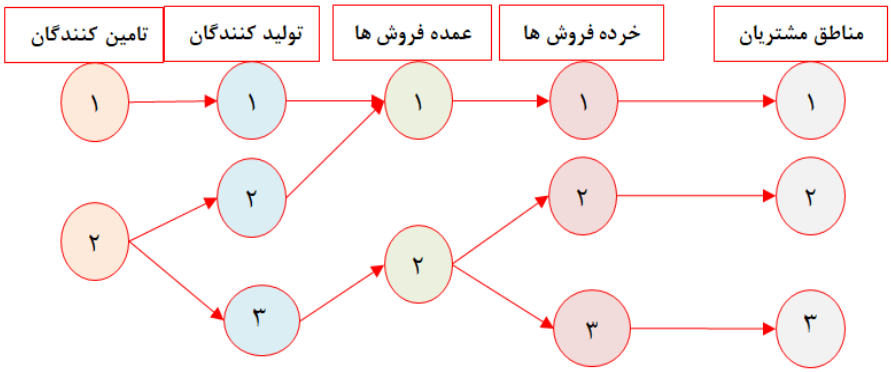
را تحویل می‌گیرد. خرده‌فروش اول جهت برآورده ساختن تقاضای مشتریان مربوط به ناحیه اول از عمده‌فروش اول و خرده‌فروش‌های دوم و سوم نیز به‌منظور برآورده ساختن تقاضای نواحی دوم و سوم از عمده‌فروش دوم محصولات را دریافت می‌کنند.

جدول ۱. مقادیر پارامترها

پارامتر	توزیع پارامتر	پارامتر	توزیع پارامتر	پارامتر	توزیع پارامتر
$C1_{ijmpt}$	$U(8,27)$	$d2_{jkpt}$	$U(3,7)$	$sh\ cost_{apt}$	$U(550,750)$
$C2_{jkpt}$	$U(30,55)$	$d3_{klpt}$	$U(3,8)$	α_{mp}	$U(2,4)$
$C3_{klpt}$	$U(6,14)$	$d4_{lapt}$	$U(1,5)$	$\mathrm{Cap1_{imt}}$	$U(1100,1250)$
$C4_{lapt}$	$U(8,18)$	D_{apt}	$Gamma(220,25)$	$\mathrm{Cap_{jt}}$	$U(400,850)$
$in\ cost1_{jpt}$	$U(4,12)$	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 منطقه مشتریان	تعداد مراکز فروش	تعداد توزیع‌کننده	تعداد تولیدکننده	تعداد تأمین‌کننده
۳	۳	۲	۳	۲



شکل ۲. زنجیره تأمین مربوط به مثال عددی موردبررسی

طراحی آزمایش‌ها به‌منظور برآورد رابطه تابع هدف هزینه

به‌منظور طراحی آزمایش‌ها برای این مسئله از طرح پلاکت–برمان استفاده می‌شود. طرح‌های پلاکت–برمان به لحاظ تعداد اجرا طرح‌های بسیار کارایی هستند.

عامل‌های شناسایی‌شده بر اساس زنجیره تأمین مربوط به مثال عددی می‌باشد. با توجه به روابطی که بین اجزای مختلف زنجیره تأمین موردبررسی 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 درنهایت متغیرهای از نوع SH نیز نشان‌دهنده میزان کمبود محصول برای هر یک از نواحی مشتریان و تقاضای آن‌ها است. بر اساس این عامل‌ها و به‌کارگیری طرح عاملی پلاکت–برمان، آزمایش‌های طراحی‌شده تعداد ۲۴ آزمایش است.

بعد از طراحی آزمایش‌ها، هرکدام از آن‌ها در مدل شبیه‌سازی پیاده‌سازی و بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده برای پارمترهای مختلف، مقدار هزینه کل محاسبه می‌شود. فرمول مربوط به رابطه فاکتورها و هزینه به‌صورت رابطه ۴۰ محاسبه شده است:

$$\begin{aligned} COST = {} & 347006 + 4706\,X11 + 845.1\,X21 + 2397\,X23 \\ & + 312.6\,Y11 + 1753\,Y21 \\ & + 1683\,Y32 + 2172\,Z11 + 1157\,Z22 + 329.5\,Z23 + 556.8\,W11 + 2048\,W22 + 1445\,W33 + 407.1\,IN11 + 6878\,IN12 + 1802\,IN13 \\ & + 2720\,IN21 + 3594\,IN22 + 3013\,IN31 + 3054\,IN32 \\ & + 3275\,IN33 + 342.5\,SH1 + 633.0\,SH2 + 1370\,SH3 \end{aligned} \qquad \text{رابطه (۴۰)}$$

رابطه به‌دست‌آمده بر اساس مقدار هر یک از متغیرهای تصمیم که به‌صورت آزمایشی طراحی‌شده بودند حاصل‌شده 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 لینگو۱ به روش محدودیت اپسیلون حل شد و جواب‌های پارتوی به‌دست‌آمده 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	٦	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
٤	366210	239	0.9451	0.6612	۹	347982	274	0.9723	0.6712
٥	360123	211	0.9687	0.6421	۱۰	337982	239	0.9412	0.6032

طراحی سناریو

به‌منظور 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 عرضه‌کنندگان 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 به‌اندازه «مناسب» باشد، یعنی نه به میزان زیاد که هزینه انبارداری فوق‌العاده‌ای را بر سازمان تحمیل

1. LINGO

نماید و فضای دیگر کالاها را اشغال نماید و نه آن‌قدر کم باشد که خط تولید متوقف شود. به‌عبارت‌دیگر، منافع ناشی از دارا بودن موجودی بیش از هزینه‌های کمبود آن باشد (وایت و سنسلایو۱، 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 ساخته‌شده اطلاق می‌شود. در سیستم‌های نوین تولید، سازمان‌ها به دنبال کاهش میزان موجودی و نگهداری آن در حداقل ممکن هستند. به‌گونه‌ای که مواد اولیه هنگام نیاز، وارد سیستم شده و کالای تکمیل‌شده 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 ریسک گریز 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 به‌منزله بالاترین مقدار کالای موجود در انبار (نرم افزار انبارداری) است اما نگهداری کالا بیش از این مقدار به‌صرفه 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 به‌اندازه سفارش دارد و فسادپذیری کالا در مدت مصرف می‌بایست در نظر گرفته شود (وایت و سنسلایو، ۲۰۱۸).

میزان حداکثر موجودی عبارت است از:

1. White1 and Censlive

(حداقل مدت تحویل (روز) * حداقل مصرف روزانه) – میزان سفارش مجدد + نقطه سفارش = حداکثرموجودی

در این سناریو، موجودی اولیه[1] برای انبارهای تولیدکننده ۵۰۰، سطح سفارش مجدد[2] ۲۵۰ و مقدار جایگزینی[3] ۳۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

با در نظر گرفتن مقادیر موردنظر برای پارمترهای موردبررسی، مجدداً با به‌کارگیری نرم‌افزار لینگو مسئله را حل می‌کنیم و جواب‌های حاصل به شرح جدول ۴ هستند.

جدول ٤. مقادیر توابع هدف مدل سناروی 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	٦	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
٤	۳۶۴۹۶۱	۲۳۲	0.9936	0.6852	۹	۳۴۵۶۲۷	۲۶۷	0.9864	0.6674
٥	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 سیاست‌های 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 می‌نمایند. در انبارهایی که بیش از پنجاه‌درصد کالاهای انبار دارای موجودی معادل حد مطلوب داشته باشند، می‌توان نتیجه گرفت که در این انبارها مدیریت و کنترل موجودی وضعیت مناسبی دارد (وایت و سنسلایو، ۲۰۱۸).

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

میزان سطح مورد اعتماد موجودی عبارت است از:

α: 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

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

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 «ذخیرهٔ اطمینان (احتیاطی) یا حداقل موجودی[1]» در ارتباط است.

1. Safty stock

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 بررسی‌شده و در صورت نیاز سیستم بازنگری موجودی اصلاح می‌شود (وایت و سنسلایو، 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 به‌کارگیری نرم‌افزار لینگو مسئله را حل می‌کنیم و جواب‌های حاصل به شرح جدول ۶ هستند.

جدول ٦. 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[1]

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 به‌صورت 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 به‌دست‌آمده برای هر حالت به‌صورت پارتو است یعنی نمی‌توان به‌طورقطع 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 به‌دست‌آمده برای هر سناریو رتبه‌بندی شوند و بر اساس بهترین جواب به‌دست‌آمده سناریوها را با یکدیگر مقایسه نماییم.

در ادامه برای هر یک از سناریوها و مثال عددی (درمجموع 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، موردبررسی و مقایسه قرار می‌دهیم.

جدول ۷. ماتریس تصمیم‌گیری مربوط به نتایج به‌دست‌آمده برای مثال عددی

معیارها (اهداف) / گزینه‌ها (جواب‌ها)	هزینه C_1	زمان C_2	قابلیت اطمینان مسیر C_3	قابلیت اطمینان کل 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) / گزینه‌ها (جواب‌ها)	هزینه C_1	زمان C_2	قابلیت اطمینان مسیر C_3	قابلیت اطمینان کل 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 به‌دست‌آمده با به‌کارگیری روش ویکور مناسب‌ترین جواب را انتخاب نماییم. لازم به ذکر است با توجه به اینکه مثال مورداستفاده در این تحقیق به‌صورت یک مثال عددی است و بنابراین جهت وزن دهی به هر یک از اهداف مدل جهت رتبه‌بندی نهایی، وزن تمامی اهداف را باهم 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) / گزینه‌ها (جواب‌ها)	هزینه C_1	زمان C_2	قابلیت اطمینان مسیر C_3	قابلیت اطمینان کل 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) / گزینه‌ها (جواب‌ها)	هزینه C_1	زمان C_2	قابلیت اطمینان مسیر C_3	قابلیت اطمینان کل 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) / گزینه‌ها (جواب‌ها)	هزینه C_1	زمان C_2	قابلیت اطمینان مسیر C_3	قابلیت اطمینان کل 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) / گزینه‌ها (جواب‌ها)	هزینه C_1	زمان C_2	قابلیت اطمینان مسیر C_3	قابلیت اطمینان کل 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) / گزینه‌ها (جواب‌ها)	هزینه C_1	زمان C_2	قابلیت اطمینان مسیر C_3	قابلیت اطمینان کل 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 زنجیره تأمین 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 داده‌شده 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 عنوان‌شده در قالب سناریوهای مختلف با نرم‌افزار لینگو، موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت. 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. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در انتها بر اساس شاخص ویکور به‌دست‌آمده 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 قابل‌توجهی از هزینه‌های زنجیره‌تأمین به هزینه‌های تأمین و توزیع تعلق دارد. ازلحاظ ریاضی تغییرات هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین به تغییر پارامترهای این توابع حساس است و از دیدگاه اقتصادی مدیریت هزینه‌های تأمین و توزیع در سودآوری و کنترل هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین تأثیر بیشتری دارد. بنابراین به‌عنوان یکی از پیشنهادهای 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 به سازمان 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 موردمطالعه 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 ازجمله 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/0000-0002-9830-5966**

Ghanbar Abbaspour Esfadan **http://orcid.org/0000-0003-4750-1673**

Aboutrab Alirezaei

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.

اشتدلر، 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، احم 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 بیلینتون، رونالد آلن (۱۳۹۰). *ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی؛ مفاهیم و روش‌ها*؛ مترجم محسن رضائیان. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، مرکز نشر.

صادقیان، رامین و طالبی لنگرودی، گلناز (۱۳۹۶). ارائه یک مدل موجودی در زنجیرهٔ تأمین سه‌سطحی با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی. *مهندسی صنایع و مدیریت*، دوره ۳۳,۱، 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, Adri´an 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 f 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 f 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 Nieuwenhuyse, 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.

Jouzdani, 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.، عباس‌پور 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.