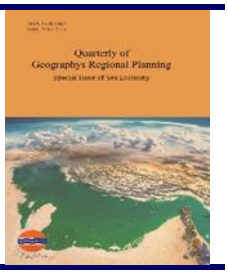
Iranian Association of Geopolitical

Geography(Regional Planning)

Volume 13 (Special Issue 1), Winter 2024
ISSN (Print): 2228-6462 - ISSN (Online): 2783-2112
Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/



Research Paper

Development an Optimal Model to Reduce the Cost and Effect of Supply Chain Disruptions Using Industry 4.0 Technology

Elnaz Farhangzad [1], Reza Ehtesham Rathi [*2], Davood Qarakhani [3]

1. PhD Student, Department of Industrial Management, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
2. Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Qazvin, Iran
3. Assistant Professor, Department of Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

ARTICLEINFO

PP: 75-88

Use your device to scan and read the article online

Keywords: *Supply Chain Disruptions Designing Costs Optimization Uncertainty*

Abstract

Businesses today are more competitive than ever. Factors such as volatile demand, rising demand for personalization, increasing product diversity and short product life cycle, inherent and intrinsic disruptions in the product transfer chain intensify competition. These conditions make it very challenging to coordinate supply and demand. Therefore, supply chain management is of great importance in the event of disruptions. Due to the lack of data, good estimates of the probability of any particular disaster and accurate measurement of the potential effects of each disaster are difficult to obtain, making it difficult to perform cost-benefit analysis or return on investment analysis to justify risk reduction programs. One way to reduce chain disruptions is to use technologies from the Fourth Industrial Revolution. Therefore, in this paper, a model is presented that by using the equipment of the Fourth Industrial Revolution in supply chain design, in addition to reducing chain disruptions, product design and transmission costs are also minimized. Therefore, first to validate the model, a small numerical example and coding in Gomez software is used and then after confirming the model, by implementing all three EO, MPA and SIF algorithms on the large model, the results of all three algorithms were compared in terms of model solution time and reduction of chain costs due to reduction of disturbances by using the equipment of the fourth industrial revolution. The results show that the SIF algorithm performed about 4.91% better than the MPA algorithm and 6.632% better than the EO algorithm and was able to reduce the cost of the chain to a greater extent. But the point to consider is the duration of solving the model using these algorithms. Based on the results, it was found that the SIF algorithm has spent more time solving the model than both algorithms. This means that the SIF algorithm evaluates the computational solution space in more detail and accuracy, thus spending more time solving the model.

Citation: Farhangzad, E., Ehtesham Rathi, R., & Qarakhani , D. (2024). **Development an Optimal Model to Reduce the Cost and Effect of Supply Chain Disruptions Using Industry 4.0 Technology**. Geography(Regional Planning), 13 (Special Issue 1), 75-88.
DOI: 10.22034/jgeoq.2023.381130.3998

[*] **Corresponding author:** Reza Ehtesham Rathi, **Email:** rezaehteshamrasi@gmail.com
Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

The text discusses the importance of efficiency and effectiveness in the supply chain for sustainable competition. A supply chain consists of stages that collaborate to meet customer demand. With the globalization of the economy and increasing market uncertainties, companies must cooperate to respond to diverse demands. Additionally, the economic benefits of reusing consumed goods have led to the creation and management of reverse logistics networks.In a closed-loop supply chain, products may return to the chain after distribution, requiring stronger management. However, there has been limited research on supply chain disruptions and associated risks. The emergence of the fourth industrial revolution, with industrial automation and the Internet of Things, has further complicated the supply chain.Ultimately, the article aims to optimize disruptions in the closed-loop supply chain within Industry 4.0 by presenting a mathematical model. The article is organized into several sections, including an introduction to the fourth industrial revolution, a review of existing research, the presentation of the mathematical model, parameters, and results.

Methodology

This article presents a mathematical model for designing a supply chain network under uncertain demand and potential disruptions, considering the impact of the fourth industrial revolution. The model includes multiple producers, distribution centers, and retailers. The goal is to optimize the network structure to maximize profit by minimizing disruptions. Key decisions involve the number, location, and capacity of facilities and product flow.

Results and Discussion

This article presents a model for designing a closed-loop supply chain network under uncertain demand and potential disruptions, integrating the influence of the fourth industrial revolution. The model considers specified numbers and locations for potential centers, acknowledges disruptions in facilities and communication links, and factors in operational and construction costs associated with Industry 4.0 technologies. It aims to optimize resource utilization amidst rising demand due to population growth and technological advancements.The objective function seeks to minimize total network costs, encompassing transfer costs between different levels, collection costs utilizing advanced technologies, and establishment costs of centers. Constraints ensure adherence to pre-determined numbers of centers, match product transfers with customer demands, regulate flow allocations, and enforce capacity limits. Additionally, they guarantee that product transfers occur only between established facilities equipped with Industry 4.0 technologies and that each customer is served by a single designated distribution center.

Conclusion

In the current era, supply chain management (SCM) is crucial for businesses, impacting all organizational activities, from production to customer service. Disruptions in the supply chain can lead to unpredictable costs and delays, often due to a lack of sustainable strategies. Studies show significant long-term impacts on organizational performance, including decreased stock returns and profitability. Efficient supply chains are more prone to disruptions, highlighting the inverse relationship between efficiency and risk. The fourth industrial revolution (Industry 4.0) offers advanced technologies to enhance SCM by integrating material, information, and financial flows while managing risks. This article presents a three-level mathematical model aimed at minimizing total supply chain costs by reducing disruptions. After validation, three optimization algorithms—EO, MPA, and SIF—were used to solve the model, with SIF proving the most effective in cost reduction, albeit with longer computation times. Sensitivity analysis revealed that increasing distribution centers significantly raises overall costs, especially when expanding facilities for foreign customers. However, the number of customer demands alone has a minimal impact on costs unless coupled with an increase in the number of customers.

References

1. Aghamohamadi-Bosjin, S., Rabbani, M., & Manavizadeh, N. (2020). A hybrid metaheuristic algorithm for a data driven leagile sustainable closed-loop supply chain model under disruption risks. Scientia Iranica.
2. Ayvaz Lou, N., Alvandi, M., & Nasrollahi, M. (2019). Investigating the factors affecting the resilience of companies in conditions of supply chain disorders (Case Study: Manufacturing Companies of Alborz Industrial Town in Qazvin Province) [In Persian].
3. Babazadeh, H., Nemati, Y., & Daryaei, K. (2018). Presenting a stochastic planning approach to supply chain disorders in uncertainty. Fifth National Conference on Applied Research in Management and Accounting, Tehran [In Persian].
4. Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Managing risk to avoid supply-chain breakdown. (Fall, Ed.).
5. Evans, K. (2015). The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies by Eric Brynjolfsson and Andrew McAfee: New York, NY: WW Norton & Co., 2014, 306 pp., $26.95, ISBN 978-0-393-23935-5.
6. Fartaj, S. R., Kabir, G., Eghujovbo, V., Ali, S. M., & Paul, S. K. (2020). Modeling transportation disruptions in the supply chain of automotive parts manufacturing company. International Journal of Production Economics, 222, 107511.
7. Gaur, J., Amini, M., & Rao, A. K. (2020). The impact of supply chain disruption on the closed-loop supply chain configuration profit: a study of sourcing policies. International Journal of Production Research, 58(17), 5380-5400.
8. Hauer, L. M. (2003). Risk-adjusted supply chain management. SUPPLY CHAIN MANAGEMENT REVIEW, 7(6), 64-71.
9. Hendricks, K. B., & Singhal, V. R. (2005). Association between supply chain glitches and operating performance. Management Science, 51(5), 695-711.
10. Hosseini-Motlagh, S. M., Nami, N., & Farshadfar, Z. (2020). Collection disruption management and channel coordination in a socially concerned closed-loop supply chain: a game theory approach. Journal of Cleaner Production, 124173.
11. Khan, A. S., Pruncu, C. I., Khan, R., Naeem, K., Ghaffar, A., Ashraf, P., & Room, S. (2020). A trade-off analysis of economic and environmental aspects of a disruption based closed-loop supply chain network. Sustainability, 12(17), 7056.
12. Khosrojerdi, A., Hemmati, E., & Jabbarzadeh, A. (2015). Evaluation of suppliers using data envelopment analysis in closed chain supply chain network design under production disruption conditions (Case study: Hamadan Glass Industry). 12th International Conference on Industrial Engineering, Tehran [In Persian].
13. Koberg, E., & Longoni, A. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. Journal of Cleaner Production, 207, 1084-1098.
14. Kobor, H. P. (2019). Closed loop supply chain waste reduction through predictive modelling and process analysis (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
15. Li, G., Lin, Y., Wang, S., & Yan, H. (2007). Enhancing agility by timely sharing of supply information. Supply Chain Management.
16. Li, R. Y. M. (2018). Turning the tide in the construction industry: From traditional construction safety measures to an innovative automated approach. In An Economic Analysis on Automated Construction Safety (pp. 1-22). Springer, Singapore.
17. Liu, Y., Dehghani, E., Jabalameli, M. S., Diabat, A., & Lu, C. C. (2020). A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory–optimization model approach. Computers & Industrial Engineering, 142, 106326.
18. Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. Process Safety and Environmental Protection, 117, 168-179.
19. Moradi Masjedbari, A., & Makoei, A. (2018). Study of principles and strategies of supply chain resilience under disturbances. National Conference on Industrial Management and Engineering of Iran, Isfahan [In Persian].

20. Olivares-Aguila, J., & ElMaraghy, W. (2020). System dynamics modelling for supply chain disruptions. International Journal of Production Research, 1-19.
21. Peng, H., Shen, N., Liao, H., Xue, H., & Wang, Q. (2020). Uncertainty factors, methods, and solutions of closed-loop supply chain—A review for current situation and future prospects. Journal of Cleaner Production, 254, 120032.
22. Rice, J., & Caniato, F. (2003). Supply chain response to terrorism: creating resilient and secure supply chains. Interim report of progress and learning, supply chain response to terrorism project. MIT Center for Transportation and Logistics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
23. Rohrbeck, R., Battistella, C., & Huizingh, E. K. (2012, June). The road ahead for research on corporate foresight: Report on the corporate foresight track at the ISPIM Annual Conference 2012. ISPIM Conference.
24. Sadeghi, Z., & Boyer Hassani, O. (2009). Design and planning of supply chain network with resilient supply portfolio at risk of supply disruption. National Conference on Applied Research in Industrial Management and Engineering, Tehran, Rahnama Non-Profit Higher Education Institute [In Persian].
25. Schwab, K. (2017). Fourth industrial revolution, translated by Iraj Nabipour, Bushehr: Bushehr University of medical sciences publications [In Persian].
26. Sheffi, Y. (2001). Supply chain management under the threat of international terrorism. The International Journal of Logistics Management, 12(2), 1-11.
27. Tan, J., Braubach, L., Jander, K., Xu, R., & Chen, K. (2020). A novel multi-agent scheduling mechanism for adaptation of production plans in case of supply chain disruptions. AI Communications, (Preprint), 1-12.
28. Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. International Journal of Production Economics, 103(2), 451-488.
29. Tse, Y. K., Matthews, R. L., Tan, K. H., Sato, Y., & Pongpanich, C. (2016). Unlocking supply chain disruption risk within the Thai beverage industry. Industrial Management & Data Systems.
30. Wilson, M. C. (2007). The impact of transportation disruptions on supply chain performance. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 43(4), 295-320.
31. Yiu, N. S., Sze, N. N., & Chan, D. W. (2018). Implementation of safety management systems in Hong Kong construction industry–A safety practitioner's perspective. Journal of Safety Research, 64, 1-9.
32. Yousefi Sarmad, M., & Pishvaei, M. (2016). Tactical planning possibility model of stable drug supply chain under disturbance conditions with transverse transfer and consideration of corruption. 2nd International Conference on Industrial and Systems Engineering (ICISE 2016), electronically, Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University [In Persian].
33. Zhang, L., Chen, H., Li, H., Wu, X., & Skibniewski, M. J. (2018). Perceiving interactions and dynamics of safety leadership in construction projects. Safety Science, 106, 66-78

فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)

دوره ۱۳(ویژه‌نامه ۱)، زمستان ۱۴۰۲

شاپا چاپی: ۶۴۶۲- ۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲ -۲۷۸۳

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/

انجمن ژئوپلیتیک ایران

مقاله پژوهشی

ارائه مدلی بهینه به منظور کاهش هزینه و اثر اختلالات در زنجیره تامین با بهره‌گیری از تکنولوژی صنعت نسل چهارم در راستای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و توسعه پایدار

الناز فرهنگ زاد: دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

رضا احتشام راثی * **:** استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ایران.

داوود قراخانی: استادیار، گروه مدیریت، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ایران.

اطلاعات مقاله

شماره صفحات: ۸۸-۷۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی: *زنجیره تامین ، اختلالات، هزینه‌های طراحی، الگوریتم‌های فراابتکاری، بهینه‌سازی، عدم قطعیت*

چکیده

وجود ریسک و اختلال در زنجیره تامین، غیرقابل کتمان است. یکی از راه‌های کاهش اختلالات در زنجیره، استفاده از تکنولوژی‌های حاصل از انقلاب صنعتی چهارم است. از این رو در این مقاله، مدلی ارائه شده که با بکارگیری تجهیزات انقلاب صنعتی چهارم در طراحی زنجیره تامین، علاوه بر کاهش اختلالات زنجیره، هزینه‌های طراحی و انتقال محصول نیز به حداقل رسیده است. بر این اساس، با پیاده‌سازی هر سه الگوریتم EO، MPA و SIF بروی مدل ریاضی، مشخص شد که الگوریتم SIF در حدود ۴.۹۱ درصد نسبت به الگوریتم MPA و ۶.۶۳۲ درصد نسبت به الگوریتم EO بهتر عمل کرده و توانسته مقدار هزینه زنجیره را به میزان بیشتری، کاهش دهد. همچنین نتایج نشان داد که تغییر در پارامتر مراکز استقرار مراکز توزیع سطح دوم برای مشتریان خارجی دارای بیتشرین تاثیر در هزینه‌های طراحی زنجیره می‌باشد.

استناد: فرهنگ زاد، الناز؛ احتشام راثی، رضا و قراخانی، داوود (۱۴۰۲). **ارائه مدلی بهینه به منظور کاهش هزینه و اثر اختلالات در زنجیره تامین با بهره‌گیری از تکنولوژی صنعت نسل چهارم در راستای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و توسعه پایدار.** فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، دوره ۱۳ (ویژه‌نامه ۱)، ۷۵-۸۸.

DOI: 10.22034/jgeoq.2023.381130.3998

* **نویسنده مسئول:** رضا احتشام راثی ، **پست الکترونیکی:** rezaehteshamrasi@gmail.com

مقدمه

یکی از مزیت‌های رقابت پایدار برای کشورها و شرکت‌ها، افزایش اهمیت کارایی و اثربخشی فعالیت‌های زنجیره تأمین است. یک زنجیره تأمین شامل مراحلی (اعضای زنجیره) است، که چه مستقیم و چه غیر مستقیم در برآورده‌سازی تقاضای یک مشتری نقش دارند. در یک زنجیره تأمین سنتی (رو به جلو)، مواد خام از تأمین‌کنندگان به کارخانه‌ها ارسال می‌شوند، سپس محصولات تولید شده در کارخانه‌ها به انبارهای میانی و انبارهای توزیع‌کنندگان ارسال می‌شوند و از آنجا به سمت خرده فروش‌ها و در نهایت به دست مشتری نهایی با همان مصرف‌کننده می‌رسند (کوبرگ و لونگینی، ۲۰۱۹). با یکپارچه شدن اقتصاد جهانی، تنوع و عدم قطعیت‌های بیشتری در بازار به چشم می‌خورد. به منظور مقابله با عدم قطعیت‌ها در بازار و پاسخگویی سریع به تقاضاهای متنوع مشتریان، شرکت‌ها باید در قالب یک زنجیره تأمین یکپارچه، با یکدیگر همکاری و مشارکت داشته باشند. از سوی دیگر منافع اقتصادی حاصل از استفاده مجدد از کالاهای مصرف شده نیز موجب استقبال شرکت‌ها از ایجاد و مدیریت شبکه‌های لجستیک معکوس گشته است. از آنجایی که اجرای این دو زنجیره (مستقیم و معکوس) بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند، در تحقیقات اخیر آن‌ها را به صورت جامع در زنجیره تأمین حلقه بسته بررسی می‌کنند. در زنجیره تأمین حلقه بسته کالاها پس از توزیع به صورت مستقیم، توسط مشتری بنا به دلایلی بر می‌گردند. این محصولات برگشتی در مرکزی جمع‌آوری و بررسی می‌شوند، که آیا قابل برگشت به زنجیره جهت استفاده مجدد می‌باشند یا دورریز محسوب می‌شوند. در این زنجیره با توجه به امکان بازگشت محصولات، نیازمند مدیریت جامع‌تر و قوی‌تری می‌باشد (پنگ و همکاران، ۲۰۲۰). با وجود آنکه رخداد اختلال در زنجیره تأمین، عواقب مالی و غیر مالی وخیمی را به دنبال دارد اما نسبت به سایر موضوعات مطرح در این حوزه کمتر مورد استقبال محققین واقع شده است که دلیل آن پیچیدگی ذاتی بحث اختلال، سنجش و مدیریت آن است. با توجه به پیچیدگی و پویایی طبیعت زنجیره تأمین نیازمند درک تأثیر اختلالات بر عملکرد سیستم هستیم. محققین از روش‌هایی مانند سیستم‌های دینامیکی (ویلسون، ۲۰۰۷) و روش‌های مبتنی بر مفاهیم شبکه (لی و همکاران، ۲۰۰۷؛ , تِسه و همکاران، ۲۰۱۶) برای تحلیل چنین تاثیراتی استفاده نموده‌اند. با این وجود اختلالات زنجیره تأمین و ریسک‌های عملیاتی و مالی مربوط به آن از جمله مسائلی است که در دنیای رقابت کنونی، سازمان‌ها را بسیار درگیر نموده‌اند. لذا گزارشات منتشر شده آن‌ها علاوه بر اشاره به ماهیت هزینه بر اختلالات زنجیره تأمین، آسیب‌پذیری و مسائل مرتبط با ریسک زنجیره تأمین را از جمله دغدغه‌های اصلی خود معرفی نموده‌اند. یکی از عوامل دیگر که می‌تواند آسیب‌پذیری شبکه را به دلیل گاها ناشناخته بودنش بیشتر کرده و سبب اختلال شود، انقلاب صنعتی و پیشرفت‌های چشمگیر تکنولوژی است که اجزای شبکه را به سمت اتوماسیونی بودن[1] سوق داده است. نسل چهارم صنعت نام جدیدی است که برای اتوماسیون صنعتی در فن‌آوری تولید در نظر گرفته شده است. علت اصلی این نامگذاری مجهز شدن ابزارهای صنعتی به سیستم‌های فیزیکی سایبری، اینترنت اشیا، پردازش ابری و به تبع آن هوشمند شدن تولیدات است. این تحولات در ابزارهای صنعتی باعث رشد عظیم در صنعت شد از این رو به عنوان چهارمین انقلاب صنعتی شناخته شده است (لوثرا و مانگلا، ۲۰۱۸). چهارمین انقلاب صنعتی حرکت به سمت دیجیتال‌سازی است. صنعت نسل چهارم، از اینترنت اشیا و سیستم‌های فیزیکی سایبری مانند سنسورهایی با توانایی جمع‌آوری اطلاعات استفاده می‌کند تا امکان تولید انبوه را برای تولیدکنندگان ایجاد کند. ابزارهای هوشمند به کار گرفته شده در این صنعت باعث ارتقا کیفیت کارخانه‌ها و تولیدات آن‌ها می‌شود. دور نمایی که از صنعت نسل چهارم انتظار می‌رود کارخانه‌های تمام هوشمندی است که ارتباط در آن‌ها ارتباط ماشین با ماشین (M2M)است و در کمترین زمان تولیدات با کیفیت مطلوب را در بازار عرضه می‌کنند. مهم‌ترین مزایایی که صنعت نسل چهارم ایجاد کرده، بهینه‌سازی تولید، و سفارشی‌سازی از طریق ایجاد یک بازار انعطاف‌پذیر است. اما در کنار این مزایا، معایبی نیز دارد که توجه به آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. کسب مهارت‌های جدید برای کارایی بهتر، امنیت و حریم شخصی از مواردیست که می‌بایست با بکارگیری صنعت نسل چهارم در زنجیره تأمین به شدت به آن توجه شود و برای مدیریت بهینه آن‌ها، تصمیمات درستی اتخاذ گردد (لوثرا و مانگلا، ۲۰۱۸). از آن جا که محققین معدودی به مدلسازی و تحلیل اثرات اختلال‌های زنجیره تأمین حلقه بسته پرداخته‌اند که آن‌ها نیز علیرغم نیاز

---

۱ یکی از دستاوردهای انقلاب نسل چهارم و تأثیر آن بر صنعت، اتوماسیونی شدن بسیاری از دستگاه‌ها و خارج شدن نقش اپراتور انسانی در روند تولید یک محصول است. این موضوع ناشی از دیجیتال سازی تجهیزات و ماشین آلات با استفاده از تکنولوژی اینترنت اشیا و انجام خودکار فرآیند تولید است.

اساسی صنعت به تحلیل همه جانبه و مدیریت کارآمد اختلال، به بررسی عمیق این مهم نپرداخته‌اند و تنها در سطح تئوری باقی مانده‌اند، در این رساله تلاش می‌شود به مساله بهینه‌سازی اختلالات زنجیره تأمین حلقه‌ی بسته در صنعت نسل چهارم از طریق مدلسازی ریاضی پرداخته شود. چرا که اصلی‌ترین خلأ موجود در ادبیات عدم وجود چارچوبی یکپارچه برای شناسایی، تحلیل و مقابله با اختلالات صنعت نسل چهارم در زنجیره تأمین حلقه بسته است. و این در حالی است که مطالعات صورت گرفته در این زمینه تنها منحصر به بخشی از این زنجیره فعالیت‌های متصل به هم است که انجام یکی بدون رعایت پیش نیازهای قبلی فاقد کارایی لازم خواهد بود. از این رو این خلاء را می‌توان با استفاده از مدلسازی ریاضی با هدف بهینه نمودن و کاهش اختلالات در زنجیره تأمین پر نمود. این مقاله با هدف ارائه یک مدل ریاضی به منظور بهینه‌سازی اختلالات زنجیره تأمین در صنعت نسل چهارم ارائه شده است. ادامه این مقاله بصورت زیر سازماندهی شده است. در بخش ۲، به معرفی وویژگی‌های انقلاب صنعتی چهارم و تحولات ناشی از آن پرداخته می‌شود. در بخش ۳، مروری بر تحقیقات انجام شده در این زمینه ارائه می‌گردد. بخش۴، به ارائه مدل ریاضی، پارامترها و محدودیت‌های مدل اختصاص دارد. در بخش۵، به معرفی پارامترهای اولیه روش حل و ارائه نتایج اختصاص یافته و در بخش ۶، نتیجه‌گیری ارائه شده است.

مبانی نظری

گذری بر انقلاب صنعتی چهارم[1]

واژه انقلاب به تغییر ناگهانی و ریشه‌ای اشاره دارد. انقلاب‌ها در سراسر تاریخ هنگامی که فناوری‌های نوین و شیوه‌های بدیع درک جهان، تغییری ریشه‌ای را در سامانه‌های اقتصادی و ساختارهای اجتماعی آغاز می‌کنند، روی می‌دهند(ایوانس، ۲۰۱۵). با در نظر گرفتن تاریخ به عنوان یک چهارچوب مرجع، رخداد ناگهانی این تغییرات، به سال‌ها زمان نیاز دارد تا آشکار شوند. اولین جابه جایی ریشه‌ای در شیوه زندگی ما (گذار از جمع‌آوری غذا به کشاورزی)، حدود ۱۰ هزار سال پیش روی داد و این با اهلی کردن حیوانات امکان‌پذیر گردید (مالر، ۲۰۱۶). اولین انقلاب صنعتی، از حدود ۱۷۶۰ تا حدود ۱۸۴۰، گسترش یافت. این انقلاب با ساخت خطوط راه آهن و اختراع ماشین بخار آغاز گردید و طلیعه دار تولید ماشینی شد. انقلاب صنعتی دوم که در اواخر قرن نوزدهم آغاز گردید و تا اوایل قرن بیستم را پوشش داد، امکان تولید توده‌ای را با ترویج و توسعه الکتریسیته و خطوط سوار کردن ماشینی (مونتاژ)، امکان‌پذیر نمود. انقلاب صنعتی سوم در دهه ۱۹۶۰ آغاز شد. این انقلاب معمولاً به عنوان انقلاب رایانه‌ای یا دیجیتالی نامیده می‌شود زیرا با توسعه نیمه‌رساناها، ساخت رایانه‌های با پردازنده مرکزی در دهه ۱۹۶۰)، رایانه‌های شخصی (دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰) و اینترنت (۱۹۹۰)، تسریع گردید (ییو و همکاران، ۲۰۱۸) تعاریف گوناگون اندیشمندانه و بحث‌های آکادمیک برای توصیف این سه انقلاب صنعتی به کار رفته‌اند. این انقلاب در پدیداری این قرن آغاز گردیده و بر بستری از انقلاب دیجیتالی، خود را سامان می‌دهد. از ویژگی‌های این انقلاب، وجود اینترنت همراه و فراگستر، حس گرهای کوچکتر و نیرومندتر (که ارزان‌تر شده‌اند) و نیز هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی را می‌توان برشمرد (لی، ۲۰۱۸). چهارمین دوره اصلی از بدو انقلاب صنعتی است. این دوره با اشاعه فناوری‌هایی فاصله میان سپهرهای فیزیکی، رایانشی و زیستی را کمرنگ یا حذف می‌کنند، مشخص می‌شود.این دوره با ظهور فناوری‌های نوین در چند حوزه رباتیک، هوش مصنوعی، زنجیره بلوکی، نانوتکنولوژی، پردازش کوانتومی، زیست فناوری، اینترنت اشیا و خودروهای خودران همراه است. این انقلاب، کل نظام تولید، مدیریت و حکمرانی را در هر صنعت و هر کشوری متحول می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). انقلاب صنعتی چهارم۲ در سال ۲۰۱۱ در نمایشگاه صنعتی هانور در آلمان معرفی شد. این مفهوم همانطور که ارتباطات و بازار مصرف را تحت تأثیر قرار داد، تولید را نیز دگرگون خواهد کرد.در عصر حاضر، با دوره‌ای مواجه هستیم که فناوری‌های مهم و عمده‌ای در آن به ظهور رسیده‌اند. تلفیق و آموزش هوش مصنوعی و علم رباتیک، مراحل نوینی از تولید ایجاد کرده‌اند که موجب کاهش دخالت نیروی انسانی در فرایند تولید و ارائه خدمات گوناگون می‌شوند. فناوری‌های دیجیتال به میزان گسترده وارد همه‌ی سطوح و بخش‌های زندگی بشر شده و ضمن ایجاد خدمات نوین و نوظهور، ارتباط نزدیک‌تری را نیز با مشتریان و مصرف‌کنندگان برقرار می‌کنند. بهره وری انسان‌ها در انجام امور، تحت تأثیر جنبه‌های مثبت این

1. Fourth Industrial Revolution (4IR)
2. Industry 4.0

فناوری‌ها قرار گرفته و افزایش می‌یابد. بسیاری از محصولات فیزیکی جای خود را به محصولات دیجیتال می‌دهند (به عنوان مثال، روزنامه‌هایی که دیجیتال شده‌اند، خدمات نقل و انتقال که دیگر نیازمند انتقال داده نیستند، فناوری‌های پرینت سه بعدی و ...) (لی[1] ، ۲۰۱۸).

هم اکنون، هوش مصنوعی در پیرامون ما وجود دارد. از آن در خودروهای خودکار، هواپیماهای بی سرنشین، نرم‌افزارهای ترجمه، دستیاران رایانه‌ای و حتی در سرمایه‌گذاری استفاده می‌شود. در سال‌های گذشته پیشرفت‌های چشمگیری به دست آمده است؛ از نرم‌افزارهای ویژه برای کشف داروهای نوین تا الگوریتم‌های کاربردی در پیش‌بینی گرایش‌های فرهنگی مردم، وامدار افزایش پرشتاب در توان محاسباتی و در دسترس بودن داده‌های بسیار است (شوآب[2] ،۲۰۱۸). ترکیب این تأثیرات به طور چشمگیری ساختارهای اقتصادی محلی، منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی را تغییر خواهد داد. صنایع جدید ظهور خواهند کرد و صنایع قدیمی از میان خواهند رفت. بازار کار به دلیل کمبود صلاحیت‌های خاص و همچنین وفور صلاحیت‌هایی که دیگر مورد استفاده نیستند، چالش برانگیز خواهد شد. به سرعت دورانی فرا می‌رسد که در آن، فعالیت‌های انسان‌ها و فناوری‌ها با یکدیگر ادغام شده یا یکی می‌شوند (روهر برگ، باتیستلا و هویزینگه[3]، ۲۰۱۲)

انقلاب صنعتی چهارم یک رویکرد استاندارد یا تکنولوژی نیست، به همین دلیل روش‌های مورد استفاده و اقدامات لازم برای پیاده‌سازی آن در شرکت‌ها یکسان نیستند. انقلاب صنعتی چهارم یک مفهوم است که می‌تواند به شیوه‌های متفاوت درصنایع گوناگون اعمال شود.

ارائه پهنای باند بالا، اتصالات شبکه باسیم و بی‌سیم امن و ایمن، دیجیتال‌سازی تجهیزات تولید مانند ماشین‌آلات، سیستم‌های حمل و نقل، دستگاه‌های ذخیره‌سازی، سنسورها، ابزارهای اندازه‌گیری، پایانه‌ها، چاپگرها، و غیره، دیجیتال‌سازی کل زنجیره تولید به منظور اتصال به یک شبکه شرکتی (دیجیتالی کردن زنجیره عمودی)، دیجیتال‌سازی تمام شرکت، تامین‌کننده‌ها و زنجیره مشتریان (ادغام افقی)، دیجیتال‌سازی محصولات و خدمات، توانمندسازی شرکت‌ها برای توسعه مدل‌های کسب و کار دیجیتال جدید و پیشرفته، توانمندسازی شرکت‌ها برای ایجاد یا استفاده از خدمات ابری در دسترس با پهنای باند بالا، تجهیز کردن اپراتورها به رایانه، تبلت، تلفن هوشمند و غیره که باید دائم آنلاین بوده و به شبکه متصل باشند.

مرور ادبیات

آگوئیلا و همکاران (۲۰۲۰) به ارائه یک سیستم مدلسازی پویا به منظور اختلالات زنجیره تأمین پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که اختلالات رخ داده در سطح پایین دست، تأثیر بیشتری بر عملکرد زنجیره نسبت به اختلالات در سطح بالادست دارد. در مقاله فرتاج و همکاران (۲۰۲۰) به مدلسازی اختلالات لجستیک در یک زنجیره تأمین کارخانه اتومبیل‌سازی در اولدکاسل ، انتاریو ، کانادا پرداخته شده است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که مشکلات زیرساختی و نیروی کار ماهر و ناکافی مهمترین عوامل ایجاد اختلال در شبکه حمل و نقل در صنعت خودرو هستند. مقاله‌تان و همکاران (۲۰۲۰) راه حل جدیدی ارائه می‌دهد که می‌تواند در صورت بروز انواع مختلفی از اختلالات با استفاده از برنامه موجود، به طور مؤثر و کارآمدی عمل کند. این رویکرد مبتنی بر ایده برای رعایت هرچه بیشتر برنامه زمانبندی موجود، و تطبیق آن بر اساس تغییرات محلی محدود است. خان و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله خود به بررسی تعامل مطلوب اختلالات زنجیره تأمین حلقه بسته چند سطحی از منظر اقتصادی و اجتماعی با هدف دستیابی به تعامل بین اهداف هزینه ، زمان و انتشار و چگونگی تأثیر این تصمیمات در انتخاب ماشین آلات مختلف موجود پرداختند. نتایج نشان دهده وجود تعامل‌های دیگر بین اهداف مساله است که می‌تواند به تصمیم گیرنده کمک کند تا راه حل خاصی را با توجه به اولویت سازمان انتخاب کند. حسینی مطلق و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله خود به بررسی مدیریت اختلال و هماهنگی کانال در یک زنجیره تأمین حلقه بسته اجتماعی (صنعت دارویی) با استفاده از رویکرد تئوری بازی پرداختند. نتایج نشان نشان‌دهنده این است که مدل پیشنهادی تعادل زنجیره را حفظ کرده و از ضرر در صورت جمع‌آوری مبتنی بر CSR بسیار رقابتی جلوگیری کرده و میزان جمع‌آوری ، تقاضای بازار و سود کل زنجیره را به طور همزمان افزایش می‌دهد. آقا محمدی و همکاران (۲۰۲۰)، در مقاله خود به

1. Lee
2. Schwab
3. Rohrbeck, Battistella, & Huizingh

بررسی عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری ترکیبی PMOPSOو MOSEO جهت آنالیز داده‌های یک مدل زنجیره تأمین پایدار حلقه بسته تحت بروز خطرهای ناشی از اختلال در شبکه با در نظر گرفتن همزمان عوامل ناب بودن، چابکی و پایداری پرداختند. برای اطمینان از اثربخشی الگوریتم ترکیبی پیشنهادی ، نتایج این الگوریتم با NSGA-II مقایسه شده که نتایج نشان‌دهنده عملکرد بالای الگوریتم پیشنهادی این مقاله می‌باشد. در مقاله لئو و همکاران (۲۰۲۰) نیز به ارائه یک مدل مساله مکانیابی-موجودی در یک زنجیره تحت شرایط بروز اختلالات با استفاده از نظریه صف دو سطحی و بهره‌گیری از یک مدل بهینه‌سازی پرداخته شده که میزان تقاضا و میزان زمان تکمیل و پر شدن انبارهای موجودی بصورت غیرقطعی درنظر گرفته شده است. نتایج نشان‌دهنده کارایی مطلوب روش پیشنهادی در مواجهه با اختلالات زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت می‌باشد. گائور و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله خود به بررسی تأثیر اختلال در زنجیره تأمین حلقه بسته با هدف سیاست‌های تأمین منابع با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط (MINLP) پرداختند. یافته‌ها نشان‌دهنده این است که تهیه منابع چند منظوره ارزش فعلی، سود خالص بالاتری را نسبت به تأمین منابع منفرد در معرض خطر ایجاد اختلال در زنجیره تأمین ایجاد می‌کند. کوبور (۲۰۱۹) در مقاله خود، یک مدل برنامه‌ریزی استوار برای طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته (زیست محیطی) رو به جلو و معکوس تحت عدم قطعیت شرایط اقتصادی و زیست محیطی آینده را بهینه‌سازی نمود. هندریک و سینگهال (۲۰۰۳) استراتژی‌های عملی شامل بهبود پیش‌بینی تقاضا، افزایش مشارکت تأمین‌کنندگان، استفاده از بافرهای استراتژیک موجودی را پیشنهاد نمودند. هاوئر (۲۰۰۳) در مقاله خود استفاده از مدل‌سازی مالی برای شبیه‌سازی حالت‌های اختلال در زنجیره تأمین را مورد بررسی قرار داد. رایس و کانیاتو(۲۰۰۳) مجموعه‌ای از استراتژی‌های مقابله با اختلال را با تمرکز بر خاصیت ارتجاعی معرفی نموده‌اند که با توجه به منبع اختلال باید اتخاذ شوند. اما نکته قابل توجه اینکه شفی (۲۰۰۱) در جهت استفاده از استراتژی‌های افزایش خاصیت ارتجاعی یادآور شده است که در اکثر موارد باید با توجه به ریسک و از طرف دیگر هزینه تحمیلی، راجع به استفاده از یک تأمین‌کننده یا تأمین‌کنندگان چندگانه تصمیم‌گیری شود. محققین دیگری نظیر هندریک و سیتگهال (۲۰۰۵)، تانگ (2006)، چوپرا و سودهی (۲۰۰۴) ناب بودن زنجیره تأمین را عاملی برای تقویت ریسک زنجیره تأمین می‌دانند و در برابر آن چابک بودن زنجیره از جمله عوامل مؤثر در مقابله با ریسک اختلال شناسایی شده است. در برخی پژوهش‌های داخلی نیز، محققین به بررسی مساله اختلالات زنجیره تامین پرداختند. صادقی و بویرحسنی (۱۳۹۸) به طراحی و برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تأمین با سبد تأمین تاب‌آور تحت ریسک اختلال تأمین، عیوض لو و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری شرکت‌ها در شرایط بروز اختلالات زنجیره تأمین، بابازاده و همکاران (۱۳۹۷) به ارائه رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی برای مدیریت اختلالات در زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت، خسروجردی و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت شرایط اختلالات تولید، مرادی و ماکویی (۱۳۹۷) به بررسی اصول و استراتژی‌های تاب‌آوری زنجیره تأمین تحت اختلالات، یوسفی و پیشوایی (۱۳۹۵) به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی تاکتیکی امکانی استوار زنجیره تأمین دارو تحت شرایط اختلال همراه با انتقال عرضی و در نظر گرفتن فساد پرداخته‌اند.

روش پژوهش

مدل ریاضی

در این مقاله، یک مدل برای طراحی شبکه زنجیره تأمین در شرایط تقاضای احتمالی و وجود احتمال اختلال در تولیدکننده‌های زنجیره با درنظرگیری تاثیر انقلاب صنعتی چهارم ارائه می‌گردد. در این مسأله، عدم قطعیت هم در تقاضا و هم در فرایند تأمین در نظر گرفته شده است. این زنجیره شامل چندین تولیدکننده، مرکز توزیع و خرده فروش به ترتیب در لایه‌های اول، دوم و سوم است. هر خرده فروش این زنجیره کالای خود را قبل از شروع هر دوره زمانی که زمان تدارک نامیده می‌شود، سفارش می‌دهد. مراکز توزیع سفارشات خرده فروش را دریافت و به تولیدکننده‌هایی که دارای ظرفیت تولیدی هستند، ارسال می‌کنند. کالاهای تولید شده توسط تولیدکننده‌ها از طریق مراکز توزیع به خرده فروشان تحویل داده می‌شود. بسته‌بندی و برچسب زنی کالاها در این مراکز انجام می‌شود.

تعدادی تولیدکننده‌های بالقوه با هزینه‌ی تولید و قابلیت اطمینان مشخص وجود دارند که به عنوان تسهیلات لایه اول می‌توانند انتخاب شوند. مراکز توزیع و خرده فروشان این زنجیره در تعدادی از مکان‌های بالقوه که از قبل تعیین شده‌اند، مستقر خواهند شد. در این مسأله، ما می‌خواهیم ساختار بهینه شبکه این زنجیره را تعیین کنیم به طوری که سود کل آن از طریق کاهش اختلالات حداکثر گردد. کل هزینه‌های زنجیره مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری فعلی و میانگین هزینه‌های عملیاتی کمبود، حمل و نقل و تولید در آینده است. تصمیمات مختلف درباره تعداد، مکان، و ظرفیت موجودیت‌های هر لایه در زنجیره و جریان مواد محصولات در شبکه باید تعیین شود.

بحث و یافته‌های تحقیق

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

با توجه به اینکه یکی از کارکردهای طراحی مدل‌های بهینه‌سازی به منظور اتخاذ تصمیمات استراتژیک، استفاده از ان‌ها در بخش عملیاتی است، در این مدل ساختار مدل جریان طراحی زنجیره تامین حلقه بسته دارای اختلال مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجایی که مقدار عرضه محصولات در داخل و خارج با توجه به اختلالات احتمالی در تولید و توزیع همیشه محدود بوده و مقدار تقاضا نیز با افزایش جمعیت و سطح تکنولوژی‌های ناشی از انقلاب صنعتی چهارم دائماً بالا می‌رود، برنامه‌ریزی در جهت استفاده بهینه از منابع موجود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. این مدل آخرین سطح تصمیمات یعنی اجرای عملیات ارسال محصولات به مشتریان براساس نوع آن‌ها (مشتریان داخلی یا خارجی) تعیین می‌نماید. مهمترین مفروضات درنظر گرفته شده در این تحقیق شامل موارد زیر است.

تعداد مراکز مورد نیاز مشخص است، تعداد و محل مراکز بالقوه جهت احداث مشخص است، اختلال در تسهیلات لایه‌های مختلف زنجیره وجود دارد، اختلال لینک‌های ارتباطی بین لایه‌های مختلف زنجیره وجود دارد، فاصله مکان‌های بالقوه تا متقاضیان مشخص است، میزان تقاضای هر متقاضی مشخص است، هزینه عملیاتی سیستم جهت بکارگیری تجهیزات انقلاب صنعتی چهارم مشخص است، هزینه احداث مراکز در هر مکان بالقوه مشخص است، دوره برنامه‌ریزی برای تصمیم‌گیری‌های سطح برنامه‌ریزی درنظر گرفته می‌شود. تمامی امکانات جهت احداث مراکز در ابتدای دوره برنامه‌ریزی مشخص و دردسترس است

جدول ۱- اندیس‌های مدل

I	مجموعه تولیدکننده‌های بالقوه‌ی موجود
J	مجموعه محل‌های کاندید موجود برای استقرار مراکز توزیع سطح اول (مورد استفاده برای مشتریان داخلی)
K	مجموعه مجموعه محل‌های کاندید موجود برای استقرار مراکز توزیع سطح دوم (مورد استفاده برای مشتریان خارجی)
L	مجموعه مراکز توزیع داخلی
D	مجموعه مراکز توزیع خارجی
C	مجموعه مشتریان خارجی
A	مجموعه مشتریان داخلی

جدول ۲- پارامترهای مدل

C_{ij}^{IJ}	هزینه انتقال بین تولیدکننده i و مرکز سطح اول j
C_{jk}^{JK}	هزینه انتقال بین مرکز سطح اول j و مراکز سطح دوم k
C_{kl}^{KL}	هزینه انتقال بین مراکز سطح دوم k و مرکز توزیع مشتریان خارجی l
C_{lc}^{LC}	هزینه انتقال بین مرکز توزیع مشتریان خارجی l تا مشتری c
C_{ja}^{JD}	هزینه انتقال بین مرکز سطح اول j و مرکز توزیع مشتریان داخلی d
C_{da}^{DA}	هزینه انتقال بین مرکز توزیع مشتریان داخلی d تا مشتری a
$Cost_j^J$	هزینه احداث مرکز سطح اول j دارای تجهیزات انقلاب صنعتی چهارم
$Cost_k^K$	هزینه احداث مرکز سطح دوم k دارای تجهیزات انقلاب صنعتی چهارم
$Cost_l^L$	هزینه احداث مرکز توزیع محصول به مشتریان داخلی l دارای تجهیزات انقلاب صنعتی چهارم
$Cost_d^D$	هزینه احداث مرکز توزیع مشتریان خارجی d دارای تجهیزات انقلاب صنعتی چهارم
CAP_i	ظرفیت تولیدکننده i
CAP_j	ظرفیت مرکز سطح اول j
CAP_k	ظرفیت مرکز سطح دوم k
CAP_l	ظرفیت مرکز توزیع مشتریان خارجی l
CAP_d	ظرفیت مرکز توزیع مشتریان داخلی d
CR_j^J	هزینه جمع‌آوری محصول در مرکز سطح اول j با بهره‌گیری از تجهیزات انقلاب صنعتی چهارم
CR_k^K	هزینه جمع اوری در مرکز سطح دوم k با بهره‌گیری از تجهیزات انقلاب صنعتی چهارم
N	حداکثر تعداد مراکز سطح اول مجاز جهت احداث
M	حداکثر تعداد مراکز سطح دوم مجاز جهت احداث
P	حداکثر تعداد مراکز توزیع برای مشتریان خارجی مجاز جهت احداث
V	حداکثر تعداد مراکز توزیع مشتریان داخلی مجاز جهت احداث
$Demand_c$	میزان تقاضا برای مشتریان خارجی از طرف مشتری c
$Demand_a$	میزان تقاضا برای مشتریان داخلی از طرف مشتری a
$Budg$	بودجه در دسترس برای تجهیز تسهیلات بر اساس فناوری انقلاب صنعتی چهارم

جدول ۳- متغیرهای تصمیم مدل

X_{ij}^{IJ}	میزان انتقال بین تولیدکننده i و مرکز سطح اول j
X_{ik}^{JK}	میزان انتقال بین مرکز سطح اول j و مراکز سطح دوم k
X_{kl}^{KL}	میزان انتقال بین مراکز سطح دوم k و مرکز توزیع مشتریان خارجی l
X_{lc}^{LC}	میزان انتقال بین مرکز توزیع مشتریان خارجی l تا مشتری c
X_{jd}^{JD}	میزان انتقال بین مرکز سطح اول j و مرکز توزیع مشتریان داخلی d
X_{da}^{DA}	میزان انتقال بین مرکز توزیع d و مشتری داخلی a
D_{ij}	میزان احتمال اختلال جهت انتقال محصول از تولیدکننده i و مرکز سطح اول j
D_{jk}	میزان احتمال اختلال جهت انتقال محصول بین مرکز سطح اول j و مراکز سطح دوم k
D_{kl}	میزان احتمال اختلال جهت انتقال محصول بین مراکز سطح دوم k و مرکز توزیع مشتریان خارجی l
D_{lc}	میزان احتمال اختلال جهت انتقال محصول بین مرکز توزیع مشتریان خارجی l تا مشتری c
D_{jd}	میزان احتمال اختلال جهت انتقال محصول بین مرکز سطح اول j و مرکز توزیع مشتریان داخلی d
D_{da}	میزان احتمال اختلال جهت انتقال محصول بین مرکز توزیع d و مشتری داخلی a
Y_j^J	برابر با ۱ است اگر مرکز سطح اول j احداث گردد و در غیر اینصورت برابر با صفر است.
Y_k^K	برابر با ۱ است اگر مرکز سطح دوم k احداث گردد و در غیر اینصورت برابر با صفر است.
Y_l^L	برابر با ۱ است اگر مرکز توزیع مشتریان خارجی l احداث گردد و در غیر اینصورت برابر با صفر است.
Y_d^D	برابر با ۱ است اگر مرکز توزیع مشتریان داخلی d احداث گردد و در غیر اینصورت برابر با صفر است.
Y_{lc}^{LC}	برابر با ۱ است اگر مشتری c به مرکز توزیع l تخصیص یابند و در غیراینصورت برابر با صفر است.
Y_{ad}^{AD}	برابر با ۱ است اگر مشتری a به مرکز توزیع d تخصیص یابند و در غیراینصورت برابر با صفر است.

جدول٤

$$Min\,Z = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} C_{ij}^{IJ} \times X_{ij}^{IJ} \times Di_{ij} + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K} C_{jk}^{JK} \times X_{jk}^{JK} \times Di_{jk} + \sum_{k\in K}\sum_{l\in L} C_{kl}^{KL} \times X_{kl}^{KL} \times Di_{kl}$$
$$+ \sum_{l\in L}\sum_{c\in C} C_{lc}^{LC} \times X_{lc}^{LC} \times Di_{lc} + \sum_{j\in J}\sum_{d\in D} C_{jd}^{JD} \times X_{jd}^{JD} \times Di_{jd}$$
$$+ \sum_{d\in D}\sum_{a\in A} C_{da}^{DA} \times X_{da}^{DA} \times Di_{da} + \sum_{j\in J} CR_j^J \times \sum_{i\in I} X_{ij}^{SR1} + \sum_{k\in K} CR_k^K \times \sum_{j\in J} X_{jk}^{JK}$$
$$+ \sum_{j\in J} Cost_j^J \times Y_j^J + \sum_{k\in K} Cost_k^K \times Y_k^K + \sum_{l\in L} Cost_l^L \times Y_l^L \qquad (1)$$

$$\sum_{j\in J} Y_j^J \le N \qquad (۲)$$

$$\sum_{k\in K} Y_k^K \le M \qquad (۳)$$

$$\sum_{l\in L} Y_l^L \le P \qquad (۴)$$

$$\sum_{d\in D} Y_d^L \le V \qquad (۵)$$

$$\sum_{l\in L} X_{lc}^{LC} = Demand_c \qquad (۶)$$
$$c \in C$$

(۷)	$\sum_{d\in D} X_{da}^{DA} = Demand_a \quad a \in A$	
(۸)	$\sum_{k\in K} X_{kl}^{KL} = \sum_{c\in C} X_{lc}^{LC} \quad l \in L$	
(۹)	$\sum_{j\in J} X_{jk}^{JK} = \sum_{l\in L} X_{kl}^{KL} \quad k \in K$	
(۱۰)	$\sum_{i\in I} X_{ij}^{IJ} = \sum_{d\in D} X_{jd}^{JD} + \sum_{j\in J} X_{jk}^{JK} \quad j \in J$	
(۱۱)	$\sum_{j\in J} X_{jd}^{JD} = \sum_{a\in D} X_{da}^{DA} \quad d \in D$	
(۱۲)	$\sum_{i\in I} X_{ij}^{IJ} \le Budg \times Y_j^J \quad j \in J$	
(۱۳)	$Y_j^J \le \sum_{i\in I} X_{ij}^{IJ} \quad j \in J$	
(۱۴)	$\sum_{j\in J} X_{jk}^{JK} \le Budg \times Y_k^K \quad k \in K$	
(۱۵)	$Y_k^K \le \sum_{j\in J} X_{jk}^{JK} \quad k \in K$	
(۱۶)	$\sum_{k\in K} X_{kl}^{KL} \le Budg \times Y_l^L \quad l \in L$	
(۱۷)	$Y_l^L \le \sum_{k\in K} X_{kl}^{KL} \quad l \in L$	
(۱۸)	$\sum_{j\in D} X_{jd}^{JD} \le Budg \times Y_d^D \quad d \in D$	
(۱۹)	$Y_d^D \le \sum_{j\in J} X_{jd}^{JD} \quad d \in D$	
(۲۰)	$X_{lc}^{LC} \le Budg \times Y_{lc}^{LC} \quad l \in L, c \in C$	
(۲۱)	$Y_{lc}^{LC} \le X_{lc}^{LC} \quad l \in L, c \in C$	
(۲۲)	$X_{da}^{AD} \le Budg \times Y_{ad}^{AD} \quad d \in D, a \in A$	

۲۳) (		$Y_{ad}^{AD} \le X_{da}^{AD}$ $d \in D, a \in A$
۲۴) (		$\sum_{c \in C} Demand_c \times Y_{lc}^{LC} \le CAP_l$ $l \in L$
۲۵) (		$\sum_{l \in L} X_{kl}^{KL} \le CAP_k$ $k \in K$
۲۶) (		$\sum_{j \in J} X_{jk}^{JK} \le CAP_k$ $k \in K$
۲۷) (		$\sum_{j \in J} X_{ij}^{IJ} \le CAP_i$ $i \in I$
۲۸) (		$\sum_{d \in D} X_{jd}^{JD} \le CAP_j$ $j \in J$
۲۹) (		$\sum_{a \in A} X_{da}^{JD} \le CAP_d$ $d \in D$
۳۰) (		$\sum_{l \in L} Y_{lc}^{LC} = 1$ $c \in C$
۳۱) (		$\sum_{d \in D} Y_{da}^{AD} = 1$ $a \in A$

عبارت (۱) شامل یازده جمله است که به محاسبه هزینه‌های موجود در کل شبکه می‌پردازند و هدف آن، کاهش این هزینه‌ها (افزایش سود) زنجیره است. جمله‌های اول تا پنجم به کمینه‌سازی هزینه‌های انتقال بین سطوح مختلف می‌پردازد. جملات ششم و هفتم هزینه‌های مرتبط با جمع اوری محصول با استفاده از تکنولوژی‌های انقلاب صنعتی نسل چهارم در مراکز را محاسبه کرده و جملات هشتم تا یازدهم هزینه‌های احداث مراکز در سطوح مختلف را کمینه می‌نمایند. محدودیت (۲) تا (۵) تضمین می‌کند که تعداد مراکز احداث شده در هر سطح زنجیره نباید از تعداد از پیش‌تعیین شده بیشتر باشد. محدودیت‌های (۶) و (۷) تضمین می‌کند که مقدار محصول انتقال یافته برای مشتریان خارجی و داخلی برابر با میزان تقاضا باشد. محدودیت‌های (۸) تا (۱۲) تضمین می‌کند که جریان انتقال یافته بین سطوح به صورت صحیح مقداردهی گردد. محدودیت‌های (۱۳) تا (۲۱) تضمین می‌کنند که زمانی انتقال محصول بین سطوح مختلف انجام می‌شود که تسهیلات مربوط به هر سطح که دارای تجهیزات مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم می‌باشد، احداث شده باشد. محدودیت‌های (۲۲) و (۲۳) تصمین می‌کند که زمانی می‌توان از یک تولیدکننده به مشتری، محصول را انتقال داد که آن مشتری به مرکز تخصیص یافته باشد. محدودیت‌های (۲۴) تا (۲۹) تضمین می‌کند که مقدار محصول انتقال یافته به/از هر سطح از ظرفیت تسهیلات موجود در آن سطح بیشتر نباشد. محدودیت (۳۰) تضمین می‌کند که هر مشتری تنها از یک مرکز توزیع دریافت نماید. محدودیت (۳۱) نیز تضمین می‌کند که هر مشتری داخلی تنها از یک مرکز توزیع برای مشتریان داخلی دریافت نماید

نتیجه‌گیری

در دنیای کنونی مدیریت زنجیره تأمین، یکی از مسائل اساسی پیش روی بنگاه‌های اقتصادی است بهطوری که تمامی فعالیت‌های سازمان را به منظور تولید محصولات، بهبود کیفیت، کاهش هزینه‌ها، و اختلالات ناشی از عدم قطعیت هایموجود در کل زنجیره، ارائه خدمات مورد نیاز مشتریان تحت تأثیر قرار می‌دهد. لِوی[1] در ۱۹۹۵ بیان نموده است که بروز اختلال در زنجیره‌های تأمین منجر به هزینه‌های غیر قابل پیش‌بینی و زمان‌های تأمین[2] بسیار طولانی می‌شود. البته وی اظهار می‌دارد که مدیران در رابطه با اختلال بیشتر تمایل به برخوردی مشابه یک حادثه یک دفعه‌ای دارند و غافل از این هستند که شاید رخداد این اختلال ناشی از عدم وجود یک استراتژی پایدار در زنجیره باشد. یکی دیگر از مشکلات سازمان‌ها در برخورد با اختلال، ناتوانایی آن‌ها برای تخمین هزینه‌های حاصله از آن می‌باشد، با وجود تمام آسیب‌های هنگفتی که اختلال برای زنجیره‌های تأمین به دنبال دارد، هنوز هم مطالعات صورت گرفته در این حوزه بسیار ناچیز است (وو[3] و همکاران، ۲۰۱۲)

یافته‌ها و شواهد تأثیرات بلند مدت اختلالات زنجیره تأمین را بر عملکرد سازمان نشان داده‌اند. این یافته‌ها بر اساس مطالعه نزدیک به ۸۳۰ مثال عملی اختلالات زنجیره تأمین در سازمان‌های دولتی است. تاثیرات اصلی اختلال بر عملکرد زنجیره تأمین عبارت است از:

افت بازگشت سهام به میزان ۳۳ تا ۴۰درصد در بازه‌ای سه ساله (یکسال پیش از اختلال و دو سال پس از اختلال)، افت قیمت سهام در سال پس از اختلال ۱۳/۵ درصد بیش از سال گذشته، تأثیر منفی معنادار بر سوددهی که میانگین این تغییرات عبارتند از: ۱۰۷ درصد کاهش در درآمد عملیاتی، کاهش نرخ رشد فروش به کمتر از ۷ درصد، ۱۱ درصد افزایش هزینه، افت عملکرد سازمان‌ها: اختلال تأثیر ضعیف‌کننده‌ای بر عملکرد دارد که سازمان پس از اختلال به راحتی‌ترمیم نمی‌شود، یک سازمان حداکثر تا دو سال پس از اختلال عملکرد پایینی دارد.

به طور کلی اختلال مستقل از منبع آن و محصولی که تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد، باعث کاهش عملکرد سازمان می‌شود. مدیران و سازمان‌ها باید منابع اختلال را شناسایی کنند، و به این مسئله توجه کنند که به منظور کاهش ریسک اختلالات چه کارهایی می‌توان انجام داد و اعمال واکنشی اختلال چه چیزهایی می‌تواند باشد (هندریکس و سینقال[4]، ۲۰۰۵).

زنجیره‌های تأمین ناب و کارا بیشتر با اختلال مواجه می‌شوند. ارتباط معکوسی بین کارایی و ریسک وجود دارد. سازمان‌ها نمی‌توانند مدت زیادی فقط روی کاهش هزینه تمرکز کنند و سرمایه‌گذاران زنجیره تأمین باید توجه داشته باشند که چگونه این سرمایه‌ها و تغییرات، ریسک اختلالات زنجیره تأمین را تحت تأثیر قرار می‌دهند. سرمایه‌گذاران باید برای افزایش قابلیت اطمینان و پاسخگویی زنجیره تأمین متعهد شوند نه برای کاهش هزینه (هندریکس و سینقال، ۲۰۰۵).

امروزه شیوه‌های مدیریت تولید گذشته که یکپارچگی کمتری را در فرآیندهایشان دنبال می‌کردند کارایی خود را از دست داده‌اند و زنجیره تأمین به عنوان یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی، و مدیریت اختلالات و ریسک‌ها، توانایی پاسخگویی به شرایط را دارد. پیچیدگی کالاها و خدمات در دنیای امروز با وجود عدم قطعیت‌هایی که در صنایع و نحوه خدمات‌رسانی به مشتریان وجود دارد، بسیار کم اتفاق می‌افتد سازمان یا موسسه‌ای به تنهایی و بدون کمک گرفتن و همکاری با دیگر سازمان‌ها، بتواند محصولی را تولید یا خدمتی را ارائه کند. غالباً سازمان‌های متعددی، در تولید یک محصول یا ارائه خدمت نقش دارند، تهیه‌کنندگان مواد اولیه و تولیدکنندگان قطعات که خود نیز با تهیه‌کنندگان مواد اولیه مورد نیاز در ارتباط هستند، مواد اولیه و قطعات لازم را برای تولید یک محصول، به کمک کانال‌های توزیع، محصول خود را به دست مشتریان می‌رسانند، کلیه افراد و سازمان‌هایی که با همکاری یکدیگر محصولی را تولید و عرضه می‌کنند «حلقه‌های زنجیره تأمین» نامیده می‌شوند. بنابراین «زنجیره تأمین» به سازمان‌ها و افرادی که در تولید محصول یا ارائه خدمت با یکدیگر همکاری می‌نمایند و مشتریان و مصرف‌کنندگان آن محصول یا دریافت‌کنندگان آن خدمت اطلاق می‌شود. به عبارت دیگر، امروزه هیچ شرکتی نمی‌تواند از مدیریت زنجیره تأمین چشم پوشی کند و انتظار بقاء داشته باشد همچنین بسیاری از محققان بر این عقیده‌اند که واحد تجزیه و

1. Levy
2 .Leadtime
3. Wu
4. Hendricks & Singhal

تحلیل در رقابت از تک تک شرکت‌ها و سازمان‌ها به زنجیره‌های تأمین تغییر کرده است. هدف اصلی این مقاله افزایش اثربخشی طراحی زنجیره تأمین با کاهش اختلالات آن با استفاده از تکنولوژی‌های انقلاب صنعتی چهارم می‌باشد. بر این اساس از یک مدل ریاضی سه سطحی با هدف کاهش هزینه‌های کل زنجیره از طریق کاهش اختلالات که بصورت قیود در مدل ارائه شده‌اند، استفاده شد. پس از صحه‌گذاری مدل در ابعاد کوچک، به دلیل ماهیت NP-Hard بودن مساله، از از سه الگوریتم فرابتکاری بهینه‌سازی حدی (EO)، الگوریتم بهینه‌سازی شکارچیان دریایی (MPA) و الگوریتم ضرایب اینرسی هوشمند (SIF) جهت حل مدل استفاده شد. با توجه به مقایسه‌های انجام شده بین نتایج الگوریتم‌ها، مشخص شد که الگوریتم SIF نسبت به دو الگوریتم دیگر، عملکرد مناسبتری در کاهش هزینه‌های زنجیره داشته است. به طور خاص می‌توان اذعان نمود که الگوریتم SIF در حدود ۴.۹۱ درصد نسبت به الگوریتم MPA و ۶.۶۳۲ درصد نسبت به الگوریتم EO بهتر عمل کرده و توانسته مقدار هزینه زنجیره را به میزان بیشتری، کاهش دهد. اما نکته قابل تامل، مدت زمان حل مدل با استفاده از این الگوریتم هاست. بر اساس نتایج، مشخص شد که الگوریتم SIF نسبت به هر دو الگوریتم مدت زمان زیادی را صرف حل مدل نموده است. این بدان معناست که الگوریتم SIF فضای حل محاسباتی را با جزئیات بالاتر و دقیق‌تری ارزیابی نموده، درنتیجه زمان بیشتری صرف حل مدل می‌نماید. همچنین با توجه به آنالیز حساسیت صورت گرفته، مشخص گردید که افزایش استقرار مراکز توزیع بیشترین تاثیر را بر افزایش هزینه‌های کلی زنجیره دارد. بطور خاص، با دوبرابر شدن مراکز استقرار مراکز توزیع سطح دوم برای مشتریان خارجی، میزان افزایش هزینه‌های زنجیره برابر با ۱۷۹ درصد و دوبرابر شدن استقرار مراکز توزیع سطح اول برای مشتریان داخلی نیز سبب افزایش ۱۰۱ برابری هزینه‌های کل مدل شده است. همچنین نشان داده شد که تعداد تقاضا به خودی خود بروی هزینه‌های مدل تاثیر بالایی ندارد. چرا که مکان‌هایی که تعداد تقاضا در آن افزایش می‌یابد می‌تواند بر هزینه‌های مدل تاثیرگذار باشد. به عبارتی افزایش میزان تقاضا همراه با افزایش تعداد مشتریان داخلی و خارجی، سبب افزایش هرینه‌های کل زنجیره می‌گردد.

منابع

1. Aghamohamadi-Bosjin, S., Rabbani, M., & Manavizadeh, N. (2020). A hybrid metaheuristic algorithm for a data driven leagile sustainable closed-loop supply chain model under disruption risks. Scientia Iranica.
2. Ayvaz Lou, N., Alvandi, M., & Nasrollahi, M. (2019). Investigating the factors affecting the resilience of companies in conditions of supply chain disorders (Case Study: Manufacturing Companies of Alborz Industrial Town in Qazvin Province) [In Persian].
3. Babazadeh, H., Nemati, Y., & Daryaei, K. (2018). Presenting a stochastic planning approach to supply chain disorders in uncertainty. Fifth National Conference on Applied Research in Management and Accounting, Tehran [In Persian].
4. Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Managing risk to avoid supply-chain breakdown. (Fall, Ed.).
5. Evans, K. (2015). The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies by Eric Brynjolfsson and Andrew McAfee: New York, NY: WW Norton & Co., 2014, 306 pp., $26.95, ISBN 978-0-393-23935-5.
6. Fartaj, S. R., Kabir, G., Eghujovbo, V., Ali, S. M., & Paul, S. K. (2020). Modeling transportation disruptions in the supply chain of automotive parts manufacturing company. International Journal of Production Economics, 222, 107511.
7. Gaur, J., Amini, M., & Rao, A. K. (2020). The impact of supply chain disruption on the closed-loop supply chain configuration profit: a study of sourcing policies. International Journal of Production Research, 58(17), 5380-5400.
8. Hauer, L. M. (2003). Risk-adjusted supply chain management. SUPPLY CHAIN MANAGEMENT REVIEW, 7(6), 64-71.
9. Hendricks, K. B., & Singhal, V. R. (2005). Association between supply chain glitches and operating performance. Management Science, 51(5), 695-711.
10. Hosseini-Motlagh, S. M., Nami, N., & Farshadfar, Z. (2020). Collection disruption management and channel coordination in a socially concerned closed-loop supply chain: a game theory approach. Journal of Cleaner Production, 124173.

11. Khan, A. S., Pruncu, C. I., Khan, R., Naeem, K., Ghaffar, A., Ashraf, P., & Room, S. (2020). A trade-off analysis of economic and environmental aspects of a disruption based closed-loop supply chain network. Sustainability, 12(17), 7056.
12. Khosrojerdi, A., Hemmati, E., & Jabbarzadeh, A. (2015). Evaluation of suppliers using data envelopment analysis in closed chain supply chain network design under production disruption conditions (Case study: Hamadan Glass Industry). 12th International Conference on Industrial Engineering, Tehran [In Persian].
13. Koberg, E., & Longoni, A. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. Journal of Cleaner Production, 207, 1084-1098.
14. Kobor, H. P. (2019). Closed loop supply chain waste reduction through predictive modelling and process analysis (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
15. Li, G., Lin, Y., Wang, S., & Yan, H. (2007). Enhancing agility by timely sharing of supply information. Supply Chain Management.
16. Li, R. Y. M. (2018). Turning the tide in the construction industry: From traditional construction safety measures to an innovative automated approach. In An Economic Analysis on Automated Construction Safety (pp. 1-22). Springer, Singapore.
17. Liu, Y., Dehghani, E., Jabalameli, M. S., Diabat, A., & Lu, C. C. (2020). A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory–optimization model approach. Computers & Industrial Engineering, 142, 106326.
18. Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. Process Safety and Environmental Protection, 117, 168-179.
19. Moradi Masjedbari, A., & Makoei, A. (2018). Study of principles and strategies of supply chain resilience under disturbances. National Conference on Industrial Management and Engineering of Iran, Isfahan [In Persian].
20. Olivares-Aguila, J., & ElMaraghy, W. (2020). System dynamics modelling for supply chain disruptions. International Journal of Production Research, 1-19.
21. Peng, H., Shen, N., Liao, H., Xue, H., & Wang, Q. (2020). Uncertainty factors, methods, and solutions of closed-loop supply chain—A review for current situation and future prospects. Journal of Cleaner Production, 254, 120032.
22. Rice, J., & Caniato, F. (2003). Supply chain response to terrorism: creating resilient and secure supply chains. Interim report of progress and learning, supply chain response to terrorism project. MIT Center for Transportation and Logistics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
23. Rohrbeck, R., Battistella, C., & Huizingh, E. K. (2012, June). The road ahead for research on corporate foresight: Report on the corporate foresight track at the ISPIM Annual Conference 2012. ISPIM Conference.
24. Sadeghi, Z., & Boyer Hassani, O. (2009). Design and planning of supply chain network with resilient supply portfolio at risk of supply disruption. National Conference on Applied Research in Industrial Management and Engineering, Tehran, Rahnama Non-Profit Higher Education Institute [In Persian].
25. Schwab, K. (2017). Fourth industrial revolution, translated by Iraj Nabipour, Bushehr: Bushehr University of medical sciences publications [In Persian].
26. Sheffi, Y. (2001). Supply chain management under the threat of international terrorism. The International Journal of Logistics Management, 12(2), 1-11.
27. Tan, J., Braubach, L., Jander, K., Xu, R., & Chen, K. (2020). A novel multi-agent scheduling mechanism for adaptation of production plans in case of supply chain disruptions. AI Communications, (Preprint), 1-12.
28. Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. International Journal of Production Economics, 103(2), 451-488.
29. Tse, Y. K., Matthews, R. L., Tan, K. H., Sato, Y., & Pongpanich, C. (2016). Unlocking supply chain disruption risk within the Thai beverage industry. Industrial Management & Data Systems.
30. Wilson, M. C. (2007). The impact of transportation disruptions on supply chain performance. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 43(4), 295-320.
31. Yiu, N. S., Sze, N. N., & Chan, D. W. (2018). Implementation of safety management systems in Hong Kong construction industry–A safety practitioner's perspective. Journal of Safety Research, 64, 1-9.

32. Yousefi Sarmad, M., & Pishvaei, M. (2016). Tactical planning possibility model of stable drug supply chain under disturbance conditions with transverse transfer and consideration of corruption. 2nd International Conference on Industrial and Systems Engineering (ICISE 2016*)*, electronically, Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University [In Persian].
33. Zhang, L., Chen, H., Li, H., Wu, X., & Skibniewski, M. J. (2018). Perceiving interactions and dynamics of safety leadership in construction projects. Safety Science, 106, 66-78.