

E-Healthcare Improvement through the Design of a Cloud-Based Blood Supply Chain: A System Dynamics Approach

Saeed Abdolhossein Zadeh¹, Mostafa Zandieh² and Akbar Alam-Tabriz³

- 1 .PhD Student of Industrial Management, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: s_abdolhossein@sbu.ac.ir
- 2 .Corresponding Author, Professor of Industrial Management, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m_zandieh@sbu.ac.ir
3. Professor of Industrial Management, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a-tabriz@sbu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 19 August 2024 Received in revised form 6 March 2025 Accepted 4 August 2025 Published online 21 August 2025 Keywords: Blood supply chain; System dynamics; Cloud computing; Information sharing; Performance improvement.	In this paper, we adopt a system dynamics approach to examine the behavior of the blood supply chain (BSC), focusing on the key performance indicator “deviation from optimal stock coverage” and the key factors “donation utility,” “donation queue,” and “the number of established blood collection centers.” Tracking both positive and negative deviations from the ideal inventory level is crucial for minimizing blood wastage and shortages. To achieve our objectives, we first identify the key variables, construct a causal loop diagram, and validate the model’s structure. Next, we develop a stock-and-flow diagram, run simulations, and validate the model’s behavior. Finally, we propose adopting cloud computing to enhance information sharing within the BSC, thereby improving system performance. Our findings indicate that a cloud-based BSC outperforms the conventional model in terms of the evaluated criteria.

Cite this article: Abdolhossein Zadeh, S. & et al, (2025)., E-Healthcare Improvement through the Design of a Cloud-Based Blood Supply Chain: A System Dynamics Approach. *Enginiiring Management and Soft Computing*, 11 (1). 1-47. DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11210.1201>



© The Author(s)
DOI: 10.22091/jemsc.2025.11210.1201

Publisher: University of Qom

1) INTRODUCTION

Effective blood supply chain management (BSCM) is essential for ensuring a steady flow of blood and its components while optimizing key performance indicators (KPIs). A comprehensive literature review reveals that numerous studies have explored BSCM from various perspectives (e.g., Zahiri and Pishvae, 2017; Khalilpourazari et al., 2020; Hamdan and Diabat, 2019). However, a critical gap remains in the development and evaluation of novel policies to enhance inventory management within the blood supply chain (BSC) using the system dynamics (SD) approach. Given the inherent uncertainty in blood supply and demand, effective inventory management requires a careful balance between the two, necessitating real-time information sharing across the BSC.

This study highlights the importance of real-time information sharing for effective inventory management and proposes a cloud-based blood supply chain (CBSC)—the first of its kind in the literature—that leverages cloud computing (CC) for seamless real-time information sharing among BSC members. We apply SD modeling to analyze interrelationships within the BSC and comparatively evaluate the performance of conventional and cloud-based BSCs based on predefined KPIs. Figure 1, developed by the authors, provides a schematic representation of the CBSC.

Extensive research has explored the application of CC in healthcare (e.g., Idoga et al., 2019; Javaid et al., 2022), SD modeling in healthcare (e.g., Farid et al., 2020; Sy et al., 2020), and the integration of novel IT technologies in BSC (e.g., Kim et al., 2020; Sadri et al., 2021). The key contributions of this study include:

1. Identifying the key structural factors of the BSC that influence its performance
2. Conducting qualitative and quantitative analyses of the BSC structure using comprehensive causal loop diagrams (CLDs) and detailed stock-and-flow diagrams (SFDs)
3. Proposing the application of CC technology for real-time information sharing as a novel policy to enhance BSC performance
4. Conducting a comparative analysis of the CBSC and conventional BSC, focusing on predefined KPIs

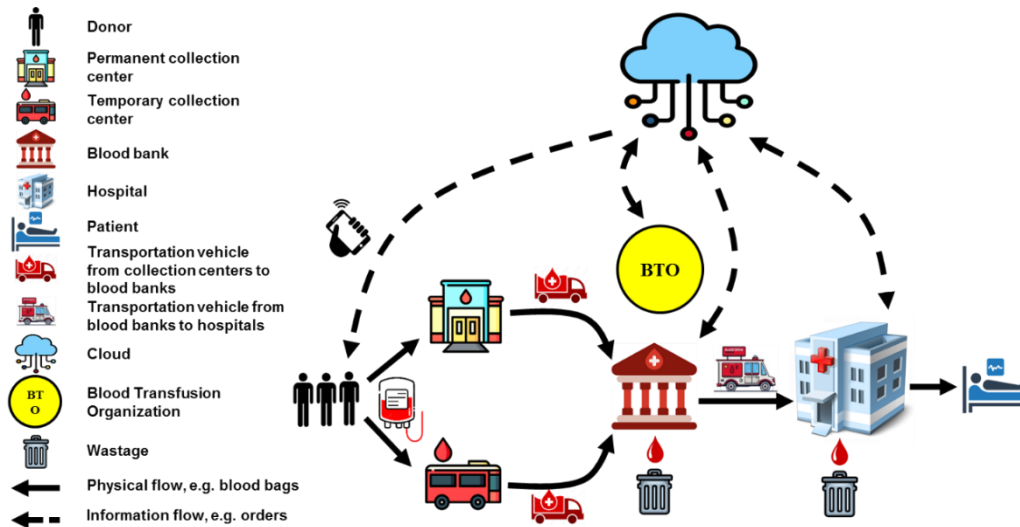


Figure 1. Schematic of a CBSC

2) Solution Method

This paper employs SD modeling to analyze the complex behaviors of BSC systems. Figure 2 presents the methodology flowchart used in this study. The model was developed and executed using VENSIM DSS 6.4E software.

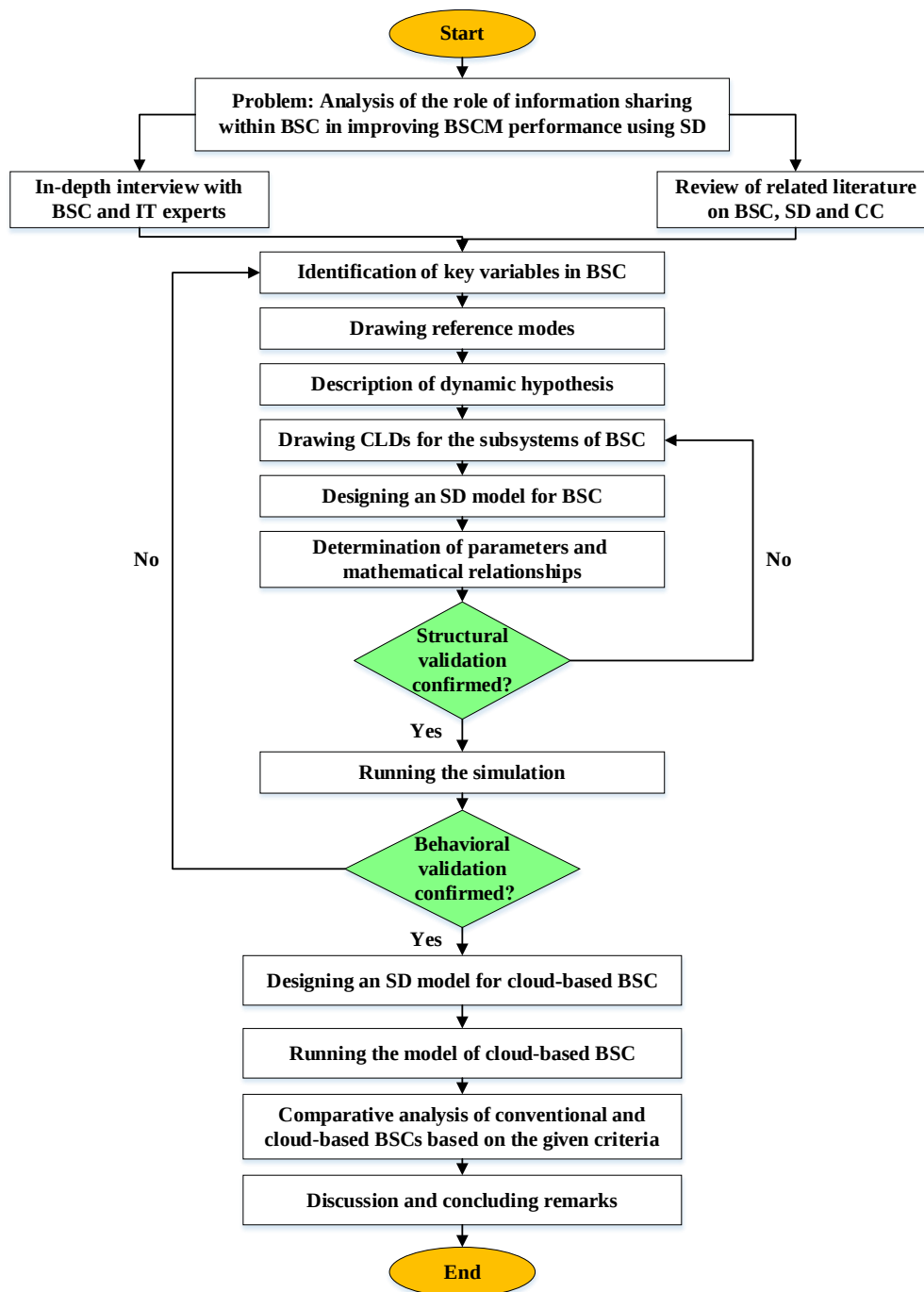


Figure 2. Flowchart of the research methodology

Results and discussion

Based on the obtained results, CBSC offers several advantages over conventional BSC, which can be summarized as follows:

1. **Real-time and global access to information** – Cloud-based IT services enable 24/7 access to real-time data from anywhere in the world through a smart device such as a computer or mobile phone. This allows donors to easily view their donation records anytime and enhances overall transparency in the system.
2. **Automated alert system for targeted donations** – The cloud-based system includes an automated alert mechanism that operates on real-time data. It notifies supply chain

members—including potential donors—when there is an increase in demand or a decrease in blood inventory levels. This ensures that donations align with actual demand, reducing shortages and wastage.

3. **Lower deviation from optimal inventory levels** – The CBSC maintains more stable inventory levels, reducing fluctuations and ensuring that blood availability remains closer to the optimal coverage range compared to the traditional system.
4. **Shorter donation queues** – The CBSC reduces wait times by improving coordination and balancing supply with demand. As a result, donation queues in CBSC are significantly shorter than in traditional BSC.
5. **Reduced need for extending blood collection capacity** – By optimizing donation rates and improving inventory management, the cloud network minimizes the need for expanding blood collection facilities. This leads to cost savings and better resource allocation.
6. **Enhanced donation utility** – The implementation of cloud-based systems improves donation desirability by making the process more convenient, transparent, and responsive to actual needs. This encourages more frequent and efficient donor participation.

3) Conclusion

By introducing cloud-based BSCM, this study bridges technology and healthcare to enhance BSCM efficiency. The findings demonstrate that cloud-based solutions can significantly improve e-healthcare performance, making CBSC an effective policy for modernizing BSCs worldwide.

REFERENCES

- Farid M., Purdy N., and Neumann W.P., Using system dynamics modelling to show the effect of nurse workload on nurses' health and quality of care. *Ergonomics* 63(8): 952-964 (2020), <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1690674>.
- Hamdan B., and Diabat A., A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. *Computers & Operations Research* 101: 130-143 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.09.001>.
- Idoga P. E., Toycan M., Nadiri H., and Çelebi E., Assessing factors militating against the acceptance and successful implementation of a cloud based health center from the healthcare professionals' perspective: a survey of hospitals in Benue state, northcentral Nigeria. *BMC Medical Informatics and Decision Making* 19: 1-18 (2019), <https://doi.org/10.1186/s12911-019-0751-x>.
- Javaid M., Haleem A., Singh R. P., Rab S., Suman R., and Khan I. H., Evolutionary trends in progressive cloud computing based healthcare: Ideas, enablers, and barriers. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering* 3: 124-135 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2022.06.001>.
- Khalilpourazari S., Soltanzadeh S., Weber G. W., and Roy S. K., Designing an efficient blood supply chain network in crisis: neural learning, optimization and case study. *Annals of Operations Research* 289: 123-152 (2020), <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03437-2>.
- Kim S., Kim J., and Kim D., Implementation of a blood cold chain system using blockchain technology. *Applied Sciences* 10(9): 3330 (2020), <https://doi.org/10.3390/app10093330>.
- Sadri S., Shahzad A., and Zhang K., Blockchain traceability in healthcare: Blood donation supply chain. In 2021 23rd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), IEEE: 119-126 (2021), <https://doi.org/10.23919/ICACT51234.2021.9370704>.
- Sy C., Bernardo E., Miguel A., San Juan J. L., Mayol A. P., Ching P. M., ... and Mutuc J. E., Policy development for pandemic response using system dynamics: a case study on COVID-19. *Process Integration and Optimization for Sustainability* 4: 497-501 (2020), <https://doi.org/10.1007/s41660-020-00130-x>.
- Zahiri B., and Pishvae M. S., Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty. *International Journal of Production Research* 55(7): 2013-2033 (2017), <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1262563>.

طراحی و تبیین مدل شبیه‌سازی زنجیره تامین خون در بستر شبکه ابری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم

سعید عبدالحسین زاده^۱ , مصطفی زندیه^۲  و اکبر عالم‌تبریز^۳ 

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: s_abdolhossein@sbu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m_zandieh@sbu.ac.ir

۳. استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a-tabriz@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰ کلیدواژه‌ها: اشتراک‌گذاری اطلاعات، بهبود عملکرد زنجیره تامین خون، پویایی‌شناسی سیستم، رایانش ابری.	در مقاله حاضر با بهره‌گیری از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم، به مطالعه رفتار زنجیره تامین خون از نقطه‌نظر شاخص کلیدی عملکرد تحت عنوان «انحراف از پوشش موجودی مطلوب» و متغیرهای کلیدی «مطلوبیت اهدا»، «صف اهدا» و «توسعه ظرفیت» می‌پردازیم. پایش انحرافات مثبت و منفی از سطح موجودی مطلوب خون کمک می‌کند تا میزان اتلاف و کمبود خون در زنجیره به حداقل برسد. در این راستا، ابتدا متغیرهای کلیدی را شناسایی کرده و ساختار زنجیره تامین خون را براساس این متغیرها و با کمک نمودارهای مناسب، اجرا و اعتبارسنجی می‌کنیم. سپس در راستای کشف راهکار و سیاستی که به بهبود رفتار سیستم از دیدگاه شاخص موردنظر کمک کند، سیاست بکارگیری رایانش ابری در زنجیره تامین خون را پیشنهاد می‌کنیم. هدف ما بررسی این موضوع است که آیا به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات در سراسر زنجیره تامین خون از طریق شبکه ابری، می‌تواند عملکرد زنجیره را بهبود بخشد یا خیر؟ نتایج این مقاله نشان می‌دهد که زنجیره تامین خون ابری از دیدگاه معیارهای مورد مطالعه، عملکرد بهتری نسبت به زنجیره تامین خون سنتی دارد.

استناد: عبدالحسین زاده، سعید و همکاران. (۱۴۰۴). «طراحی و تبیین مدل شبیه‌سازی زنجیره تامین خون در بستر شبکه ابری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم».

مدیریت مهندسی و رایانش نرم، دوره ۱۱ (۱)، صص: ۴۷-۱. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11210.1201>



© نویسنده گان.

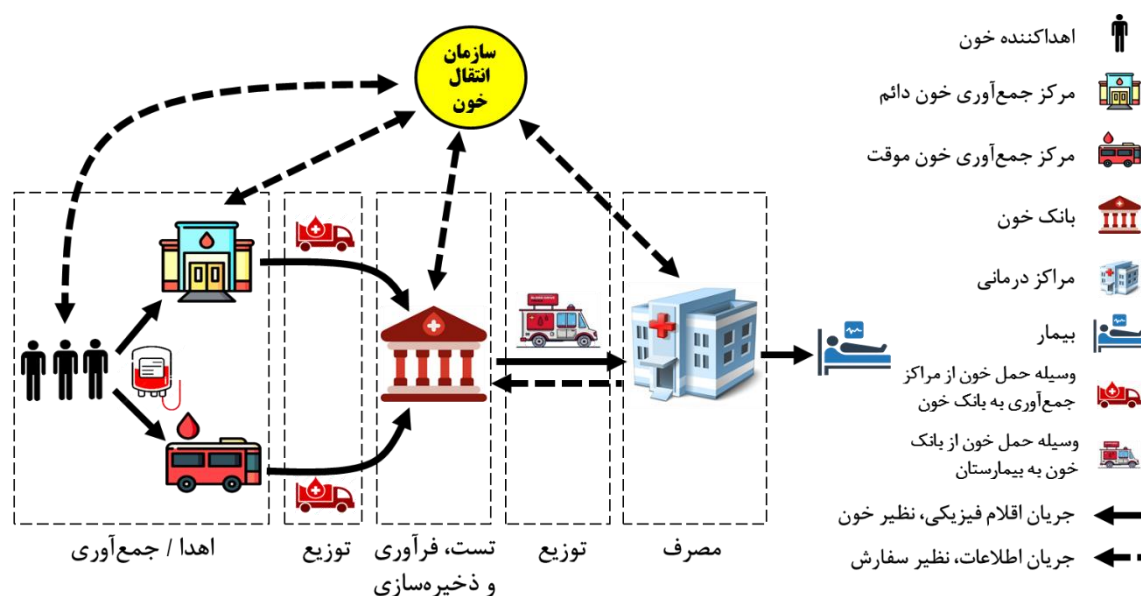
ناشر: دانشگاه قم

(۱) مقدمه

نظام سلامت به دلیل ارتباط مستقیمی که با جان انسانها دارد، یکی از مهمترین و چالش برانگیزترین زنجیره های تامین را داراست. از بین حوزه های متنوع مطالعات سلامت، زنجیره تامین خون از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

(۱-۱) زنجیره تامین خون

زنجیره تامین خون از چهار سطح تشکیل شده است: (۱) جمع آوری خون کامل از اهداکنندگان، (۲) انجام آزمایشات پزشکی به منظور تایید سلامت خون دریافت شده و فرآوری خون به منظور دستیابی به فرآورده های آن، (۳) ذخیره سازی و نگهداری از خون و (۴) فرآیند توزیع خون و فرآورده های خون به مراکز تقاضا به منظور استفاده برای بیماران نیازمند خون. نمودار ۱ به صورت شماتیک، زنجیره تامین خون را نشان می دهد.



نمودار ۱. شماتیک زنجیره تامین خون

یکی از مشخصه های مهم زنجیره تامین خون که آن را از زنجیره های تامین سایر محصولات با ویژگی فسادپذیری متمایز می کند، این است که در زنجیره تامین خون، بازپرسازی موجودی در مراکز خون کاملاً تحت کنترل تصمیم گیرندگان نیست بلکه به اقدام اهداکنندگان وابسته است. اهداکنندگانی که به مراکز جمع آوری خون مراجعه می کنند، به سه گروه تقسیم بندی می شوند که عبارتند از: اهداکنندگان بار اول^۱، اهداکنندگان با سابقه^۲ و اهداکنندگان مستمر^۳. مراکز جمع آوری خون غالباً به دو شکل می باشند که عبارتند از: مراکز ثابت و موقت. دو روش عمده برای جمع آوری خون وجود دارد که از فرایندها و تجهیزات مختلفی استفاده می کنند و از نظر هزینه و کارایی متفاوت هستند: (۱) خون کامل و (۲) آفرزیس.

^۱ First-time donors

^۲ Lapsed donors

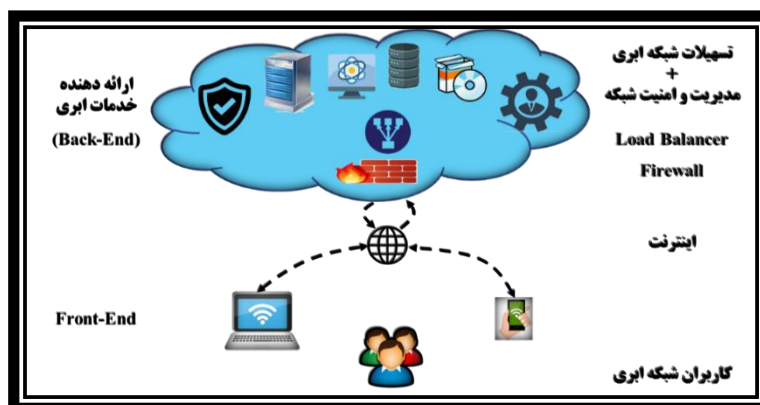
^۳ Regular donors

پس از انتقال واحدهای خون از مراکز جمع‌آوری به بانک‌های خون در طی مرحله آزمایش، نمونه خون اهداکننده از نظر ABO و گروه رزوس^۴ و همچنین ابتلا به بیماری‌های عفونی یا آنتی‌بادی‌های مشکل‌دار آزمایش می‌شود (کاتسالیکی و بریلسفورد^۵، ۲۰۰۷م). سلول‌های قرمز خون براساس وجود آنتی‌ژن‌ها در چهار گروه A، B، AB و O و براساس تقسیم‌بندی RH به گروه‌های RH مثبت و منفی طبقه‌بندی می‌شوند. اصلی‌ترین فرآورده‌های خونی عبارتند از: گلبول قرمز، پلاکت و پلاسما. چالش اصلی در رابطه با فرآورده‌های خون، فسادپذیری آنهاست.

از مسائل مهمی که در حوزه مدیریت زنجیره تامین خون مطرح می‌شود کمبود یا مازاد خون و فرآورده‌های آن در بیمارستان‌ها و بانک‌های خون است. کمبود یا اتلاف خون از عدم تعادل عرضه و تقاضا نشأت می‌گیرد. در اینجا پرسش مهم این است که طراحی یک زنجیره تامین خون چگونه باید باشد که در سراسر زنجیره بین عرضه و تقاضا، تعادل برقرار باشد؟ یک پاسخ پیشنهادی در ادبیات، استفاده از مفهوم به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات^۶ است. به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات می‌تواند عدم قطعیت در تقاضا و عرضه را کاهش دهد (فرگوسن و کتزنبگ^۷، ۲۰۰۶م). یکی از جدیدترین تکنولوژی‌هایی که به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات را تسهیل کرده‌است، رایانش ابری^۸ است که در ادامه معرفی می‌شود.

۱-۲) رایانش ابری

شناخته‌شده‌ترین تعریف رایانش ابری توسط انستیتوی ملی استاندارد و فناوری^۹ به شرح زیر ارائه شده‌است: "رایانش ابری مدلی است که امکان دسترسی شبکه‌ای آسان برحسب تقاضا به منابع محاسباتی اشتراک‌گذاشته‌شده (نظیر شبکه‌ها، سرورها، برنامه‌های ذخیره‌سازی و خدمات) که می‌توانند با حداقل تلاش مدیریتی یا تعامل با ارائه‌دهنده خدمات، به سرعت تهیه و منتشر شوند را فراهم می‌کند". منظور از ابر، مرکز خدمات محاسباتی و حافظه کامپیوتری است که توسط شرکت‌های حرفه‌ای در زمینه‌های کامپیوتر به‌عنوان شخص ثالث عملیات خدمت‌رسانی ارائه می‌شود. نمودار ۲ شماتیک، شبکه ابری را نشان می‌دهد.



نمودار ۲. شماتیک شبکه ابری

⁴ Rhesus

⁵ Katsaliaki and Brailsford

⁶ information sharing

⁷ Ferguson and Ketzenberg

⁸⁸ Cloud computing

⁹ National Institute of Standards and Technology

سیستم رایانش ابری را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: قسمت روی صحنه^{۱۰} و قسمت پشت پرده^{۱۱}. این دو بخش از طریق شبکه (معمولا اینترنت) با یکدیگر در ارتباط هستند. روی صحنه همان چیزی است که مشتری (کاربر) می‌بیند درحالی‌که قسمت پشت پرده، همان آبرسیستم است. روی صحنه شامل رایانه کاربر (یا هر وسیله هوشمند دیگر) و برنامه موردنیاز برای دسترسی به ابر است و در پشت پرده منابع رایانش ابری مانند: رایانه‌های مختلف، سرورها و فضای ذخیره اطلاعات قرار دارد. در رایانش ابری، مقیاس منابع می‌تواند به سرعت بالا و پایین شود تا نیازهای کاربر را برآورده کند بطوریکه این حس به انسان دست می‌دهد که منابع نامحدود در هر لحظه در اختیار است. میزان استفاده از منابع در فضای ابری قابل کنترل و اندازه‌گیری است و مشتری به همان اندازه‌ای که از خدمات استفاده کرده‌است، هزینه پرداخت می‌کند^{۱۲} مانند: استفاده از برق، آب و گاز.

انستیتوی ملی استاندارد و فناوری، خدمات ارائه‌شده توسط رایانش ابری را به سه دسته تقسیم می‌کند: (۱) زیرساخت به‌عنوان خدمت^{۱۳} (IaaS)، (۲) پلتفرم به‌عنوان خدمت^{۱۴} (PaaS) و (۳) نرم‌افزار به‌عنوان خدمت^{۱۵} (SaaS). همچنین تصمیم‌گیری درباره نوع ابر مورد استفاده پیش از استقرار رایانش ابری، اقدامی مهم محسوب می‌شود. تاکنون چهار مدل استقرار برای معماری ابر مشخص شده‌است که عبارتند از: ابر خصوصی^{۱۶}، ابر عمومی^{۱۷}، ابر انجمنی^{۱۸} و ابر ترکیبی^{۱۹}.

۳-۱ اهداف تحقیق

در حوزه مدیریت زنجیره تامین خون، کمبود و مازاد خون و فرآورده‌های آن، مسئله‌ای بسیار نامطلوب به حساب می‌آید زیرا از یک طرف کمبود خون، جان بیماران را به خطر می‌اندازد و از طرف دیگر مازاد آن به دلایل مختلف نظیر ماندگاری کوتاه و عدم قطعیت در تقاضا، اتلاف می‌شود. از این رو، مدیریت موجودی خون براساس شاخص‌های مناسب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا، مقاله حاضر شاخص «انحراف از پوشش موجودی مطلوب» را مورد توجه قرار داده‌است. همانطور که قبلا اشاره شد، در زنجیره تامین خون، کمبود یا مازاد خون از عدم تعادل عرضه و تقاضا نشأت می‌گیرد. از آنجایی‌که تقاضا برای خون و فرآورده‌های خونی آنچنان قابل کنترل نیست، تمرکز این مقاله بر روی مدیریت عرضه از نقطه مبدا (مرحله اهدای خون) است. به این صورت که میزان خون جمع‌آوری‌شده، نه آنقدر کم باشد که جان افراد به دلیل کمبود به خطر بیفتد، نه آنقدر زیاد باشد که اتلاف اتفاق بیفتد. لذا اهدای خون باید هدفمند باشد یعنی اهداکنندگان ضمن اطلاع از میزان اضطراب برای هر کدام از انواع گروه‌های خونی اقدام به اهدا کنند و در صورتیکه الزامی برای گروه خونی خاصی نیست، از اهدا آن خودداری کنند. ما در این مقاله، برای اجرا و بررسی این سیاست، زنجیره تامین خون بر بستر ابر را با کمک رویکرد پویایی‌شناسی سیستم طراحی می‌کنیم. زیربنای زنجیره تامین خون بر بستر ابر،

¹⁰ Front-end

¹¹ Back-end

¹² pay-per-use

¹³ Infrastructure as a Service

¹⁴ Platform as a Service

¹⁵ Software as a Service

¹⁶ Private cloud

¹⁷ Public cloud

¹⁸ Community cloud

¹⁹ Hybrid cloud

اشتراک‌گذاری اطلاعات است. در زنجیره تامین خون ابری، تمامی اعضای زنجیره به شبکه ابری متصل بوده و می‌توانند تمامی اطلاعات آنی مرتبط با خون شامل سطح موجودی، نرخ اهدا، نرخ تقاضا و غیره را در لحظه (بدون تاخیر) و به صورت شفاف از طریق شبکه ابری در اختیار داشته باشند. در نهایت اهداف اصلی این تحقیق را می‌توان در دو مورد زیر خلاصه کرد:

- (۱) شبیه‌سازی ساختار زنجیره تامین خون با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم.
- (۲) تحلیل سیاست بکارگیری رایانش ابری در زنجیره تامین خون در جهت بهبود عملکرد زنجیره از نقطه نظر شاخص «انحراف از پوشش موجودی مطلوب» و متغیرهای کلیدی «مطلوبیت اهدا»، «صف اهدا» و «توسعه ظرفیت».

(۲) پیشینه تحقیق

بخش قابل توجهی از محصولات که در سراسر جهان تولید و مصرف می‌شوند، از انواع کالاهای فاسدشدنی مانند: محصولات دارویی، غذایی، فرآورده‌های خونی و بسیاری از محصولات صنعتی هستند. از این رو، مدیریت زنجیره تامین کالاهای فسادپذیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل، مسائل مختلف مرتبط با مدیریت زنجیره تامین محصولات فسادپذیر مانند: برنامه‌ریزی تولید و مدیریت موجودی (دوانگ و دیگران^{۲۰}، ۲۰۲۰م؛ مورمو و دیگران^{۲۱}، ۲۰۲۳م؛ قاسم‌زاده و پاموکار^{۲۲}، ۲۰۲۳م؛ سیلبرمایر و ویتز^{۲۳}، ۲۰۲۴م)، مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص (محمدی و دیگران^{۲۴}، ۲۰۲۳م؛ فهمی و دیگران^{۲۵}، ۲۰۲۳م؛ گلستانی و دیگران^{۲۶}، ۲۰۲۱م؛ باتارا و دیگران^{۲۷}، ۲۰۲۲م) و حمل‌ونقل و توزیع (تیرکلانی و دیگران^{۲۸}، ۲۰۲۰م؛ عباس و دیگران^{۲۹}، ۲۰۲۳م؛ ژانگ و لی^{۳۰}، ۲۰۲۳م؛ جایگیدار و دیگران^{۳۱}، ۲۰۲۳م) همواره مورد توجه محققان این حوزه قرار گرفته است. به عنوان مثال: سوادکوهی و دیگران^{۳۲} (۲۰۱۸م) با بهره‌گیری از رویکرد برنامه‌ریزی فازی، یک مدل چنددوره‌ای جهت طراحی زنجیره تامین دارو ارائه دادند و در آن به مکان‌یابی مراکز توزیع دارو، جریان محصولات میان سطوح مختلف و تعیین سیاست‌های موجودی در یک زنجیره تامین سه‌سطحی پرداختند. یاوری و ذاکر^{۳۳} (۲۰۱۹م)، طراحی زنجیره تامین سبز برای کالاهای فاسدشدنی با در نظر گرفتن ریسک اختلال در شبکه برق را مورد مطالعه قرار دادند. یاوری و گرائیلی^{۳۴} (۲۰۱۹م) به طراحی یک زنجیره تامین حلقه بسته برای محصولات فسادپذیر در صنایع لبنی با عدم قطعیت تقاضا پرداختند. آنها در تحقیق خود، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط

²⁰ Duong et al.

²¹ Murmu et al.

²² Ghasemzadeh and Pamucar

²³ Silbermayr and Waitz

²⁴ Mohammadi et al.

²⁵ Fahmy et al.

²⁶ Golestani et al.

²⁷ Battarra et al.

²⁸ Tirkolaee et al.

²⁹ Abbas et al.

³⁰ Zhang and Li

³¹ Jaigirdar et al.

³² Savadkoobi et al.

³³ Yavari and Zaker

³⁴ Yavari and Geraeli

برای حداقل سازی هزینه‌های زیست‌محیطی و آلاینده‌ها و یک مدل استوار برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مقابله با عدم قطعیت مسئله ارائه کردند. کریشنان و دیگران^{۳۵} (۲۰۲۲م) به ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار چندهدفه برای طراحی زنجیره تامین مواد غذایی با در نظر گرفتن هر سه پارامتر مفهوم پایداری (جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی)، فسادپذیری مواد غذایی، ارزش گذاری ضایعات غذایی و عدم قطعیت عرضه پرداختند. هاشمی امیری و دیگران^{۳۶} (۲۰۲۳م) به مطالعه زنجیره تامین محصولات فسادپذیر در دوره کرونا پرداختند. آنها در مطالعه خود، یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه برای فرمول بندی مسئله یکپارچه انتخاب تامین کننده، برنامه‌ریزی تولید و مسیریابی خودرو در یک شبکه زنجیره تامین مواد غذایی سه سطحی چندمحصولی ارائه دادند. هدف مدل، کاهش ریسک عدم قطعیت تقاضا و عرضه و نیز تقویت تصمیمات مرتبط با توزیع از طریق بهینه‌سازی همزمان هزینه‌های کل شبکه و قابلیت اطمینان تامین کنندگان بود.

زنجیره تامین خون که یک زیرمجموعه مهم از زنجیره تامین محصولات فاسدشدنی به شمار می‌رود، از دهه ۱۹۸۰ میلادی بطور ویژه مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. کندال و لی^{۳۷} (۱۹۸۰م) با توسعه یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی، اهداف چندگانه سطوح موجودی، در دسترس بودن خون تازه، کاهش میزان خون فاسدشده و هزینه‌های جمع‌آوری را بررسی کردند. ناهمیا^{۳۸} (۱۹۸۲م) مدلی در رابطه با مدیریت موجودی فرآورده‌های خونی ارائه داد. به تدریج مطالعات در حوزه مدیریت زنجیره تامین خون گسترش یافت. برخی از محققان به مرور ادبیات مرتبط با حوزه زنجیره تامین خون پرداخته‌اند. به عنوان مثال: بلین و فورس^{۳۹} (۲۰۱۲م) مروری بر پژوهش‌های مرتبط با کنترل موجودی و مدیریت زنجیره تامین فرآورده‌های خونی کردند. اوسوریو و دیگران^{۴۰} (۲۰۱۵م) یک مرور ساختاری از مقالات مربوط به مدل‌سازی کمی در رابطه با زنجیره تامین فرآورده‌های خونی ارائه دادند. آنها در مقاله خود، مدل‌ها را به پنج دسته تقسیم کردند: چهار دسته اول، نمایانگر چهار مرحله (سطح) شامل جمع‌آوری، فرآوری و تولید، نگهداری و انتقال در زنجیره تامین است. دسته نهایی شامل مدل‌های یکپارچه است که بیش از یک مرحله را پوشش می‌دهد. منصور و دیگران^{۴۱} (۲۰۱۸م) تحقیقات مختلف مرتبط با مدیریت زنجیره تامین خون را بررسی کرده و فرصت‌های توسعه تحقیقات بیشتر در این زمینه را برجسته کردند. برنامه‌ریزی تولید و مدیریت موجودی در زنجیره تامین خون، یک کار چالش برانگیز است که دلیل اصلی آن ماهیت غیرقطعی تقاضا برای واحدهای خون، فسادپذیری خون و اهمیت زیاد به حداقل رساندن معیارهایی غیر از هزینه است. مطالعات متعددی در حوزه مدیریت موجودی در زنجیره تامین خون به انجام رسیده است. به عنوان مثال: اوسوریو و دیگران (۲۰۱۷م) در مقاله خود، یک مدل یکپارچه شبیه‌سازی-بهینه‌سازی برای پشتیبانی از تصمیمات استراتژیک و عملیاتی در برنامه‌ریزی تولید ارائه دادند. آنها از شبیه‌سازی گسسته رویداد^{۴۲} برای نشان دادن جریانها در طول زنجیره تامین شامل جمع‌آوری، تولید، نگهداری و توزیع استفاده کردند. حسینی فرد و عباسی^{۴۳} (۲۰۱۸م) اهمیت تمرکزگرایی موجودی در

³⁵ Krishnan et al.

³⁶ Hashemi-Amiri et al.

³⁷ Kendall and Lee

³⁸ Nahmias

³⁹ Beliën and Forcé

⁴⁰ Osorio et al.

⁴¹ Mansur et al.

⁴² Discrete-event simulation

⁴³ Hosseinifard and Abbasi

سطح دوم زنجیره تامین دوسطحی خون را مطالعه کردند. در ساختار پیشنهادی آنها، برخی از بیمارستان‌های نزدیک به هم، از موجودی متمرکز برای تامین تقاضاهای خود، علاوه بر تقاضای سایر بیمارستان‌های مجاور استفاده می‌کنند. حمدان و دیابات^{۴۴} (۲۰۱۹م) یک مدل ریاضی تصادفی دومرحله‌ای برای گلبول‌های قرمز ارائه دادند که تصمیمات مربوط به تولید، موجودی و مکان‌یابی را دربر می‌گیرد. این مدل سه‌هدفی سعی دارد تعداد هدررفت‌ها، هزینه‌های سیستم و زمان تحویل خون را به حداقل برساند. حسینی‌مطلق و دیگران^{۴۵} (۲۰۲۰م) یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای دوهدفه برای مدیریت زنجیره تامین گلبول قرمز ارائه کردند که تصمیمات بهینه برای تخصیص-مکان‌یابی و مدیریت موجودی را تعیین می‌کند. تابع هدف آن به حداقل رساندن کل هزینه‌های زنجیره تامین شامل هزینه‌های ثابت، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های هدررفت، هزینه‌های حمل‌ونقل و همچنین به حداقل رساندن سطح جایگزینی به‌منظور ارائه ایمن‌تر خدمات انتقال خون است.

تاکنون در ادبیات موضوعی، مقالات متعددی زنجیره تامین خون را با در نظر گرفتن مسئله اختلال^{۴۶} مورد مطالعه قرار داده‌اند. حفظ سلامت افراد در حین و بعد از یک فاجعه^{۴۷} یکی از مهمترین موارد در مدیریت بلایا است. فرآورده‌های خونی از جمله موارد حیاتی برای نجات جان انسان است و کمبود آن ممکن است منجر به خسارات جبران‌ناپذیری در سلامت انسان شود. فهیم‌نیا و دیگران^{۴۸} (۲۰۱۷م) یک مدل طراحی زنجیره تامین دوهدفه تصادفی برای تامین کارا (با حداقل هزینه) و اثربخش (با حداقل زمان تحویل) خون در شرایط مواجهه با بلایا ارائه دادند. همچنین یک رویکرد ترکیبی شامل روش‌های محدودیت پس‌یلون^{۴۹} و آزادسازی لاگرانژ^{۵۰}، برای حل مدل پیشنهادی توسعه داده شد. حبیبی کوچکسرائی^{۵۱} و دیگران (۲۰۱۸م) یک مدل بهینه‌سازی استوار برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین خون چندهدفه چنددوره‌ای در شرایط فاجعه در سه مرحله تامین، فرآوری و توزیع ارائه دادند. هدف از مدل پیشنهادی، تعیین کمیت و مکان تسهیلات و بهترین استراتژی برای تخصیص آنها تحت سه سناریو مختلف است درحالی‌که مجموع هزینه‌ها و کمبود خون به حداقل برسد. خلیل‌پور آذری و دیگران^{۵۲} (۲۰۲۰م) برای اولین بار، تجسم کردند که هلیکوپترها می‌توانند خون را از بیمارستان‌های منطقه‌ای به بیمارستان‌های محلی منتقل کنند و معجروحانی که به دلیل ظرفیت محدود بیمارستان‌های محلی قابل درمان نیستند را به بیمارستان‌های منطقه‌ای برسانند. حسینی و دیگران^{۵۳} (۲۰۲۳م) مسئله طراحی شبکه تامین خون در شرایط بلایا را با در نظر گرفتن چهار تابع هدف حداقل‌سازی هزینه‌ها، حداقل‌سازی زمان حمل، حداقل‌سازی تقاضای برآورده‌نشده و حداکثرسازی قابلیت اطمینان، مدل‌سازی کرده و آن را با کمک الگوریتم NSGA-II حل کردند.

در ادامه ادبیات مربوط به زنجیره تامین خون را در جدول ۱، ادبیات مربوط به کاربرد رایانش ابری در نظام سلامت را در

⁴⁴ Hamdan and Diabat

⁴⁵ Hosseini- Motlagh et al.

⁴⁶ Disruption

⁴⁷ Disaster

⁴⁸ Fahimnia et al.

⁴⁹ e-constraint

⁵⁰ Lagrangian relaxation

⁵¹ Habibi-Kouchaksaraei et al.

⁵² Khalilpourazari et al.

⁵³ Hosseini et al.

جدول ۲ و ادبیات مربوط به کاربرد پویایی‌شناسی سیستم در نظام سلامت را در جدول ۳ مرور می‌کنیم. سپس در جدول ۴ بررسی می‌کنیم که در ادبیات، از چه رویکردهایی برای ارزیابی تاثیر فناوری‌های مختلف بر عملکرد زنجیره‌های تامین استفاده شده‌است و هر کدام از این روش‌ها چه مزایا و معایبی دارند. در انتهای جدول ۴ اطلاعات مرتبط با این مقاله ارائه شده‌است.

جدول ۱. مروری بر ادبیات مربوط به زنجیره تامین خون

نویسنده (سال)	خلاصه مقاله	وضعیت دوره		عدم قطعیت	هدف اصلی تحقیق	روش حل	نوع داده‌ها	
		تک دوره	چند دوره				مطالعه	داده
دوان و لیاو ^{۵۴} (۲۰۱۴م)	یک چارچوب شبیه‌سازی-بهینه‌سازی جدید برای مدیریت موجودی زنجیره تامین خون با در نظر گرفتن سازگاری گروه خونی ABO ارائه دادند.	✓	✓	احتمالی	حداقل سازی نرخ مورد انتظار اتلاف	شبیه‌سازی-بهینه‌سازی	✓	✓
اسکندری و خانقاهی و دیگران ^{۵۵} (۲۰۱۸م)	یک مدل بهینه‌سازی امکانی برای زنجیره تامین خون پایدار چنددوره‌ای و چندهدفه تحت شرایط عدم قطعیت در حین و بعد از بحران ارائه دادند.	✓	✓	فازی	حداقل سازی هزینه‌ها و اثرات محیطی	محدودیت اپسیلون و شبیه‌سازی تیرید	✓	✓
حیدری فتحیان و پسندیده ^{۵۶} (۲۰۱۸م)	مفهوم بایلداری را در طراحی شبکه زنجیره تامین خون در نظر گرفتند و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه ارائه دادند.	✓	✓	استوار	کمینه کردن هزینه‌ها و اثرات زیست محیطی	بهینه‌سازی استوار و آزادسازی لاگراتژ	✓	✓
قاسمی و دیگران ^{۵۷} (۲۰۲۲م)	یک مدل ریاضی چندسطحی برای مدیریت زنجیره تامین خون در شرایط اختلال توسعه دادند.	✓	✓	استوار	حداقل سازی هزینه‌ها و حداکثر سازی رضایت بیماران	بهینه‌سازی استوار	✓	✓
تیر کلائی و دیگران ^{۵۸} (۲۰۲۳م)	یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط برای طراحی شبکه تامین خون در شرایط همه‌گیری کرونا و عدم قطعیت در تقاضا، ظرفیت‌ها و نرخ‌های دورریز ارائه دادند.	✓	✓	فازی	حداقل سازی هزینه‌ها و حداکثر سازی فرصت‌های شغلی	برنامه‌نویسی امکانی تعاملی ^{۵۹}	ایران (تهران)	✓
بن المیر ^{۶۰} (۲۰۲۳م)	یک رویکرد بر بستر پلتفرم هوشمند توسعه دادند که با کمک مدل‌های پیش‌بینی منجر به مدیریت موجودی کارآمد در جهت دستیابی به توازن عرضه و تقاضای خون می‌شود.	✓	✓	احتمالی	توازن عرضه و تقاضای خون	بادگیری ماشینی و پیش‌بینی سری زمانی	الجزایر	✓

⁵⁴ Duan and Liao

⁵⁵ Eskandari-Khanghahi et al.

⁵⁶ Heidari-Fathian and Pasandideh

⁵⁷ Ghasemi et al.

⁵⁸ Tirkolaee et al.

⁵⁹ Interactive possibilistic programming

⁶⁰ Ben Elmir, W., Hemmak, A., and Senouci

جدول ۲. مروری بر ادبیات مربوط به کاربرد رایانش ابری در نظام سلامت

نویسنده (سال)	خلاصه مقاله	هدف اصلی تحقیق	روش حل	مطالعه موردی
کاتور و چانا ^{۶۱} (۲۰۱۴م)	در یک مطالعه موردی، خدمات مراقبت‌های بهداشتی هوشمند بر بستر ابر را طراحی کردند که مانیتورینگ لحظه‌ای داده‌های سلامت کاربران را برای تشخیص بیماری‌های مزمن مانند دیابت انجام می‌دهد.	طبقه‌بندی	Amazon EC2- K-NN and Naïve Bayes classifier	هند
ایدوگا و دیگران ^{۶۲} (۲۰۱۹م)	تلاش کردند عواملی را بررسی، شناسایی و ارزیابی کنند که منجر می‌شوند متخصصان مراقبت‌های بهداشتی برای پذیرش مراکز بهداشت بر بستر ابر در کشورهای در حال توسعه رای مثبت دهند.	آنالیز هزینه-منفعت	پرسشنامه و آنالیز داده	نیجریه
گائو و سونیاف ^{۶۳} (۲۰۱۹م)	عوامل تعیین‌کننده در تصمیم به اتخاذ رایانش ابری در سازمان‌های بهداشتی را بررسی کرده و چارچوب مفهومی از مطالعات انجام‌شده بر روی موضوع پذیرش رایانش ابری در مراقبت‌های بهداشتی را پیشنهاد داده و توصیه‌هایی برای تحقیقات آینده ارائه دادند.	حداکثرسازی پذیرش	طراحی مدل مفهومی	-
چانگ و دیگران ^{۶۴} (۲۰۲۱م)	ارتباط عوامل تاثیرگذار بر پذیرش نظام سلامت الکترونیک بر بستر رایانش ابری را مورد بحث و بررسی قرار دادند.	ارزیابی عملکرد	ANP, DEMATEL و VIKOR	تایوان
کرسول و دیگران ^{۶۵} (۲۰۲۲م)	به شناسایی فرصت‌ها، چالش‌ها و موانع پیش روی استفاده از رایانش ابری در نظام سلامت پرداختند و راه‌حلی برای مقابله با ریسک‌های احتمالی پیشنهاد دادند.	حداقل‌سازی ریسک و حداکثرسازی بازگشت سرمایه	پرسشنامه و آنالیز داده	انگلیس
جواید و دیگران ^{۶۶} (۲۰۲۲م)	به بررسی کاربردهای مختلف رایانش ابری در نظام سلامت و نیز شناسایی فرصت‌ها، چالش‌ها، منافع و موانع پیش روی استفاده از رایانش ابری در نظام سلامت پرداختند.	حداکثرسازی پذیرش	طراحی مدل مفهومی	-

جدول ۳. مروری بر ادبیات مربوط به کاربرد پویایی‌شناسی سیستم در نظام سلامت

نویسنده (سال)	خلاصه مقاله	عامل‌های کلیدی اثرگذار	داده
ژرمن و دیگران ^{۶۷} (۲۰۱۸م)	مسئله دسترسی به خدمات درمانی و کمبود تخت‌های بیمارستانی را مدل‌سازی کردند. نتایج آنها حاکی از این بود که نسبت تعداد تخت‌ها در ۱۰ سال آتی، با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی تطابق خواهد داشت.	تعداد پرسنل کادر درمان، جمعیت، منابع مالی	فیلیپین
لینکس و دیگران ^{۶۸} (۲۰۱۸م)	یک مدل پویایی‌شناسی جهت پیش‌بینی عملکرد جامعه در حین و پس از بلایا از دیدگاه تاب‌آوری ارائه دادند.	عدالت و محرومیت و آسیب‌پذیری جامعه، مشخصه‌های بلا، نحوه مدیریت بحران، اقدامات اجتماعی	آمریکا
سی و دیگران ^{۶۹} (۲۰۲۰م)	با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم، سیاست‌هایی را برای مقابله با گسترش بیماری کووید-۱۹ پیشنهاد داده و اثرات اقتصادی آن بر جامعه را مورد بحث و بررسی قرار دادند.	اثربخشی عملکرد بیمارستان‌ها، ظرفیت بیمارستان‌ها، فشار اقتصادی، ریسک رفتاری افراد، اثربخشی قرنطینه	تصادفی

⁶¹ Kaur and Chana⁶² Idoga et al.⁶³ Gao and Sunyaev⁶⁴ Chang et al.⁶⁵ Cresswell et al.⁶⁶ Javaid et al.⁶⁷ German et al.⁶⁸ Links et al.⁶⁹ Sy et al.

نویسنده (سال)	خلاصه مقاله	عوامل کلیدی اثر گذار	داده
فرید و دیگران ^{۷۰} (۲۰۲۰م)	به مطالعه میزان تاثیر فشار کاری پرستاران بر روی میزان فرسودگی ناشی از خستگی آنها، غیبت مداوم و کیفیت خدمات ارائه شده توسط آنها پرداختند. نتایج آنها حاکی از اثر گذاری مثبت عوامل بود. در نهایت سیاست‌هایی را برای بهبود وضعیت کاری پرستاران پیشنهاد دادند.	شیفت‌های بلند کاری، زمان ریکاوری، کمبود پرسنل، شدت بیماری بیماران، بودجه	تصادفی
امین الله و عثمان ^{۷۱} (۲۰۲۱م)	موضوع ظهور فناوری‌های نوین سلامت و نقش آن در نظام سلامت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که ظهور فناوری‌های نوین سلامت، آمادگی سیستم سلامت در دوره کووید-۱۹ را قدرت بخشیده است و امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف نظام سلامت را فراهم کرده است.	میزان تماس مردم، سرعت انتقال بیماری، جابجایی‌های مردم	اندونزی
دورال سلجوک و واسیلاکیس ^{۷۲} (۲۰۲۳م)	یک مدل پویایی‌شناسی سیستم توسعه دادند که ساختار جمعیتی در حال تغییر را در نظر می‌گیرد تا به ارزیابی سیستماتیک پایداری تحولات پیشنهادی در نحوه سازماندهی و ارائه خدمات مراقبتی و سلامتی کمک کند.	جمعیت، تخت‌های اشغال شده، ظرفیت تخت‌ها، تقاضا، مدت زمان بستری	تصادفی
منصور و دیگران ^{۷۳} (۲۰۲۴م)	با ادغام روش پویایی‌شناسی سیستم و روش نگاشت جریان ارزش ^{۷۴} (VSM) به بهینه‌سازی زنجیره تامین اهدای خون از طریق کاربرد اصول خدمات ناب در حذف ضایعات در بانک‌های خون و صلیب سرخ اندونزی پرداختند. بطور خاص، این تحقیق با هدف به حداقل رساندن ضایعات کیسه خون، کمبود و زمان انتظار طولانی انجام گرفت.	نرخ عرضه، نرخ تقاضا، لیدتایم، سطح موجودی	اندونزی

جدول ۴. مروری بر رویکردهای استفاده‌شده برای بررسی اثر گذاری استفاده از فناوری‌ها بر عملکرد زنجیره‌های تامین

نویسندگان (سال)	فناوری مورد مطالعه	زنجیره تامین مورد مطالعه	روش ارزیابی اثر گذاری	مزایای روش مورد استفاده	معایب روش مورد استفاده
استراتیری و دیگران ^{۷۵} (۲۰۲۱م)	بلاکچین	زنجیره تامین غذایی	مصاحبه با کارشناسان و تکنیک تحلیل مضمون ^{۷۶}	آسان بودن اجرای روش، استفاده مستقیم از نظرات متخصصان، حجم زیاد داده‌های در دسترس	عدم توجه به ساختار زنجیره، امکان انحراف در داده‌ها بخاطر جهت گیری ذهنی پاسخ‌دهندگان، خروجی کم جهت تحلیل
وامبا و دیگران ^{۷۷} (۲۰۲۰م)؛ هالد و کینرا ^{۷۸} (۲۰۱۹م)؛ پاول و دیگران ^{۷۹} (۲۰۲۱م)	بلاکچین	زنجیره‌های تامین به صورت کلی	فرضیه سازی و مدل معادلات ساختاری ^{۸۰} (SEM)	آسان بودن اجرای روش، امکان استفاده از نظرات مستقیم کارشناسان، حجم زیاد داده‌های در دسترس	نیاز به انجام پیش پردازش‌های فراوان بر روی داده‌ها، عدم توجه به ساختار زنجیره، امکان انحراف در داده‌ها بخاطر جهت گیری ذهنی پاسخ‌دهندگان، خروجی کم جهت تحلیل
بداک و چوبان ^{۸۱} (۲۰۲۱م)	بلاکچین	زنجیره‌های تامین به صورت کلی	نگاشت شناختی فاز ^{۸۲} (FCMs)	بررسی روابط علی بین عوامل، استفاده از نظرات مستقیم کارشناسان، امکان لحاظ کردن عدم قطعیت با استفاده از مفهوم فاز ^{۸۳} ، امکان لحاظ کردن بازخورد	پیچیدگی انتخاب فاکتور وزن ^{۸۴} در عین تاثیر گذار بودن آن بر روی نتایج نهایی، وابستگی بسیار زیاد به نظر کارشناسان، پیچیدگی تحلیل نتایج در برخی از موارد

⁷⁰ Farid et al.⁷¹ Aminullah and Erman⁷² Dural Selcuk and Vasilakis⁷³ Mansur et al.⁷⁴ value stream mapping⁷⁵ Stranieri et al.⁷⁶ thematic analysis⁷⁷ Wamba et al.⁷⁸ Hald and Kinra⁷⁹ Paul et al.⁸⁰ Structural equation modelling⁸¹ Budak and Çoban⁸² Fuzzy Cognitive Maps⁸³ Weighting factor

نویسندگان (سال)	فناوری مورد مطالعه	زنجیره تامین مورد مطالعه	روش ارزیابی اثرگذاری	مزایای روش مورد استفاده	معایب روش مورد استفاده
لگنوره و دیگران ^{۸۴} (۲۰۲۰م)؛ مصحت و دیگران ^{۸۵} (۲۰۲۴م)	اینترنت اشیا	زنجیره‌های تامین به صورت کلی	تکمیل پرسشنامه و مصاحبه با کارشناسان، مدل معادلات ساختاری	آسان بودن اجرای روش، استفاده مستقیم از نظرات متخصصان، حجم زیاد داده‌های در دسترس	عدم توجه به ساختار زنجیره، امکان انحراف در داده‌ها بخاطر جهت‌گیری ذهنی پاسخ‌دهندگان، خروجی کم جهت تحلیل
گاج و دیگران (۲۰۲۰م)	صنعت ۴.۰	زنجیره‌های تامین به صورت کلی	پویایی‌شناسی سیستم	امکان بررسی روابط علت-معلولی میان متغیرها، امکان تحلیل پویایی سیستم، امکان اجرای سناریوهای مختلف، امکان اجرای سیاست‌های بهبود مختلف، امکان اجرای تحلیل حساسیت	عدم امکان مطالعه رفتار خاص عامل‌ها (نهاده‌ها)، پیچیدگی لحاظ کردن جزئیات، عدم لحاظ کردن مفهوم صف، دشواری مدل‌سازی در برخی از موارد
اسلامی و دیگران ^{۸۶} (۲۰۲۴م)	فناوری‌های دیجیتال صنعت ۴.۰	زنجیره‌های تامین به صورت کلی	فرضیه‌سازی و مدل معادلات ساختاری	آسان بودن اجرای روش، امکان استفاده از نظرات مستقیم کارشناسان، حجم زیاد داده‌های در دسترس	نیاز به انجام پیش‌پردازش‌های فراوان بر روی داده‌ها، عدم توجه به ساختار زنجیره، امکان انحراف در داده‌ها به‌خاطر جهت‌گیری ذهنی پاسخ‌دهندگان، خروجی کم جهت تحلیل
سهن و دیگران ^{۸۷} (۲۰۱۷م)	ترکیب رابانش ابری و RFID	زنجیره تامین لوازم ساختمانی	شبیه‌سازی گسسته رویداد ^{۸۸}	امکان شبیه‌سازی صف در مدل، امکان نمایش پویایی سیستم در گذر زمان، امکان اجرای سناریوهای مختلف	عدم امکان لحاظ کردن روابط علت و معلولی بین عناصر، عدم امکان مطالعه رفتار خاص عامل‌ها (نهاده‌ها)
رشید و دیگران ^{۸۹} (۲۰۲۴م)	ترکیب رابانش ابری و هوش مصنوعی	زنجیره‌های تامین به صورت کلی	تکمیل پرسشنامه و مدل معادلات ساختاری	آسان بودن اجرای روش، امکان استفاده از نظرات مستقیم کارشناسان، حجم زیاد داده‌های در دسترس	نیاز به انجام پیش‌پردازش‌های فراوان بر روی داده‌ها، عدم توجه به ساختار زنجیره، امکان انحراف در داده‌ها بخاطر جهت‌گیری ذهنی پاسخ‌دهندگان
شیرزاد طلاطپه و لکزاد ^{۹۰} (۲۰۲۰م)؛ دامتو و دیگران ^{۹۱} (۲۰۲۱م)؛ لو و دیگران ^{۹۲} (۲۰۲۲م)	رابانش ابری	زنجیره‌های تامین به صورت کلی	فرضیه‌سازی، آزمون همبستگی و رگرسیون	آسان بودن اجرای روش	عدم توجه به ساختار زنجیره و روابط فیما بین عوامل، خروجی کم جهت تحلیل
مقاله حاضر	رابانش ابری	زنجیره تامین خون	پویایی‌شناسی سیستم	امکان بررسی روابط علت-معلولی میان متغیرها، امکان تحلیل پویایی سیستم، امکان اجرای سناریوهای مختلف، امکان لحاظ کردن تأخیرها در مدل، امکان اجرای سیاست‌های بهبود مختلف، امکان اجرای تحلیل حساسیت	عدم امکان مطالعه رفتار خاص عامل‌ها (نهاده‌ها)، پیچیدگی لحاظ کردن جزئیات، عدم لحاظ کردن مفهوم صف، دشواری مدل‌سازی در برخی از موارد

⁸⁴ Legenvre et al.⁸⁵ Mashat et al.⁸⁶ Eslami et al.⁸⁷ Sahin et al.⁸⁸ discrete event simulation⁸⁹ Rashid et al.⁹⁰ Shirzad Talatappeh and Lakzi⁹¹ Dامتew et al.⁹² Lu et al.

۲-۱) تبیین شکاف تحقیقاتی

همانطور که در بخش قبل ملاحظه شد، در ادبیات موضوعی برای بررسی تاثیرگذاری استفاده از فناوری‌های نوین در زنجیره‌های تامین، اغلب از رویکردهایی نظیر مصاحبه، پرسشنامه، طرح فرضیه و استفاده از ابزارهای آماری (نظیر رگرسیون و همبستگی) استفاده شده است. هرچند مقالاتی نیز وجود دارد که از ابزارهای دیگری نظیر شبیه‌سازی بهره برده‌اند.

در حوزه طراحی شبکه انتقال خون، یک حوزه حیاتی که به‌ندرت در ادبیات موجود بررسی شده است، مربوط به طراحی یک پیکربندی بهینه است که مابین نرخ عرضه و تقاضا، توازن برقرار کند. هدف از این طراحی، ایجاد یک سیستم مدیریت جریان خون کارآمد در سراسر زنجیره است که بطور موثر کمبودها و اتلاف در سطوح مختلف شبکه را به حداقل برساند. اشتراک‌گذاری اطلاعات می‌تواند عدم قطعیت در تقاضا و عرضه را کاهش دهد و سطح خدمات زنجیره تامین را بطور قابل توجهی بهبود بخشد. در زمینه زنجیره تامین خون، به دلیل نیاز به کنترل و نظارت گسترده بر کیفیت و ایمنی محصولات در سراسر زنجیره تامین، اشتراک‌گذاری اطلاعات بسیار حیاتی است و می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری در سراسر زنجیره تامین کمک کند. با استفاده از فناوری‌های پیشرفته اطلاعاتی مانند: بلاکچین، رایانش ابری و اینترنت اشیا، می‌توان به شفافیت بیشتری دست یافت که دستیابی به این هدف حیاتی را تسهیل می‌کند. در ادبیات مربوط به زنجیره تامین خون مقالاتی وجود دارد که به مبحث اشتراک‌گذاری و شفافیت اطلاعات با ابزارهای مختلف نظیر ^{۹۳} RFID یا بلاکچین ^{۹۴} پرداخته‌اند (به عنوان مثال: کوئین و دیگران ^{۹۵}، ۲۰۲۱م؛ وانانی و دیگران ^{۹۶}، ۲۰۱۵م؛ صدری و دیگران ^{۹۷}، ۲۰۲۱م؛ کیم و دیگران ^{۹۸}، ۲۰۲۰م) اما هیچ مطالعه‌ای نه در ایران و نه در دیگر کشورها، سیاست بکارگیری رایانش ابری برای اشتراک‌گذاری اطلاعات در جهت بهبود عملکرد زنجیره تامین خون را مورد بررسی قرار نداده است. در زنجیره تامین خون بر بستر ابر، اعضای زنجیره تامین از طریق بستر رایانش ابری، اطلاعات مختلف مربوط به موجودی، عرضه و تقاضا را به اشتراک می‌گذارند و تمامی سطوح زنجیره می‌توانند به صورت لحظه‌ای، انواع اطلاعات را دریافت کنند. این سیاست، زمانی اهمیت خود را بیشتر نشان می‌دهد که یک بحران مانند بلایای طبیعی یا غیرطبیعی رخ دهد که در نتیجه آن نیاز مبرم به انواع فرآورده‌های خون به وجود آید. با مراجعه به جدول ۲ متوجه می‌شویم که در چند سال اخیر، رایانش ابری جایگاه خود را در نظام سلامت پیدا کرده است اما تاکنون به استفاده از آن در سیستم انتقال خون اشاره‌ای نشده است. در این مقاله، تلاش می‌شود تا برای اولین بار این شکاف تحقیقاتی با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم، پوشش داده شود.

۳) روش تحقیق

رویکرد مدل‌سازی در این مقاله، شبیه‌سازی است و تکنیک مورد استفاده، پویایی‌شناسی سیستم ^{۹۹} است. پویایی‌شناسی سیستم، روشی برای درک رفتارهای یک سیستم پیچیده در طول زمان است. روش پویایی‌شناسی سیستم در اواخر دهه پنجاه میلادی

^{۹۳} Radio-frequency identification

^{۹۴} Block-chain

^{۹۵} Quynh et al.

^{۹۶} Vanany et al.

^{۹۷} Sadri et al.

^{۹۸} Kim et al.

^{۹۹} System Dynamics

توسط فارستر^{۱۰۰} (۱۹۵۸م) در دانشگاه MIT و در کتاب پویایی‌شناسی صنعتی^{۱۰۱} معرفی گردید. هدف اصلی این رویکرد، کسب بینش عمیق درباره نحوه فعالیت و عملکرد کنونی و آتی سیستم است تا به این ترتیب امکان طراحی سیاست‌های بهبودیافته برای سیستم فراهم شود. از میان این سیاست‌ها، سیاستی که بهترین نتایج را ارائه دهد، برای اجرا در سیستم انتخاب می‌شود. منظور از پویایی مسئله این است که می‌توان آن را برحسب مقادیر متغیر در طول زمان تعریف کرد. در این روش با تمرکز بر حلقه‌های بازخورد^{۱۰۲} درون سیستم، تأثیرات غیرخطی و تاخیرهای زمانی در میان متغیرها و همچنین ماهیت انباشتی یا جریان‌ی متغیرها به بررسی رفتار یک سیستم می‌پردازند. مفهوم کلیدی پویایی‌شناسی سیستم درک این مطلب است که چگونه تمامی عناصر یک سیستم با هم تعامل و ارتباط دارند. درحقیقت رفتار سیستم نتیجه ساختار سیستم است.

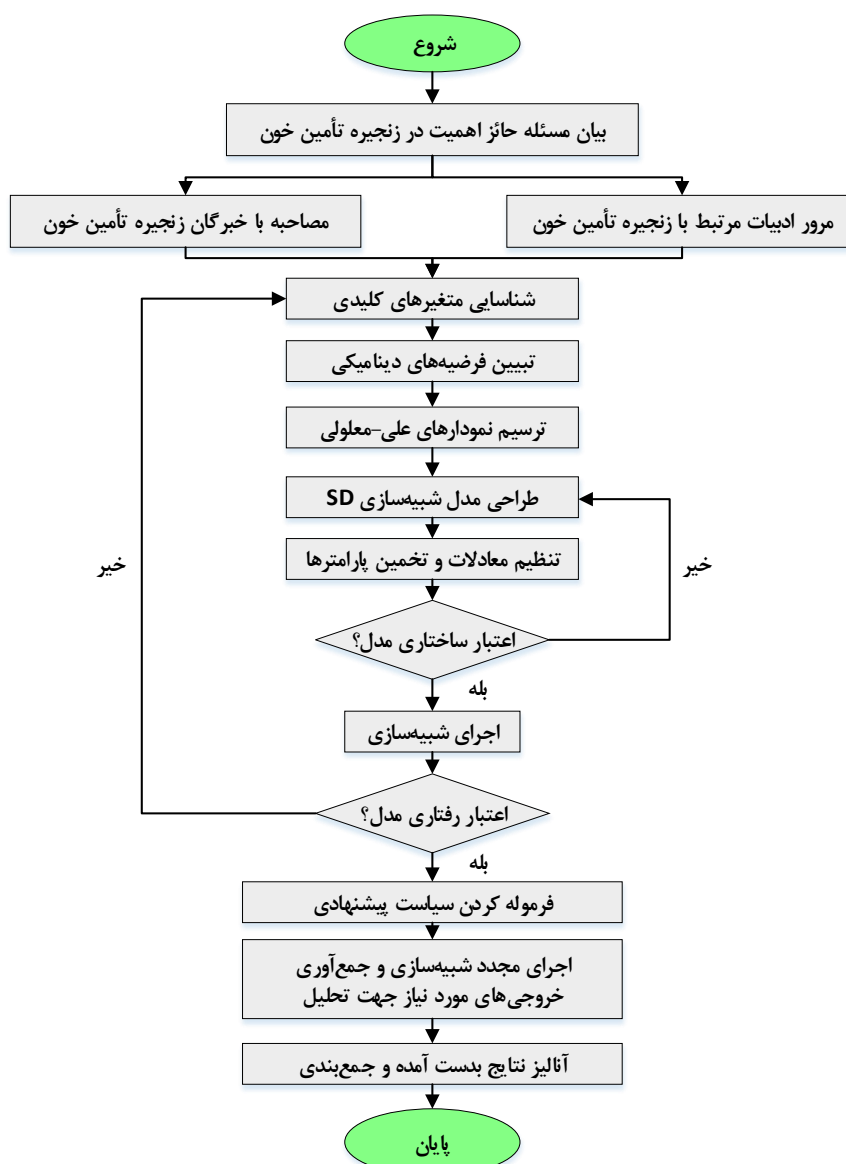
۳-۱) چهارچوب روش تحقیق

- فرآیند مدل‌سازی در این مقاله به شرح چهارچوب زیر است. همچنین نمودار ۳ گام‌های انجام مقاله را نمایش می‌دهند.
- **گام اول:** متغیرها و مفاهیم کلیدی که در بررسی مسئله باید در نظر گرفته شوند را شناسایی می‌کنیم (مرز مدل).
 - **گام دوم:** طول بازه زمانی در گذشته و آینده را برای اینکه بتوانیم رفتار متغیرهای کلیدی را مشاهده کنیم، مشخص می‌کنیم (افق زمانی).
 - **گام سوم:** با تمرکز بر تفسیر درون‌زا از مسئله، فرضیه پویایی طرح می‌کنیم.
 - **گام چهارم:** با استفاده از نمودارهای حلقه علی و حالت-جریان، ساختار سیستم موردنظر را با در نظر گرفتن مرز مدل رسم می‌کنیم.
 - **گام پنجم:** مقادیر پارامترها، شرایط اولیه، قوانین تصمیم‌گیری و نظایر آن را که برای اجرای شبیه‌سازی نیاز هستند، تعیین یا برآورد کرده و وارد مدل شبیه‌سازی می‌کنیم.
 - **گام ششم:** اعتبار مدل از نظر ساختار را با کمک خبرگان و آزمون‌های مناسب بررسی می‌کنیم (اعتبارسنجی ساختاری).
 - **گام هفتم:** مدل شبیه‌سازی شده را اجرا می‌کنیم.
 - **گام هشتم:** خروجی شبیه‌سازی را با روش‌های مناسب ارزیابی می‌کنیم تا مطمئن شویم که مدل به اندازه کافی رفتار سیستم را بازتاب می‌دهد (اعتبارسنجی رفتاری).
 - **گام نهم:** در قالب تحلیل حساسیت، تأثیر پارامترهای کلیدی بر روی رفتار سیستم را تجزیه و تحلیل می‌کنیم.
 - **گام دهم:** در راستای بهبود عملکرد سیستم از دیدگاه شاخص‌های کلیدی عملکرد، نقش بکارگیری رایانش ابری در بهبود عملکرد زنجیره تامین خون را بررسی می‌کنیم.

¹⁰⁰ Forrester

¹⁰¹ Industrial Dynamics

¹⁰² Feedback loops



نمودار ۳. فلوچارت روش تحقیق

۳-۲) توجیه انتخاب پویایی‌شناسی سیستم

همانطور که قبلاً گفته شد، یکی از پرکاربردترین ابزارهایی که برای مدل‌سازی بکار می‌رود، شبیه‌سازی است. شبیه‌سازی ابزاری است که توسط آن می‌توان رفتار یک سیستم یا یک فرآیند در گذر زمان را مدل‌سازی کرد، سناریوهای مختلف را بر روی سیستم پیاده کرد و نتایج آن را مورد بررسی قرار داد. شبیه‌سازی در مواردیکه پیچیدگی‌های سیستم آنقدر زیاد است که امکان تهیه مدل ریاضی وجود ندارد، ابزار کاملاً مناسبی است. تاکنون در ادبیات، روش‌های شبیه‌سازی مختلفی معرفی شده‌اند که از آن میان، سه تکنیک شبیه‌سازی اصلی و پرکاربرد عبارتند از:

(۱) شبیه‌سازی گسسته‌رویداد^{۱۰۳}

(۲) مدل‌سازی عامل‌بنیان^{۱۰۴}(۳) پویایی‌شناسی سیستم^{۱۰۵}

هر سه تکنیک شبیه‌سازی دارای مزایا و معایبی هستند و هر کدام برای حل مسائل مختلف از دیدگاه‌های مختلف مفید هستند. حتی در صورتیکه هر سه تکنیک برای حل یک مسئله ثابت با نگرش‌های مختلف بکار روند، می‌توانند منجر به نتیجه‌گیری‌ها و بینش‌های مختلف (و نه لزوماً متناقض) شوند. پویایی‌شناسی سیستم‌ها که دیدگاه بالا به پایین^{۱۰۶} دارد (دینگ و دیگران^{۱۰۷}، ۲۰۱۸م)، روشی برای درک رفتارهای یک سیستم پیچیده در طول زمان است. در این روش با تمرکز بر حلقه‌های بازخورد درون سیستم، به تأثیرات غیرخطی و تأخیرهای زمانی در میان متغیرها و همچنین ماهیت انباشتی یا جریان‌ی متغیرها به بررسی رفتار یک سیستم می‌پردازند. یکی از مهمترین اهداف مدل‌سازی پویایی‌های سیستم‌ها، بررسی سیاست‌های بالقوه مختلف برای بهبود عملکرد سیستم است. از میان این سیاست‌ها، سیاستی که بهترین نتایج را ارائه دهد، برای اجرا در سیستم انتخاب می‌شود. می‌توان گفت مهمترین اصلی که پویایی‌شناسی سیستم بیان می‌کند، این است که بازخوردها و تأخیرها رفتار سیستم‌ها را می‌سازند و پویایی رفتار سیستم نتیجه ساختار حاکم بر سیستم است. پویایی‌شناسی سیستم‌ها، یک نگرش منسجم پویا به مدل‌سازی است که جنبه‌های کمی یا کیفی را برای شبیه‌سازی یک پدیده در طول زمان با هم ترکیب می‌کند. استفاده از نمودارهای علی-معلولی و نمودارهای جریان-حالت سبب شده‌است، پویایی‌شناسی سیستم از روش‌های دیگر برای مطالعه سیستم‌های پیچیده، مناسب‌تر باشد. این عناصر به شرح چگونگی نمایش تأثیرات غیرخطی در سیستم‌های به‌ظاهر ساده کمک می‌کنند.

در این مقاله، مطالعه رفتار پویای زنجیره تامین خون و فرآورده‌های آن، از درجه پیچیدگی بالایی برخوردار است بطوریکه متغیرهای کمی و کیفی زیادی در آن حاضر بوده و با یکدیگر در ارتباط هستند. شبیه‌سازی نسبت به مدل‌سازی ریاضی ارجحیت دارد. انتخاب تکنیک شبیه‌سازی، به نوع سیستمی که قرار است شبیه‌سازی شود و هدف شبیه‌سازی بستگی دارد. در این مقاله، به‌خاطر مزیت‌های روش پویایی‌شناسی سیستم که در زیر اشاره شده‌است (کسیدی و دیگران^{۱۰۸}، ۲۰۱۹م؛ دینگ و دیگران، ۲۰۱۸م) و اهداف مقاله را برآورده می‌کند، از این رویکرد استفاده خواهیم کرد:

(۱) سیستم مورد مطالعه (زنجیره تامین خون) یک سیستم پویا است و رویکرد پویایی‌شناسی سیستم، رویکردی قدرتمند در تحلیل سیستم‌های پویا است.

(۲) پویایی‌شناسی سیستم برای مدل‌سازی استراتژیک مناسب است. به این معنی که از بُعد ماکرو (کلان) به مسئله نگاه می‌کند و وارد جزئیات عامل‌ها (Agents) نمی‌شود. در این مطالعه، به پویایی زنجیره تامین خون به‌عنوان یک کل منسجم توجه خواهیم کرد و بر ویژگی‌های خاص نهادها یا منابع تمرکز نخواهیم داشت.

(۳) متغیرهای کلیدی متعددی وجود دارد که بر ساختار زنجیره اثر گذارند و گاهی اوقات با یکدیگر روابط غیرخطی دارند (پیچیدگی مسئله).

¹⁰⁴ Agent Based Modeling¹⁰⁵ System Dynamics¹⁰⁶ top down¹⁰⁷ Ding et al.¹⁰⁸ Cassidy et al.

- ۴) از حلقه‌های بازخوردی می‌توان برای نشان‌دادن روابط علی-معلولی میان متغیرها استفاده کرد (تحلیل کیفی)
- ۵) از متغیرهای حالت و جریان می‌توان برای نشان‌دادن جریان فیزیکی سیستم استفاده کرد (تحلیل کمی)
- ۶) پویایی‌شناسی سیستم به‌دنبال تفسیر درون‌زا (Endogenous) از علل وقوع پدیده‌ها است بدین معنی که علل رفتار دینامیک مسئله از تعامل بین اجزای داخلی سیستم نشأت می‌گیرد. در این مقاله نیز به‌دنبال این هستیم که رفتار پویای زنجیره تامین خون را از روابط بین عناصر تشکیل‌دهنده خود سیستم، کشف کنیم.
- ۷) بین عمل و عکس‌العمل، می‌توان تاخیر لحاظ کرد.
- ۸) می‌توان سناریوهای مختلف را شبیه‌سازی کرد.
- ۹) می‌توان سیاست‌های بهبود مختلف را اجرا و تحلیل کرد. در این مقاله، به‌دنبال ارزیابی این سیاست هستیم که آیا به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات در سراسر زنجیره تامین خون و در بستر شبکه ابری می‌تواند عملکرد زنجیره تامین خون را بهبود بخشد یا خیر؟ این سیاست را به‌راحتی می‌توان با پویایی‌شناسی سیستم اجرا کرد.
- ۱۰) می‌توان تحلیل حساسیت انجام داد یعنی بررسی کرد که در اثر تحریک یک پارامتر، چه تحولاتی در کل سیستم اتفاق می‌افتد. در این مقاله، برای شناسایی متغیرهای کلیدی اثرگذار بر رفتار سیستم، نیاز به انجام تحلیل حساسیت خواهیم داشت که روش پویایی‌شناسی سیستم، اجرای آن را تسهیل می‌کند.

۴) ارائه مدل و یافته‌ها

در این بخش، گام‌های ذکر شده در فصل ۳ را اجرا می‌کنیم. لازم به ذکر است این مقاله به‌دنبال حل کردن یک مسئله خاص در دنیای واقعی نیست بلکه مدل ارائه‌شده در آن عمومی است و برای اجرای آن از داده‌های غیرواقعی استفاده خواهد شد. هدف، مقایسه عملکرد زنجیره تامین سنتی با زنجیره تامین ابری است.

۴-۱) متغیرهای کلیدی ساختار سیستم

متغیرهایی که در این مقاله برای توصیف جنبه‌های مختلف ساختار زنجیره تامین خون استفاده شده‌اند، غالباً از ادبیات موضوعی (به عنوان مثال: رمضانیان و بهبودی^{۱۰۹}، ۲۰۱۷م؛ ظهیری و پیشوایی^{۱۱۰}، ۲۰۱۷م؛ فهیم‌نیا و دیگران، ۲۰۱۷م؛ لریمی و یعقوبی^{۱۱۱}، ۲۰۱۹م) و نیز مشاوره با خبرگان این حوزه استحصال شده‌اند. همچنین جدول ۵ متغیرهای کلیدی مدل پویایی‌شناسی سیستم زنجیره تامین خون بر بستر شبکه ابری را نمایش می‌دهند.

جدول ۵. متغیرهای کلیدی مدل پویایی‌شناسی سیستم زنجیره تامین خون بر بستر ابر

متغیر کلیدی	ماهیت	منبع
سرمایه‌گذاری	کمی	مارسووا و دیگران ^{۱۱۲} (۲۰۱۷م)؛ روزاتی و دیگران ^{۱۱۳} (۲۰۱۷م)

¹⁰⁹ Ramezani and Behboodi

¹¹⁰ Zahiri and Pishvae

¹¹¹ Larimi and Yaghoubi

¹¹² Maresova et al.

¹¹³ Rosati et al.

متغیر کلیدی	ماهیت	منبع
کیفیت خدمات	کیفی	عبدالمعبود و دیگران ^{۱۱۴} (۲۰۱۵م)؛ جلاسی و دیگران ^{۱۱۵} (۲۰۱۷م)
مطلوبیت شبکه ابری	کیفی	خبرگان
حمایت دولت	کیفی	علی و اوسماناج ^{۱۱۶} (۲۰۲۰م)؛ صفری و دیگران ^{۱۱۷} (۲۰۱۵م)
تبلیغات عمومی	کیفی	لین و چن ^{۱۱۸} (۲۰۱۲م)؛ راتن ^{۱۱۹} (۲۰۱۲م)
تبلیغات دهان‌به‌دهان	کیفی	راتن (۲۰۱۲م)
اثربخشی شبکه ابری	کمی	صلاح‌الدین و دیگران ^{۱۲۰} (۲۰۲۰م)؛ العجمی و دیگران ^{۱۲۱} (۲۰۱۷م)
کاربران ابر	کمی	خبرگان
نرخ اهدا توسط اهداکنندگان ابری	کمی	خبرگان
نرخ ترک شبکه ابری توسط اهداکنندگان	کمی	خبرگان
درآمد ارائه‌دهندگان ابر	کمی	پوشل و دیگران ^{۱۲۲} (۲۰۱۵م)؛ جانگ لی و چیانگ ^{۱۲۳} (۲۰۱۵م)
نرخ پیوستن به شبکه ابری	کمی	خبرگان

۴-۲) مفروضات مدل

در مدل شبیه‌سازی پویایی‌شناسی که در این مقاله به آن می‌پردازیم، مفروضاتی لحاظ شده‌اند که به شرح زیر بیان می‌گردند:

۱) مدل کنترل موجودی در بیمارستان‌ها براساس رویکرد (S, S) است. براساس این مدل، تصمیم‌گیرنده بطور پیوسته وضعیت موجودی را بررسی می‌کند و به محض اینکه سطح موجودی به نقطه سفارش مجدد (s) می‌رسد، سفارش به مقدار Q برای افزایش موجودی به یک مقدار ماکزیمم ازپیش تعیین شده (S) صادر می‌شود.

۲) سیاست مصرف در بانک‌های خون و بیمارستان‌ها از قانون FIFO تبعیت می‌کند.

۳) بازگشت خون یا فرآورده‌های آن از بیمارستان‌ها به بانک‌های خون مجاز نیست.

۴) کلیه مراکز جمع‌آوری دائم و موقت دارای ظرفیت مشخص هستند.

۵) به‌منظور ساده‌سازی، ظرفیت کلیه مراکز جمع‌آوری دائمی یکسان و هزینه و ظرفیت کلیه مراکز جمع‌آوری موقت نیز یکسان در نظر گرفته می‌شود.

۶) هر اهداکننده‌ای که به شبکه ابری متصل شود، آن را ترک نخواهد کرد.

۴-۳) ترسیم نمودار علت-معلولی

در این بخش، با استفاده از توضیحاتی که در بخش‌های قبل داده شد و داده‌ها و اطلاعات موجود که از ادبیات و خبرگان

¹¹⁴ Abdelmaboud et al.

¹¹⁵ Jelassi et al.

¹¹⁶ Ali and Osmanaj

¹¹⁷ Safari et al.

¹¹⁸ Lin and Chen

¹¹⁹ Ratten

¹²⁰ Sallehudin et al.

¹²¹ Alajmi et al.

¹²² Püschel et al.

¹²³ Jhang-Li and Chiang

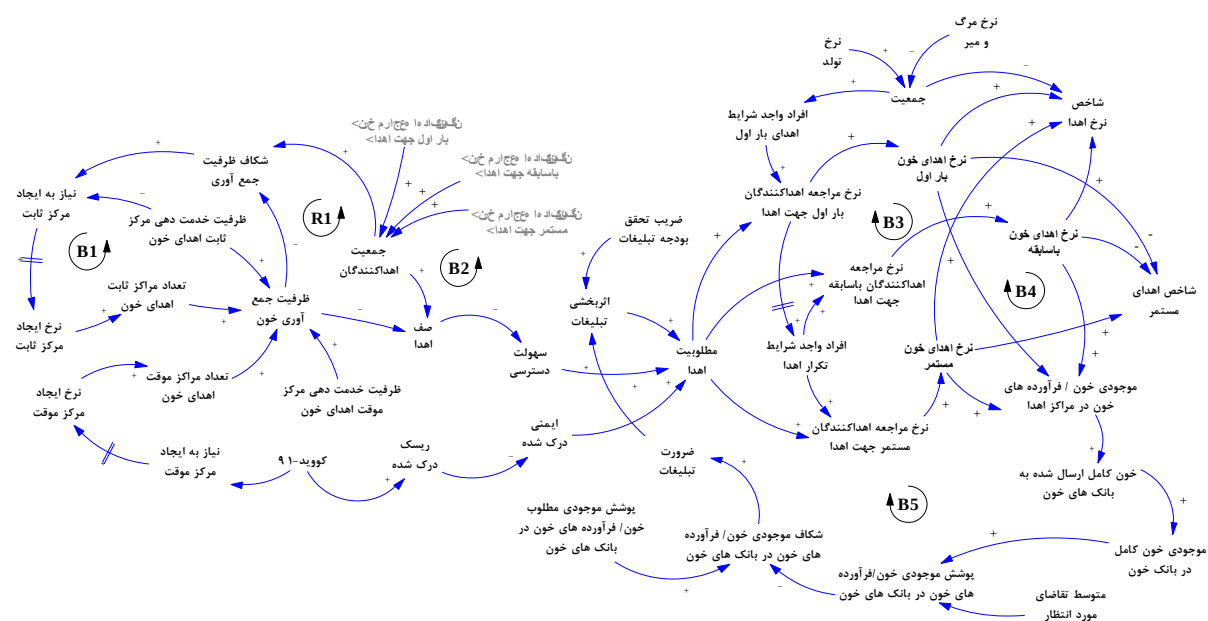
به دست آمده است، نمودارهای علت-معلولی را به تفکیک برای سه زیرسیستم جمع آوری/اهدا، فرآوری/بانک خون و بیمارستان، بر مبنای اصول تفکر سیستمی شامل تفکر کل نگر، تفکر درون‌زا، تفکر حلقه بسته و تفکر عملیاتی ترسیم می‌کنیم.

۴-۳-۱) نمودار علت-معلولی زیرسیستم جمع آوری/اهدا

جمعیت یک کشور تحت تاثیر نرخ زاد و ولد و نرخ مرگ و میر آن است بطوریکه در کشورهای با نرخ زاد و ولد بالاتر از نرخ مرگ و میر، جمعیت افزایش خواهد یافت. رشد جمعیت، معادل رشد تعداد افراد واجد شرایط اهدای بار اول در دراز مدت است. هرچه تعداد افراد واجد شرایط اهدای بار اول بیشتر باشد، تعداد اهداکنندگان واقعی بار اول بیشتر خواهد بود. هنگامیکه افراد برای اولین بار اهدا می‌کنند، ممکن است تمایل به تکرار اهدا داشته باشند یا به دلایل مختلف مانند تجربه نامطلوب، برای همیشه از اهدا صرف نظر کنند. اهداکنندگانی که اهدای مجدد را انتخاب می‌کنند، یا بطور منظم اهدا می‌کنند (اهداکننده مستمر) یا به صورت پراکنده (اهداکننده باسابقه). هرچند اهداکنندگان مستمر و باسابقه ممکن است در برخی شرایط به یکدیگر تبدیل شوند. به علاوه، این دو گروه از اهداکنندگان ممکن است به دلایلی مانند ناتوانی در اهدا به علت محدودیت سنی، مرگ یا عدم مطلوبیت کافی، برای همیشه از اهدا دست بکشند. مطلوبیت، مفهومی است که نمایانگر برتری محاسن اهدا بر معایب آن از نظر افراد است. هرچه محاسن اهدا بیشتر باشد، مردم تمایل بیشتری به اهدا خواهند داشت. در این مقاله، سه عامل موثر بر مطلوبیت در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از: اثربخشی تبلیغات، ایمنی درک شده توسط اهداکنندگان و سهولت دسترسی.

مراکز جمع آوری دائم و موقت، وظیفه جمع آوری خون اهداکنندگان را برعهده دارند. هر مرکز دارای ظرفیت مشخصی است و مجموع ظرفیت مراکز، نشان‌دهنده کل ظرفیت جمع آوری خون سیستم است. در شرایطی که بین ظرفیت کل و تعداد کل اهداکنندگان شکاف وجود داشته باشد، باید مراکز دائمی یا موقت جدید ایجاد شود به خصوص در مواقع بروز بلایا. از آنجاییکه زمان اهمیت بسیار زیادی دارد، استقرار مراکز موقت بر مراکز دائمی اولویت دارد. در شرایطی که تعداد کل اهداکنندگان بیشتر از ظرفیت موجود باشد، صف ایجاد می‌شود. طول صف اهدا تاثیر منفی بر سهولت دسترسی دارد و کاهش سهولت دسترسی نیز باعث افت مطلوبیت می‌شود.

تبلیغات، جزء جدایی‌ناپذیر مدیریت زنجیره تامین خون است که می‌تواند به روش‌های مختلف از جمله انتشار کتاب، جزوه و بروشور، برگزاری کارگاه، ارسال پیامک و تبلیغات رسانه‌ای انجام شود (قره‌باغیان و دیگران^{۱۲۴}، ۲۰۰۸م). این ابزارهای انگیزشی به جذب اهداکنندگان کمک می‌کنند. با افزایش نیاز به خون و فرآورده‌های آن، باید شدت تبلیغات را برای جذب اهداکنندگان بیشتر، افزایش داد. تعهد سازمان انتقال خون به اجرای تبلیغات، بر روی میزان اثربخشی تبلیغات، تاثیر می‌گذارد که آن نیز به نوبه خود مطلوبیت اهدا را ارتقا می‌دهد. نمودار ۴ نمودار علت-معلولی زیرسیستم جمع آوری/اهدا را نشان می‌دهد.



نمودار ۴. نمودار علت-معلولی زیرسیستم جمع‌آوری/اهدای

حلقه‌های مثبت و منفی زیرسیستم جمع‌آوری/اهدای که در مدل شبیه‌سازی نشان داده شده‌اند، به شرح زیر تصریح می‌شوند:

حلقه B1 (استقرار مراکز ثابت اهدای خون): این حلقه، یک حلقه منفی (تعدیل‌کننده) است و مربوط به استقرار مراکز ثابت اهدای خون است. هرچه اختلاف بین جمعیت اهداکنندگان و ظرفیت جمع‌آوری خون زیاد باشد، شکاف ظرفیت بیشتر خواهد بود. با زیادتر شدن شکاف ظرفیت، نیاز به ایجاد مراکز دائمی جمع‌آوری خون افزایش خواهد یافت. افزایش تعداد مراکز دائمی به معنای افزایش ظرفیت جمع‌آوری خون است که آن نیز منجر به کاهش شکاف ظرفیتی می‌شود.

حلقه B2 (صف اهدای خون): این حلقه، یک حلقه منفی است. هرچه صف اهدا زیادتر شود، سهولت دسترسی برای افرادی که می‌خواهند برای اهدا مراجعه کنند، کاهش می‌یابد. سهولت دسترسی، یکی از عناصر تاثیرگذار بر مطلوبیت اهدا است. لذا با کاهش سهولت دسترسی، مطلوبیت اهدا نیز افت می‌کند. طبیعتاً هرچه مطلوبیت اهدا از دیدگاه اهداکنندگان کمتر شود، نرخ مراجعه افراد به مراکز جهت اهدا نیز کمتر خواهد شد. هرچه تعداد اهداکنندگان کمتری به مراکز جمع‌آوری خون مراجعه کنند، اهدای خون کمتری نیز اتفاق خواهد افتاد. هرچه نرخ اهدای خون کمتر شود، جمعیت اهداکنندگان نیز کاهش می‌یابد. در ادامه، با کاهش ازدحام اهداکنندگان، صف اهدا نیز کمتر می‌شود. بنابراین یک حلقه تعدیل‌کننده است.

حلقه B3 (اهداکنندگان بار اول): این حلقه، یک حلقه منفی است. هرچه تعداد اهداکنندگان بار اول بیشتری به مراکز جمع‌آوری خون مراجعه کنند، اهدای خون بیشتری نیز اتفاق افتاده و در نتیجه موجودی خون در مراکز جمع‌آوری بالاتر می‌رود. از آنجاییکه کل واحدهای خون اهدایی باید به بانک‌های خون انتقال داده شوند لذا با افزایش موجودی خون در مراکز اهدا، میزان خون ارسالی به بانک‌های خون نیز بیشتر می‌شود که این منجر به افزایش موجودی خون و فرآورده‌های خونی در بانک‌های خون می‌شود. افزایش موجودی بانک‌های خون ضمن ثابت در نظر گرفتن تقاضای مورد انتظار از بانک‌ها باعث افزایش پوشش موجودی اقلام در بانک‌های خون می‌شود که آن نیز منجر به کاهش شکاف موجودی خواهد شد. هرچه شکاف موجودی خون و فرآورده‌های خونی در بانک‌های خون کمتر شود، ضرورت تبلیغات نیز کمتر خواهد شد.

با کاهش ضرورت تبلیغات، اثربخشی تبلیغات نیز کمتر خواهد شد. کاهش تبلیغات منجر به افت در نرخ مراجعه اهداکنندگان بار اول جهت اهدا خواهد شد. بنابراین یک حلقه تعدیل کننده اهداکنندگان بار اول است.

حلقه B4 (اهدای کنندگان با سابقه): این حلقه، یک حلقه منفی است. هرچه تعداد اهداکنندگان با سابقه بیشتری به مراکز جمع آوری خون مراجعه کنند، خون بیشتری نیز اهدا شده و در نتیجه موجودی خون در مراکز جمع آوری بالاتر می رود. با افزایش موجودی خون در مراکز اهدا، میزان خون ارسالی به بانک های خون نیز بیشتر می شود که این منجر به افزایش موجودی بانک های خون می شود. افزایش سطح موجودی در بانک های خون باعث افزایش پوشش موجودی اقلام در بانک های خون می شود که آن نیز منجر به کاهش شکاف موجودی خواهد شد. با کمتر شدن شکاف موجودی خون و فرآورده های خونی در بانک های خون، ضرورت تبلیغات نیز کاهش خواهد یافت. هرچه ضرورت تبلیغات کمتر شود، اثربخشی تبلیغات نیز کمتر خواهد شد. کاهش تبلیغات منجر به افت در مطلوبیت اهدا خواهد شد. با کاهش مطلوبیت اهدا از دیدگاه اهداکنندگان، نرخ مراجعه اهداکنندگان با سابقه به مراکز اهدا کاهش می یابد. بنابراین یک حلقه تعدیل کننده اهداکنندگان با سابقه است.

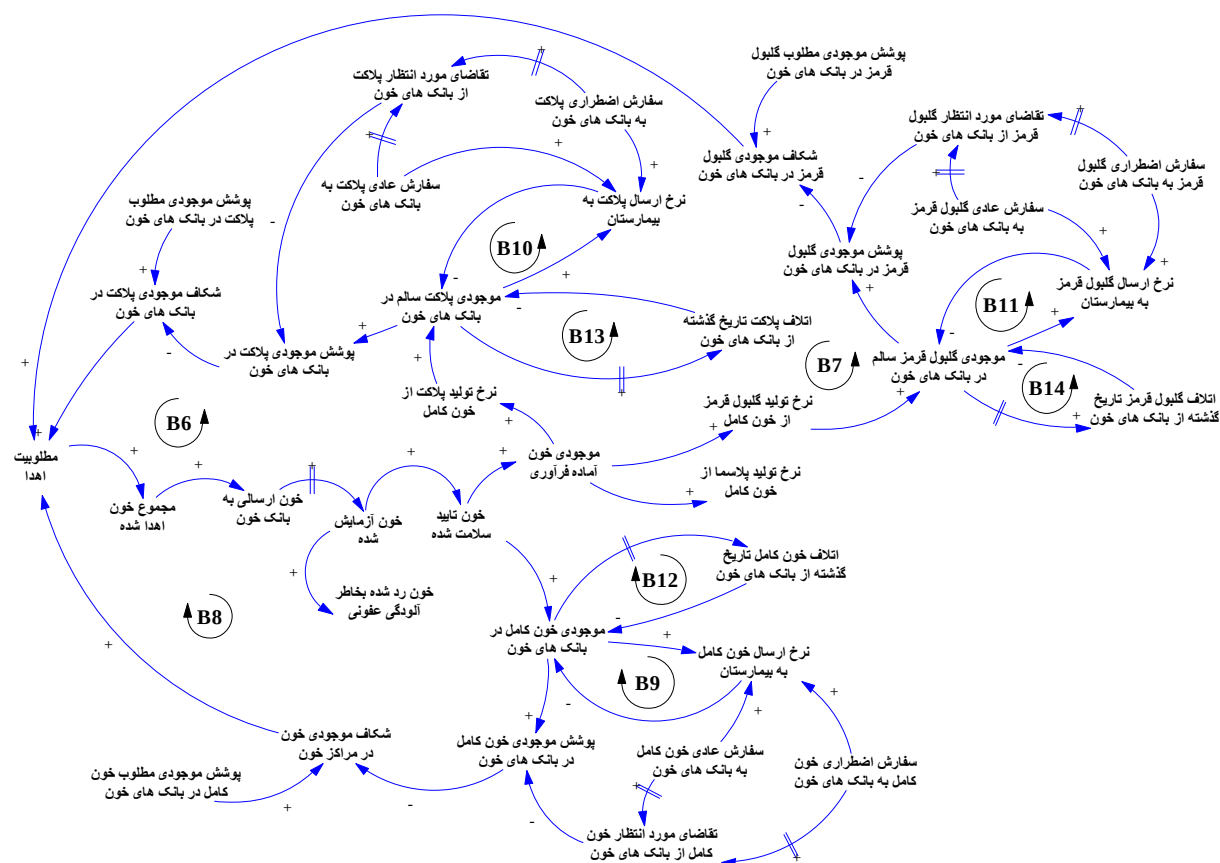
حلقه B5 (اهدای کنندگان مستمر): این حلقه، یک حلقه منفی است. هرچه تعداد اهداکنندگان مستمر بیشتری به مراکز جمع آوری خون مراجعه کنند، اهدای خون بیشتری نیز اتفاق افتاده و در نتیجه موجودی خون در مراکز جمع آوری بالاتر می رود. با افزایش موجودی خون در مراکز اهدا، میزان خون ارسالی به بانک های خون نیز بیشتر می شود که این منجر به افزایش موجودی بانک های خون می شود. افزایش موجودی بانک های خون باعث افزایش پوشش موجودی اقلام در بانک های خون می شود که آن نیز، منجر به کاهش شکاف موجودی خواهد شد. با کمتر شدن شکاف موجودی خون و فرآورده های خونی در بانک های خون، ضرورت تبلیغات نیز کاهش خواهد یافت. هرچه ضرورت تبلیغات کمتر شود، اثربخشی تبلیغات نیز کمتر خواهد شد. کاهش تبلیغات منجر به افت در مطلوبیت اهدا می شود. با کاهش مطلوبیت اهدا از دیدگاه اهداکنندگان، نرخ مراجعه اهداکنندگان مستمر به مراکز اهدا کاهش می یابد. بنابراین یک حلقه تعدیل کننده اهداکنندگان مستمر است.

حلقه R1 (توسعه ظرفیت): این حلقه، یک حلقه مثبت (تقویت کننده) است. هرچه ظرفیت جمع آوری خون افزایش یابد، ضمن ثابت فرض کردن جمعیت اهداکنندگان، صف اهدا کمتر می شود. با کاهش صف اهدا، سهولت دسترسی برای افرادی که می خواهند برای اهدا مراجعه کنند، افزایش می یابد. هرچه سهولت دسترسی برای اهداکنندگان بیشتر باشد، مطلوبیت اهدا نیز بالاتر خواهد رفت. طبیعتاً هرچه مطلوبیت اهدا از دیدگاه اهداکنندگان زیادتر شود، نرخ مراجعه افراد به مراکز جهت اهدا نیز بیشتر خواهد شد. هرچه اهداکنندگان بیشتری به مراکز جمع آوری خون مراجعه کنند، جمعیت اهداکنندگان نیز افزایش خواهد یافت. هرچه جمعیت اهداکنندگان بیشتر شود، شکاف ظرفیت جمع آوری بیشتر خواهد شد. با افزایش شکاف ظرفیت، نیاز به ایجاد مراکز دائمی جمع آوری خون بالاتر خواهد رفت. با احداث مراکز دائمی جدید، تعداد مراکز دائمی در دسترس افزایش پیدا خواهد کرد. افزایش تعداد مراکز دائمی به معنای افزایش ظرفیت جمع آوری خون است لذا این حلقه تقویت کننده است.

۴-۳-۲) نمودار علت-معلولی زیرسیستم فرآوری/بانک خون

روزانه تمام کیسه های خون جمع آوری شده در ساعات مشخصی از روز به بانک های خون انتقال داده می شود. نخستین

اقدامی که در بانک خون انجام می‌شود، اطمینان از عدم آلودگی واحدهای خون به عوامل بیماری‌زا است. کیسه‌های خونی که تمامی آزمایشات را با موفقیت پشت سر می‌گذارند یا به شکل خون کامل ذخیره می‌شوند یا برای تولید محصولات خونی، فرآوری می‌شوند. در ادامه، خون کامل و فرآورده‌های خونی به‌دست‌آمده در شرایط استاندارد از پیش تعریف‌شده و در دمای استاندارد نگهداری می‌شوند. این موجودی جدید به موجودی بانک‌های خون اضافه می‌شود که بعدها برای برآورده کردن تقاضای بیمارستان‌ها استفاده می‌شود. هرچه موجودی بانک‌های خون بیشتر باشد، میزان پوشش موجودی بیشتر خواهد بود. سطح پوشش موجودی نشان‌دهنده مدت زمانی است که موجودی می‌تواند تقاضای موردانتظار را برآورده کند. شکاف بین پوشش موجودی مطلوب و پوشش موجودی واقعی نشان می‌دهد که دعوت از مردم برای اهدای خون چقدر ضروری است. واحدهای خون یا فرآورده‌های خونی که در شلف‌لایف مطلوبشان استفاده نشوند، به‌عنوان واحدهای منقضی دور ریخته می‌شوند. نمودار ۵ نمودار علت-معلولی زیرسیستم فرآوری/بانک خون را نشان می‌دهد.



نمودار ۵. نمودار علت-معلولی زیرسیستم فرآوری/بانک خون

حلقه‌های B6 و B7 (فرآوری و کنترل موجودی پلاکت و گلبول قرمز): این حلقه‌ها، منفی هستند. هرچه مطلوبیت اهدا بیشتر شود، افراد بیشتری جهت اهدا مراجعه می‌کنند و از این رو، مجموع خون اهداشده نیز افزایش می‌یابد. هرچه خون بیشتری اهدا شود، خون بیشتری نیز به بانک‌های خون ارسال خواهد شد. از آنجایی‌که تمامی واحدهای خونی دریافتی توسط بانک خون باید مورد آزمایش سلامت قرار گیرند، با افزایش خون ارسالی، میزان خون آزمایش‌شده و خون

تایید شده نیز افزایش می‌یابد. افزایش خون سالم، میزان موجودی خون آماده فرآوری در بانک خون را افزایش می‌دهد. در این مرحله، پلاکت و گلبول قرمز از خون کامل به دست می‌آیند. هرچه موجودی خون آماده فرآوری بیشتر باشد، نرخ تولید پلاکت و گلبول قرمز نیز بیشتر شده و در ادامه، سطح موجودی آنها در بانک‌های خون افزایش می‌یابد. با افزایش موجودی فرآورده‌های سالم در بانک‌های خون، پوشش موجودی آنها زیاده‌تر می‌شود. افزایش پوشش موجودی یک فرآورده، شکاف موجودی آن فرآورده در بانک خون را کاهش می‌دهد. هرچه شکاف موجودی مربوط به فرآورده‌ها نسبت به موجودی مطلوب آنها کمتر شود، مطلوبیت اهدا کاهش می‌یابد.

حلقه B8 (فرآوری و کنترل موجودی خون کامل در بانک‌های خون): این حلقه، یک حلقه منفی است. هرچه مطلوبیت اهدا بیشتر شود، افراد بیشتری جهت اهدا مراجعه می‌کنند و از این رو، مجموع خون اهداشده نیز افزایش می‌یابد. هرچه خون بیشتری اهدا شود، خون بیشتری نیز به بانک‌های خون ارسال خواهد شد. از آنجاییکه تمامی واحدهای خونی دریافتی توسط بانک خون باید مورد آزمایش سلامت قرار گیرند، با افزایش خون ارسالی، میزان خون آزمایش شده و در ادامه، خون تایید شده افزایش می‌یابد. افزایش خون سالم، میزان موجودی خون کامل (فرآوری نشده) در بانک خون را افزایش می‌دهد. هرچه سطح موجودی خون کامل در بانک‌های خون بیشتر شود، پوشش موجودی آن نیز زیاده‌تر خواهد شد. افزایش پوشش موجودی خون کامل، شکاف موجودی آن در بانک خون را کاهش می‌دهد. هرچه شکاف موجودی مربوط به خون کامل نسبت به موجودی مطلوب آنها کمتر شود، مطلوبیت اهدا کاهش می‌یابد.

حلقه‌های B9، B10 و B11 (موجودی و ارسال): این حلقه‌ها، منفی هستند. هرچه موجودی اقلام سالم در بانک‌های خون افزایش یابد، نرخ ارسال آنها به بیمارستان‌ها نیز افزایش می‌یابد. بیشتر شدن نرخ ارسال اقلام از طرف بانک‌های خون به بیمارستان‌ها در یک حلقه بازخوردی، موجودی اقلام سالم در بانک‌های خون را کاهش می‌دهد.

حلقه‌های B12، B13 و B14 (موجودی و اتلاف): این حلقه‌ها، منفی هستند. هرچه موجودی اقلام سالم در بانک‌های خون افزایش یابد، نرخ اتلاف ناشی از منقضی شدن آنها نیز افزایش می‌یابد. بیشتر شدن نرخ اتلاف اقلام منقضی، در یک حلقه بازخوردی، موجودی اقلام سالم در بانک‌های خون را کاهش می‌دهد.

۳-۳-۴) نمودار علت معلولی زیرسیستم بیمارستان

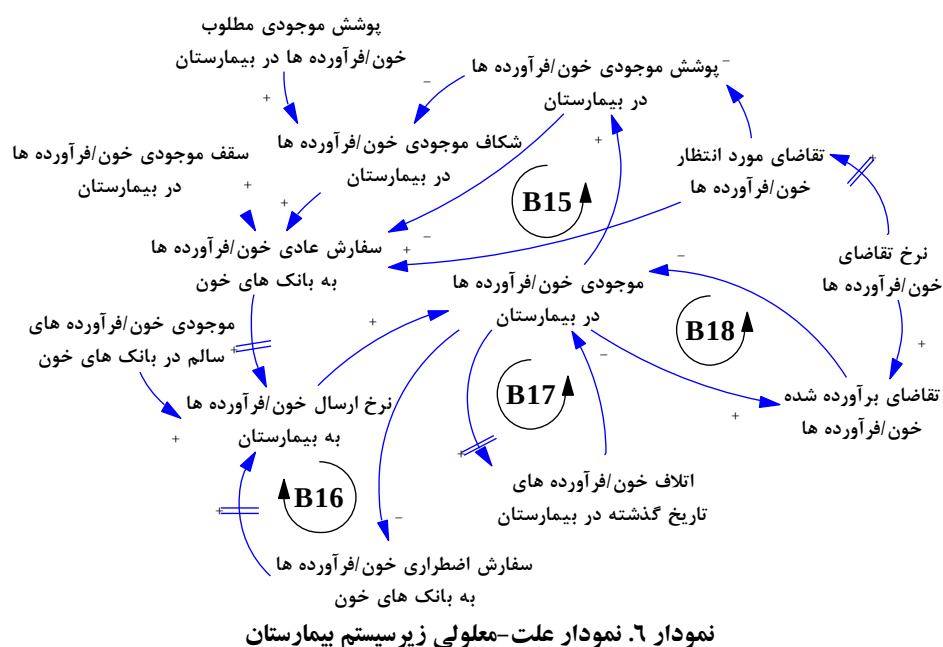
بیمارستان‌ها آخرین زیرسیستم مدل را تشکیل می‌دهند که خون و فرآورده‌های آن را از بانک‌های خون دریافت می‌کنند و از آن برای برآورده کردن تقاضای بیماران استفاده می‌کنند. هر بیمارستان خود دارای یک بانک خون داخلی است که وظیفه مدیریت موجودی خون و فرآورده‌های خون را برعهده دارد. بیمارستان‌ها دو نوع سفارش را به بانک‌های خون ارسال می‌کنند که عبارتند از: سفارش عادی^{۱۲۵} و سفارش اضطراری^{۱۲۶}. سفارش گذاری عادی برای تکمیل موجودی‌ها انجام می‌شود درحالی‌که سفارش گذاری اضطراری می‌تواند به دلیل نیاز به فرآورده‌های کمیاب برای بیماران خاص باشد که معمولاً در انبار نگهداری نمی‌شوند و یا به هر دلیلی مانند خطا در کنترل موجودی که منجر به ناکافی بودن موجودی شده‌است.

¹²⁵ Ordinary order

¹²⁶ Emergency order

به‌منظور مدیریت موجودی خون، بیمارستان‌ها معمولاً یک نقطه سفارش^{۱۲۷} (RoP) تعریف می‌کنند که براساس پوشش موجودی مطلوب ازپیش‌تعیین‌شده محاسبه می‌شود. موجودی فعلی در کنار تقاضای موردانتظار بیانگر پوشش واقعی موجودی است. شکاف بین پوشش موجودی واقعی و مطلوب نشان می‌دهد که سطح موجودی به نقطه سفارش خود رسیده‌است و یک سفارش عادی جدید باید توسط بیمارستان ثبت شود تا مقدار موجودی به یک سطح ازپیش‌تعیین‌شده (سقف پوشش موجودی^{۱۲۸}) برسد.

واحدهای خون و فرآورده‌های خونی تاریخ‌گذشته، قابل استفاده نیستند و باید دور ریخته شوند. علاوه بر این، انواع دیگر ضایعات در بیمارستان‌ها به‌وجود می‌آید که از آن جمله می‌توان به خون کامل یا گلبول قرمز لخته‌شده و اقلام درخواستی توسط بخش یا اتاق عمل که نه استفاده شده‌اند و نه در دمای استاندارد به بانک خون بازگردانده شده‌اند، اشاره کرد. نمودار ۶ نمودار علت-معلولی زیرسیستم بیمارستان را نشان می‌دهد.



حلقه B15 (تعدیل موجودی بیمارستان): این یک حلقه منفی (تعدیل‌کننده) است. هرچه موجودی یک کالا در بیمارستان بیشتر باشد، ضمن ثابت در نظر گرفتن سفارش موردانتظار برای آن کالا، پوشش موجودی آن کالا بیشتر خواهد بود. افزایش پوشش موجودی یک کالا در بیمارستان، شکاف موجودی آن کالا نسبت به موجودی مطلوب را کاهش می‌دهد. هرچه شکاف موجودی یک کالا کمتر شود، میزان سفارش به بانک‌های خون برای آن کالا نیز کاهش می‌یابد تا مازاد موجودی به وجود نیاید. کاهش سفارشات برای یک کالا از طرف بیمارستان، مستقیماً نرخ ارسال آن کالا از طرف بانک خون را کاهش می‌دهد. هرچه نرخ ارسال کالا از بانک‌های خون کمتر شود، موجودی بیمارستان با نرخ کمتری افزایش می‌یابد. لذا این حلقه کمک می‌کند که سطح موجودی بیمارستان، تحت کنترل باشد.

¹²⁷ ReOrder Point

¹²⁸ Maximum stock coverage

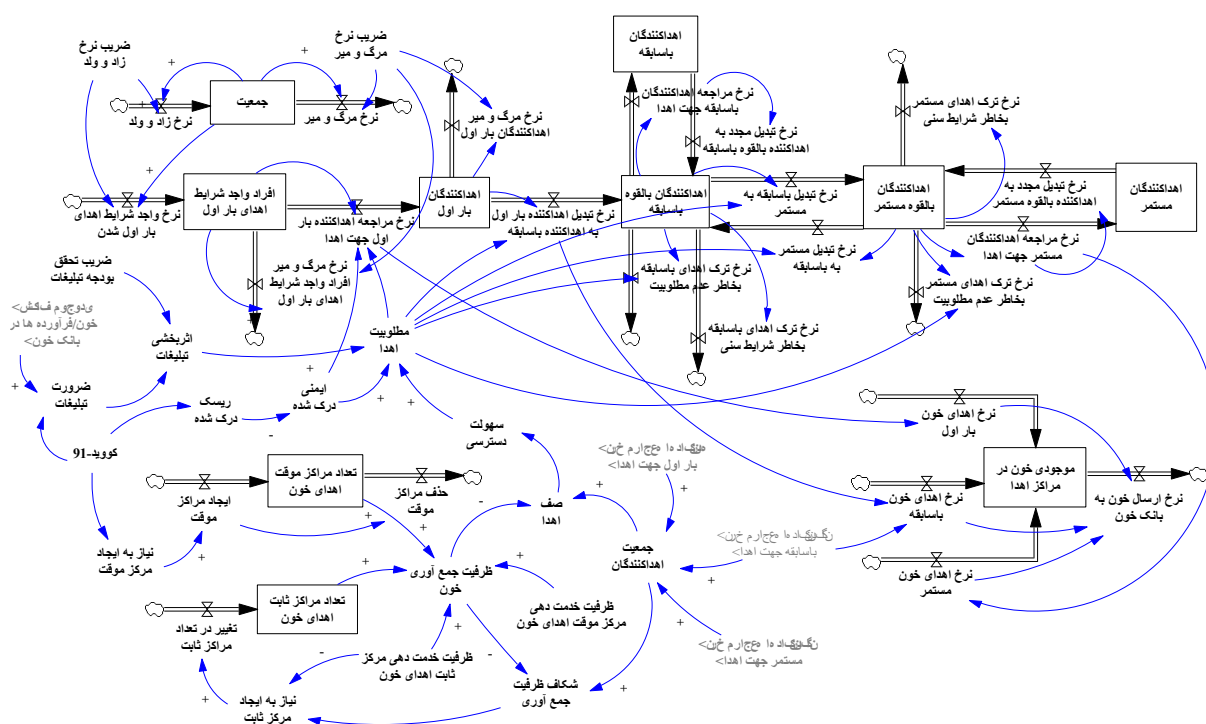
حلقه B16 (تعدیل سفارش اضطراری): این یک حلقه منفی است. هرچه میزان سفارش اضطراری یک کالا از طرف بیمارستان به بانک خون بیشتر شود، کالا با نرخ بیشتری ارسال می‌شود. با افزایش نرخ ارسال یک کالا به بیمارستان، موجودی آن کالا در بیمارستان نیز افزایش می‌یابد. هرچه موجودی یک کالا در بیمارستان بیشتر شود، میزان سفارش اضطراری آن کالا به بانک خون کاهش می‌یابد.

حلقه B17 (موجودی و اتلاف): این یک حلقه منفی است. هرچه موجودی یک کالا در بیمارستان بیشتر شود، اتلاف کالای منقضی نیز افزایش خواهد یافت. افزایش میزان اتلاف نیز در یک حلقه بازخوردی، منجر به کاهش سطح موجودی می‌شود. بنابراین حلقه مذکور، یک حلقه تعدیل کننده است.

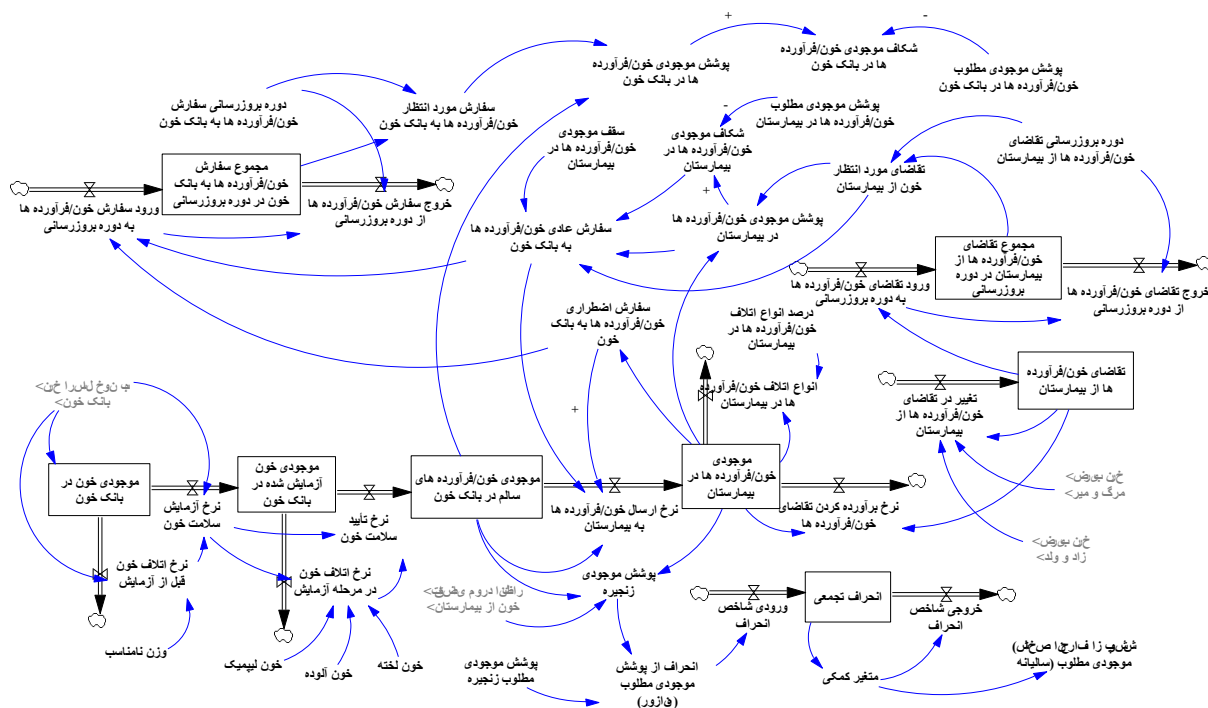
حلقه B18 (موجودی و تقاضای برآورده شده): این یک حلقه منفی است. هرچه موجودی یک کالا در بیمارستان بیشتر شود، یقیناً تقاضای بیشتری برآورده خواهد شد. افزایش نرخ برآورده‌سازی سفارشات به منزله کاهش سطح موجودی در بیمارستان است. بنابراین حلقه مذکور، یک حلقه تعدیل کننده است.

۴-۴) ترسیم نمودار حالت - جریان

در این بخش، به تحلیل کمی رفتار زنجیره تامین خون می‌پردازیم. برای این منظور، بر مبنای حلقه‌های علی و معلولی، یک نمودار جامع حالت - جریان با استفاده از نرم‌افزار ونسیم^{۱۲۹} ترسیم می‌شود که ساختار فیزیکی سیستم را نمایش می‌دهد. نمودار ۷، نمودار حالت-جریان را نمایش می‌دهد.



نمودار ۷ الف). نمودار حالت - جریان مدل پویایی‌شناسی سیستم



نمودار ۲ (ب). نمودار حالت - جریان مدل پویایی‌شناسی سیستم (۱۵۴ه)

۴-۵) فرموله کردن و اجرای مدل شبیه‌سازی

در این مرحله؛ معادلات ریاضی، مقادیر پارامترها، شرایط اولیه، قوانین تصمیم‌گیری و نظایر آن را که برای اجرای شبیه‌سازی نیاز هستند، تعیین یا برآورد کرده و وارد مدل شبیه‌سازی می‌کنیم. در ادامه به منظور خلاصه‌سازی صرفاً معادلات مربوط به متغیرهای کمکی ارائه شده‌است (جدول ۶). افق زمانی، ۶۲۰۵ روز در نظر گرفته شده‌است (معادل ۱۷ سال). همچنین لازم به ذکر است، از آنجاییکه هدف، مقایسه عملکرد در دو حالت سنتی و ابری است، برای اجرای شبیه‌سازی از داده‌های تصادفی استفاده می‌کنیم.

جدول ۶. متغیرهای کمکی در مدل شبیه‌سازی

عنوان متغیر (فارسی)	مخفف	معادله ریاضی
نیاز به ایجاد مرکز ثابت	AA	IF THEN ELSE (AG > 0, INTEGER (AG/BS) + 1, 0)
نیاز به ایجاد مرکز موقت	AB	IF THEN ELSE (BT > 0, 100, 0)
ضرورت تبلیغات	AC	IF THEN ELSE (BT > 0, 2, IF THEN ELSE (AM <= 0, 1, 0.8))
اثر بخشی تبلیغات	AD	AC × BU
ظرفیت جمع‌آوری خون	AE	(BV × BS) + (BW × BX)
جمعیت اهداکنندگان	AF	BY + BZ + CA
شکاف ظرفیت جمع‌آوری	AG	AF - AE
صف اهدا	AH	AF / AE
سهولت دسترسی	AI	IF THEN ELSE (AH ≤ 1, 1, IF THEN ELSE (AH > 1 : AND: AH ≤ 1.2, 0.9, IF THEN ELSE (AH > 1.2 : AND: AH ≤ 1.4, 0.7, IF THEN ELSE (AH > 1.4 : AND: AH ≤ 1.6, 0.5, IF THEN ELSE (AH > 1.6 : AND: AH ≤ 1.8, 0.3, IF THEN ELSE (AH > 1.8 : AND: AH ≤ 2, 0.1, 0))))))

عنوان متغیر (فارسی)	مخفف	معادله ریاضی
ریسک درک شده	PR	IF THEN ELSE (Cov = 1, 0.25, 0)
ایمنی درک شده	PS	1 - PR
مطلوبیت اهدا	AJ	AI × AD × PS
سفارش موردانتظار خون/فرآورده‌ها به بانک خون	AK	CB / CC
تقاضای موردانتظار خون/فرآورده‌ها از بیمارستان	AL	CD / CE
شکاف موجودی خون/فرآورده‌ها در بانک خون	AM	AQ - CF
شکاف موجودی خون/فرآورده‌ها در بیمارستان	AN	AR - CH
پوشش موجودی زنجیره	AO	MAX (INTEGER (IB + IH / AL), 0)
انحراف از پوشش موجودی مطلوب (روزانه)	AP	ABS (AO - CI)
پوشش موجودی خون/فرآورده‌ها در بانک خون	AQ	MAX (INTEGER (IB / AK), 0)
پوشش موجودی خون/فرآورده‌ها در بیمارستان	AR	MAX (INTEGER (IH / AL), 0)
سفارش عادی خون/فرآورده‌ها به بانک خون	AS	IF THEN ELSE (AN <= 0, (AL × (CJ - AR)), 0)
سفارش اضطراری خون/فرآورده‌ها به بانک خون	AT	IF THEN ELSE (IH < 0, -IH, 0)

BS: ظرفیت خدمت‌دهی مرکز ثابت اهدای خون (برابر با ۳۰)

BX: ظرفیت خدمت‌دهی مرکز موقت اهدای خون (برابر با ۲۰)

BU: ضریب تحقق بودجه تبلیغات (بین صفر و یک)

BV: تعداد مراکز ثابت اهدای خون

BW: تعداد مراکز موقت اهدای خون

BY: نرخ اهدای خون بار اول

BZ: نرخ اهدای خون باسابقه

CA: نرخ اهدای خون مستمر

CC: دوره به‌روزرسانی سفارش خون/فرآورده‌ها به بانک خون (برابر با ۳۰ روز)

CB: مجموع سفارش خون/فرآورده‌ها به بانک خون در دوره به‌روزرسانی

CE: دوره به‌روزرسانی تقاضای خون/فرآورده‌ها از بیمارستان

CD: مجموع تقاضای خون/فرآورده‌ها از بیمارستان در دوره به‌روزرسانی

CF: پوشش موجودی مطلوب خون/فرآورده‌ها در بانک خون

CH: پوشش موجودی مطلوب خون/فرآورده‌ها در بیمارستان

CI: پوشش موجودی مطلوب زنجیره (برابر با ۱۵)

IB: موجودی خون/فرآورده‌ها در بانک خون

IH: موجودی خون/فرآورده‌ها در بیمارستان

CJ: سقف موجودی خون/فرآورده‌ها در بیمارستان

۴-۶) اعتبارسنجی ساختاری مدل

در این مقاله، از سه آزمون کفایت مرز^{۱۳۰}، صحه‌گذاری ساختار^{۱۳۱} و سازگاری ابعادی^{۱۳۲} برای بررسی اعتبار مدل استفاده شده‌است. نتایج ارائه‌شده در زیر نشان می‌دهد که اعتبار ساختار مدل مورد تایید است.

- **کفایت مرز:** در مدل شبیه‌سازی این مقاله، تلاش شده‌است با بررسی ادبیات موضوعی و مصاحبه با متخصصان و خبرگان، تعریف متغیرهای درون‌زا و برون‌زا متناسب با اهداف مدل باشد. با توجه به نظر خبرگان، مرز مدل به حد کفایت توسعه‌یافته است. موضوع دیگری که در آزمون کفایت مرز مدل مورد بررسی قرار گرفت، وجود بازخوردهای اصلی در مدل است. از این حیث بازخوردهای اصلی که بر رفتار متغیرهای مرجع اثرگذار بود، مورد بررسی قرار گرفت و اطمینان حاصل شد که این بازخوردها در مدل لحاظ شده‌است.
- **صحه‌گذاری ساختار:** دو رویکرد برای ارزیابی ساختار مدل در پیش گرفته شد. ابتدا تا جای ممکن سعی شد در طراحی ساختار و روابط درونی بخش‌ها از مبانی نظری و یا توصیفی پیرامون سیستم واقعی در قالب آمار و مستندات از جمله مقالاتی که روابط بین چند متغیر را تفسیر و توجیه می‌کنند، بهره‌گیری شود. رویکرد دوم، تشریح هریک از بخش‌های مدل برای متخصصین مرتبط به سیستم در دنیای واقعی بود. درنهایت ساختار مدل شبیه‌سازی شده توسط متخصصان و خبرگان عملی و دانشگاهی، تایید شد.
- **سازگاری ابعادی:** آزمون «بررسی واحدها^{۱۳۳}» در نرم‌افزار ونسیم، نتایج سازگاری ابعادی مدل را تایید کرد.

۴-۷) اعتبارسنجی رفتاری مدل

در این مرحله، اعتبار رفتاری مدل شبیه‌سازی طراحی شده بررسی شد تا اطمینان حاصل شود که مدل به اندازه کافی رفتار سیستم را بازتاب می‌دهد. در این راستا، از آنالیز شرایط حدی برای بررسی اینکه آیا سیستم در واکنش به تغییرات شدید، رفتار منطقی از خود نشان می‌دهد یا خیر استفاده کردیم. نتایج حاکی از تایید اعتبار رفتاری مدل شبیه‌سازی بود.

۴-۸) تحلیل حساسیت

در این گام، با کمک تحلیل حساسیت، تاثیر پارامترهای کلیدی بر روی رفتار سیستم را تجزیه و تحلیل می‌کنیم. تحلیل حساسیت

¹³⁰ Boundary adequacy

¹³¹ Structure verification

¹³² Dimensional consistency

¹³³ Units check

نشان می‌دهد که تغییر در یک پارامتر در یک محدوده معقول درحالی‌که سایر پارامترها ثابت نگه داشته شوند، چقدر می‌تواند بر نتایج شبیه‌سازی تاثیر بگذارد. ما از این آنالیز برای شناسایی پارامترهایی با تاثیرات بالاتر بر رفتار دینامیکی سیستم استفاده می‌کنیم. برای انجام تحلیل حساسیت، تمامی پارامترهای مدل را به مقدار $\pm 20\%$ درصد تغییر داده و تاثیر این تغییر بر رفتار متغیر پاسخ را بررسی می‌کنیم؛ به این صورت که میانگین درصد افزایش / کاهش متغیر پاسخ در هریک از سناریوها نسبت به فرم پایه^{۱۳۴} را محاسبه می‌کنیم. نتایج در جدول ۷ خلاصه شده‌است.

جدول ۷. نتایج تحلیل حساسیت از نقطه‌نظر شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب

پارامتر	+۲۰٪	-۲۰٪
ضرب زاد و ولد	۰.۱٪	۰.۱٪
ضرب مرگ و میر	۰.۱٪	۰.۱٪
درصد تحقق بودجه تبلیغاتی	-	۱۲.۳٪
پوشش موجودی مطلوب خون در بانک‌های خون	۱۳.۴٪	۱۱.۷٪
پوشش موجودی مطلوب خون در بیمارستان	۴.۶٪	۵.۱٪
خون لخته‌شده	۰.۰٪	۰.۰٪
وزن نامناسب	۰.۰٪	۰.۰٪
خون آلوده	۰.۰٪	۰.۰٪
خون لیپمیک	۰.۰٪	۰.۰٪
ظرفیت خدمت‌رسانی مرکز ثابت خون‌گیری	۰.۰٪	۰.۰٪
ظرفیت خدمت‌رسانی مرکز موقت خون‌گیری	۰.۰٪	۰.۰٪
سقف موجودی خون در بیمارستان	۶.۱٪	۵.۸٪

نتایج جدول ۷ را می‌توان به شرح زیر تبیین کرد:

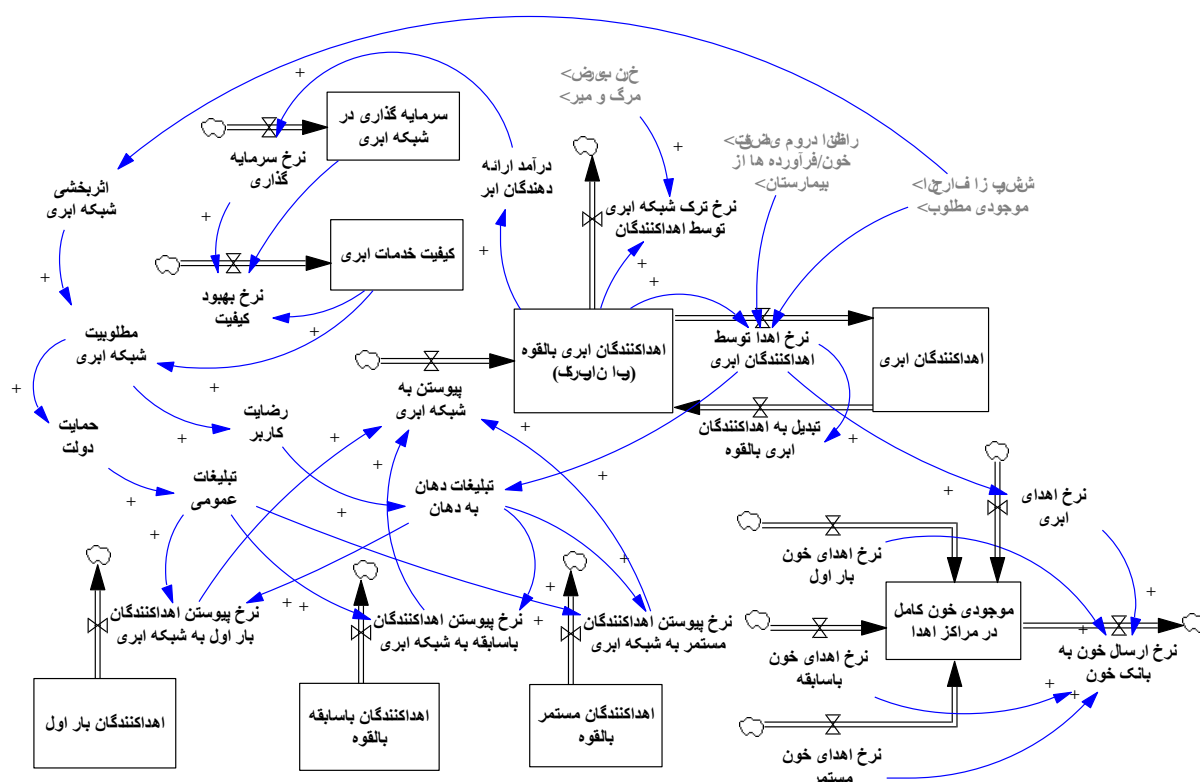
پارامترهای «درصد تحقق بودجه تبلیغاتی»، «پوشش موجودی مطلوب خون در بانک‌های خون»، «پوشش موجودی مطلوب خون در بیمارستان» و «سقف موجودی خون در بیمارستان» تاثیر زیادی بر رفتار سیستم دارند زیرا یک تغییر کوچک در آنها منجر به ایجاد تغییر بزرگی در متغیر پاسخ می‌شود. نوسانات سایر پارامترها یا فاقد تاثیر است و یا تاثیر اندکی بر رفتار مدل دارد. با دقت در نتایج ارائه‌شده در جدول ۷ می‌توان پی برد که عواملی که شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب را شدیداً تحت تاثیر قرار می‌دهند، عناصری هستند که یا بر عرضه و یا بر تقاضا تاثیر گذارند. از این‌رو، می‌توان استنباط کرد که با کنترل عوامل اثرگذار بر عرضه و تقاضا، می‌توان این انحراف را تا حد امکان تحت کنترل درآورد. اکنون سیاستی باید پیاده شود که با اصلاح ساختار کلی سیستم، امکان برقراری تعادل بین عرضه و تقاضا را فراهم کرده و رفتار کلی سیستم را به سمت بهبود سوق دهد. سیاست پیشنهادی ما در این مقاله، استفاده از رایانش ابری است. در ادامه، این سیاست پیشنهادی را وارد مدل پویایی‌شناسی کرده و تاثیر آن بر عملکرد زنجیره تامین خون را از نقطه‌نظر شاخص «انحراف از پوشش موجودی مطلوب» و متغیرهای «مطلوبیت اهدا»، «صف اهدا» و «توسعه ظرفیت» مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

۴-۹) طراحی و ارزیابی سیاست پیشنهادی: زنجیره تامین خون بر بستر ابر

هدف از این بخش، بررسی این موضوع است که آیا به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات در سراسر زنجیره تامین خون و در بستر شبکه ابری می‌تواند عملکرد زنجیره تامین خون را بهبود بخشد یا خیر؟

۴-۹-۱) فرمولاسیون سیاست

در این مرحله، نمودار حالت - جریان مربوط به زنجیره تامین خون در بستر شبکه ابری را رسم می‌کنیم. نمودار ۸ نمودار حالت - جریان مربوط به شبکه ابری را نشان می‌دهد (فقط بخش مربوط به ابر).



نمودار ۸. نمودار حالت - جریان زنجیره تامین خون بر بستر ابر

بخشی از اهداکنندگانی که از قبل به شبکه ابری ملحق شده‌اند، هر بار که برای اهدای مجدد اقدام می‌کنند، علاقه خود به این فناوری را مشتاقانه به اهداکنندگان سنتی اعلام می‌کنند. این تبلیغ دهان‌به‌دهان، هم برای اهداکنندگان بار اول و هم برای اهداکنندگان با سابقه و مستمر جذاب بوده و آنها را ترغیب می‌کند تا به شبکه ابری بپیوندند. همانطور که در مفروضات مدل مطرح شد، کاربران ابری تا زمانیکه توانایی اهدا را داشته باشند، تمایل ندارند شبکه ابری را ترک کرده و به حالت سنتی برگردند. افزایش کاربران ابری منجر به کسب درآمد بیشتر توسط ارائه‌دهندگان خدمات ابری می‌شود. بخشی از این درآمد برای ارتقای خدمات، سرمایه‌گذاری می‌شود. بهبود کیفیت خدمات ابری، در کنار اثربخشی درک‌شده، مطلوبیت شبکه ابری را افزایش می‌دهد که آن نیز به نوبه خود، رضایت کاربر را بالا می‌برد. مطلوبیت ارتقا یافته، دولت را متقاعد می‌کند تا از تکنیک‌های مختلف نظیر تبلیغات عمومی، حمایت بیشتری از شبکه ابری بکند تا بخش جدیدی از اهداکنندگان سنتی جذب شبکه ابری شوند.

کاربران شبکه ابری با تکیه بر داده‌ها و اطلاعات موجود در شبکه، از میزان موجودی لحظه‌ای^{۱۳۵} خون و فرآورده‌های آن در کل زنجیره تامین مطلع می‌شوند. اهداکنندگان بالقوه لازم نیست که نگران سطح موجودی بیمارستان‌ها باشند زیرا مسئولیت مدیریت کارآمد موجودی بیمارستان‌ها برعهده خود بیمارستان‌ها و بانک‌های خون است. در صورتیکه بین سطح موجودی واقعی و مطلوب یک کالا در بانک‌های خون شکاف وجود داشته باشد، اهداکنندگان تا زمانی که شکاف پر شود مشارکت می‌کنند. در زنجیره بر بستر ابر، بانک‌های خون نگران کمبود یا اتلاف خون و فرآورده‌های خون نیستند زیرا اهداکنندگان در زمان مناسب کمک می‌کنند و درواقع بخش بزرگی از مدیریت موجودی کالاها برعهده خود اهداکنندگان است. از سوی دیگر، این فرآیند از دو جهت حس خوبی را به اهداکنندگان القا خواهد کرد. نخست اینکه می‌توانند زنجیره تامین را در برابر کمبودهای احتمالی محافظت کنند. دوم اینکه می‌توانند اعتماد کنند که خون اهدایی آنها هدر نرفته و مفید واقع شده‌است.

در مدیریت زنجیره تامین خون سنتی، پیش‌بینی تقاضای موردانتظار برای یک کالا، به تقاضای بیماران از بیمارستان‌ها متکی است و منجر به سفارش‌هایی می‌شود که به بانک‌های خون ارسال می‌شوند. سفارش‌های بیمارستان برای یک کالا به بانک‌های خون، مبنای پیش‌بینی سفارش موردانتظار برای آن کالا به بانک‌های خون است که متعاقباً برای مدیریت موجودی بانک‌های خون استفاده می‌شود. در سوی مقابل، در زنجیره تامین خون بر بستر ابر، بانک‌های خون دسترسی مستقیم و آنی به تقاضای بیماران برای یک کالا از بیمارستان‌ها دارند و بیمارستان‌ها نیز دسترسی مستقیم و آنی به سطح موجودی اقلام در بانک‌های خون دارند. بانک‌های خون و بیمارستان‌ها از طریق تبادل افکار و نظرات در جهت: (۱) شارژ کردن موجودی اقلام در بیمارستان‌ها و (۲) مدیریت سطح موجودی اقلام در بانک‌های خون با یکدیگر همکاری می‌کنند که این فرآیند نگرانی‌های مربوط به کمبود یا اتلاف در شبکه، بر بستر ابر را کاهش می‌دهد. بطور خلاصه، در زنجیره تامین خون بر بستر ابر محاسن زیر قابل طرح است:

(۱) بیمارستان‌ها و بانک‌های خون از وضعیت موجودی همدیگر آگاه هستند و بنابراین می‌توانند موجودی خود را بهتر مدیریت کنند.

(۲) با بکارگیری رایانش ابری؛ میزان تقاضا، نرخ لحظه‌ای اهدا، سطح موجودی و سایر اطلاعات مرتبط با هر کدام از اقلام در لحظه برای تمامی اعضای زنجیره تامین، شفاف و قابل رویت است. لذا افراد واجد شرایط اهدا می‌توانند به‌درستی تصمیم بگیرند که (۱) آیا در این لحظه نیاز است برای اهدا مراجعه کنند یا خیر؟ (۲) نیاز به کدامیک از اقلام حیاتی‌تر است تا برای اهدای آن اقدام کنند؟ (خون کامل یا پلاکت فرزیس و همچنین هر کدام از گروه‌های خونی)

(۳) تمام پیش‌بینی‌ها براساس مقادیر قطعی تقاضا خواهند بود و تمامی سطوح زنجیره در لحظه به اعداد قطعی دسترسی خواهند داشت. دید و شفافیت ارائه‌شده توسط فناوری رایانش ابری، امکان توافقات مبتنی بر اجماع فکری در مورد تصمیمات را فراهم می‌کند.

۴-۹-۲) اجرای سیاست

در این مرحله، به اجرای مدل شبیه‌سازی می‌پردازیم. جدول ۸ مقادیر پارامترها و روابط ریاضی مابین متغیرهای کلیدی مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۸. متغیرهای شبکه بر بستر ابر در مدل شبیه‌سازی

نوع متغیر	عنوان متغیر (فارسی)	مختف	مقدار / معادله ریاضی
جریان	پیوستن به شبکه ابری	AU	$BB + BC + BD$
	نرخ اهدا توسط اهداکنندگان ابری	AV	$IF THEN ELSE(AM \leq 0, MIN(AM \times AK, BF) \times 0.05, 0)$
	نرخ ترک شبکه ابری توسط اهداکنندگان	AW	$BF \times CH + BF \times RANDOM\ UNIFORM(7e-005, 0.00011, 1000)$
	تبدیل به اهداکنندگان ابری بالقوه	AX	$DELAY\ FIXED(AV, 90, 0)$
	نرخ اهدای ابری	AY	AV
	نرخ سرمایه‌گذاری	AZ	$BM \times 0.5$
	نرخ بهبود کیفیت	BA	$(1 - BH) \times (AZ/BI)$
	نرخ پیوستن اهداکنندگان بار اول به شبکه ابری	BB	$(BP \times (CI / (CI + CJ + CK))) \times 1/3 + (BR \times (BL \times 0.001))$
	نرخ پیوستن اهداکنندگان باسابقه به شبکه ابری	BC	$(BP \times (CJ / (CI + CJ + CK))) \times 1/3 + (BR \times (BJ \times 0.003))$
	نرخ پیوستن اهداکنندگان مستمر به شبکه ابری	BD	$(BP \times (CK / (CI + CJ + CK))) \times 1/3 + (BR \times (BK \times 0.005))$
حالت	نرخ ارسال خون به بانک خون	BE	$BY + BZ + CA + AY$
	اهداکنندگان ابری بالقوه (کاربران ابر)	BF	$INTEG((AU + AX) - (AW + AV), InitBF)$
	اهداکنندگان ابری	BG	$INTEG((AV - AX), InitBG)$
	کیفیت خدمات ابری	BH	$INTEG((BA), InitBH)$
	سرمایه‌گذاری در شبکه ابری	BI	$INTEG((AZ), InitBI)$
	اهداکنندگان باسابقه بالقوه	BJ	$INTEG((CL + CM + CN) - (CO + CP + CQ + CJ + BC), InitBJ)$
	اهداکنندگان مستمر بالقوه	BK	$INTEG((CO + CR) - (CN + CS + CT + CK + BD), InitBK)$

نوع متغیر	عنوان متغیر (فارسی)	مخفف	مقدار / معادله ریاضی
کمکی	اهدایکنندگان بار اول	BL	$\text{INTEG} (CI - CU - CL - BB, \text{InitBL})$
	درآمد ارائه‌دهندگان ابر	BM	$BF \times 1$
	مطلوبیت شبکه ابری	BN	$CV \times BH$
	رضایت کاربر	BO	BN
	تبلیغات دهان به دهان	BP	$\text{IF THEN ELSE}(BO \geq 0.9, AV \times 0.05, \text{IF THEN ELSE}(BO \geq 0.8: \text{AND: } BO < 0.9, AV \times 0.04, \text{IF THEN ELSE}(BO \geq 0.7: \text{AND: } BO < 0.8, AV \times 0.03, \text{IF THEN ELSE}(BO \geq 0.6: \text{AND: } BO < 0.7, AV \times 0.02, AV \times 0.01))))$
	حمایت دولت	BQ	BN
	تبلیغات عمومی	BR	BQ

CH: ضریب نرخ مرگ‌ومیر

CI: نرخ مراجعه اهداکننده بار اول جهت اهدا

CJ: نرخ مراجعه اهداکنندگان باسابقه جهت اهدا

CK: نرخ مراجعه اهداکنندگان مستمر جهت اهدا

CL: نرخ تبدیل اهداکننده بار اول به اهداکننده باسابقه

CU: نرخ مرگ‌ومیر اهداکنندگان بار اول

CM: نرخ تبدیل مجدد به اهداکننده بالقوه باسابقه

CN: نرخ تبدیل مستمر به باسابقه

CO: نرخ تبدیل باسابقه به مستمر

CP: نرخ ترک اهدای باسابقه به‌خاطر شرایط سنی

CQ: نرخ ترک اهدای باسابقه به‌خاطر عدم مطلوبیت

CR: نرخ تبدیل مجدد به اهداکننده بالقوه مستمر

CS: نرخ ترک اهدای مستمر به‌خاطر شرایط سنی

CT: نرخ ترک اهدای مستمر به‌خاطر عدم مطلوبیت

۳-۹-۴) ارزیابی سیاست: نتایج و یافته‌ها

در این بخش، در راستای ارزیابی سیاست پیشنهادی، عملکرد زنجیره تامین خون در دو حالت سنتی و بر بستر ابر، از دیدگاه شاخص کلیدی عملکرد «انحراف از پوشش موجودی مطلوب» و متغیرهای کلیدی «توسعه ظرفیت»، «صف اهدا» و «مطلوبیت اهدا» مقایسه می‌شود.

۳-۹-۴-۱) شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب

این شاخص به‌منظور پایش انحرافات مثبت و منفی موجودی خون و فرآورده‌های خونی از سطح مطلوب (ازپیش تعریف شده) تعریف می‌شود. هدف این شاخص، کمک به مدیریت موجودی خون در جهت ثبات موجودی و

حداقل سازی میزان اتلاف و کمبود خون در زنجیره می‌باشد. یک زنجیره تامین خون کارآمد، نرخ انحراف از پوشش موجودی مطلوب خون پایینی دارد. معادله این شاخص به شرح زیر است:

$$\left| \text{پوشش موجودی مطلوب زنجیره} - \text{پوشش موجودی زنجیره} \right| = \text{شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب}$$

که در آن:

پوشش موجودی مطلوب زنجیره = عدد ثابت از پیش تعیین شده توسط تصمیم گیرندگان

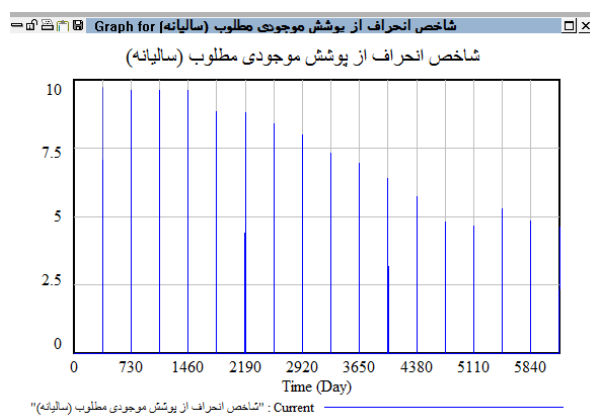
و

$$\text{تقاضای مورد انتظار از زنجیره} = \frac{(\text{موجودی بیمارستان} + \text{موجودی بانک خون})}{\text{پوشش موجودی زنجیره}}$$

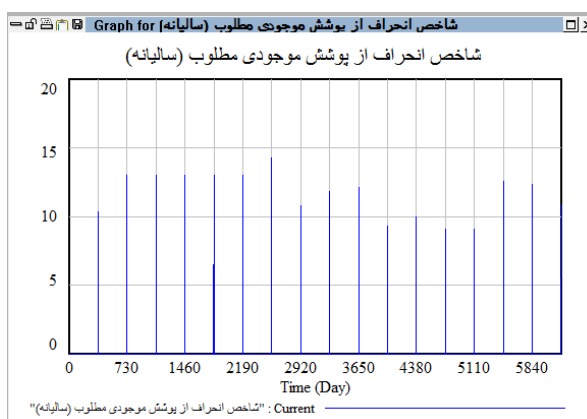
در این بخش، مقادیر این شاخص به صورت سالیانه محاسبه شده است. جدول ۹ آماره‌های توصیفی نرخ انحراف از پوشش موجودی مطلوب خون را در دو شرایط سنتی و بر بستر ابر نشان می‌دهد. نمودارهای ۹ و ۱۰ به ترتیب روند این شاخص کلیدی عملکرد را در شرایط سنتی و بر بستر ابر در گذر زمان نشان می‌دهد.

جدول ۹. آماره‌های توصیفی شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب (به واحد روز)

شرایط	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
سنتی	۷.۵	۱۲.۱	۹.۹	۱.۹
ابری	۳.۳	۹.۱	۵.۹	۲.۱



نمودار ۱۰. شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب در زنجیره تامین خون بر بستر ابر



نمودار ۹. شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب در زنجیره تامین خون سنتی

نتایج ارائه شده در جدول ۹ نشان می‌دهد که شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب در شرایط ابری نسبت به شرایط سنتی بطور متوسط، ۴ روز کمتر است. این بدان معنی است که با استقرار شبکه ابری در طول افق زمانی مدنظر، شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب بطور متوسط ۴۰ درصد کاهش یافته است. کاهش شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب، معادل کاهش ریسک اتلاف‌ها و کمبودها و نیز هزینه‌های مترادف با آنها است. لذا می‌توان نتیجه گرفت

که با پیوستن زنجیره تامین خون به شبکه ابری، عملکرد آن ارتقا می‌یابد. همچنین روندهای نمایش داده شده در نمودارهای ۹ و ۱۰ حاکی از سه نکته است:

(۱) در نمودار ۹، نوسان پوشش موجودی در سرتاسر افق زمانی دیده می‌شود درحالی‌که در نمودار ۱۰، تا قبل از شروع دوره کووید-۱۹ (زمان ۵۱۱۰) روند حرکتی شاخص، مشخص و قابل پیش‌بینی است. در توضیح این وضعیت ابتدا باید اشاره کرد که نوسانات عرضه و تقاضا منجر به نوسان در سطح موجودی می‌شود. با توجه به نحوه محاسبه شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب، به راحتی می‌توان پی برد که نوسان در سطح موجودی نیز منجر به نوسان در مقدار این شاخص می‌شود. تقاضا برای خون و فرآورده‌های خونی، هم در شرایط سنتی و هم در شرایط ابری، با نوسان همراه است و تفاوت اصلی زنجیره‌های تامین خون سنتی و ابری، در نحوه مدیریت کردن عرضه است. درواقع در شرایط سنتی، اهداکنندگان براساس تصمیمات شخصی خود اقدام به اهدا می‌کنند و نقش سازمان درخواست‌کننده، صرفاً در اجرای اقدامات محرک نظیر تبلیغات برای ایجاد مطلوبیت اهدا خلاصه می‌شود. در سوی مقابل، در زنجیره تامین خون بر بستر ابر، اهدای خون به صورت هدفمند انجام می‌گیرد. به این معنی که اهداکنندگان ضمن اطلاع از میزان اضطراب برای خون و فرآورده‌های آن اقدام به اهدا می‌کنند و در صورتیکه اضطراب نباشد، از اهدا خودداری می‌کنند. این وضعیت باعث می‌شود که بخش اعظم مدیریت موجودی خون، در نقطه عرضه صورت پذیرد. ضمناً تبعیت کردن عرضه از تقاضا باعث می‌شود که بین عرضه و تقاضا تعادل برقرار شود. این تعادل بین عرضه و تقاضا، نوسانات موجودی را به حداقل رسانده و منجر به ثبات پوشش موجودی می‌شود. کنترل نوسانات، پیش‌بینی را تسهیل کرده و ریسک اتلاف‌ها و کمبودها و هزینه‌های مترادف با آنها را کاهش می‌دهد. بطور خلاصه، نوسان پوشش موجودی مشاهده شده در نمودار ۹ ناشی از عدم تعادل عرضه و تقاضا و نوسان سطح موجودی ناشی از آن است درحالی‌که ثبات پوشش موجودی ملاحظه شده در نمودار ۱۰ ناشی از برقراری تعادل بین عرضه و تقاضا در اثر مدیریت عرضه می‌باشد.

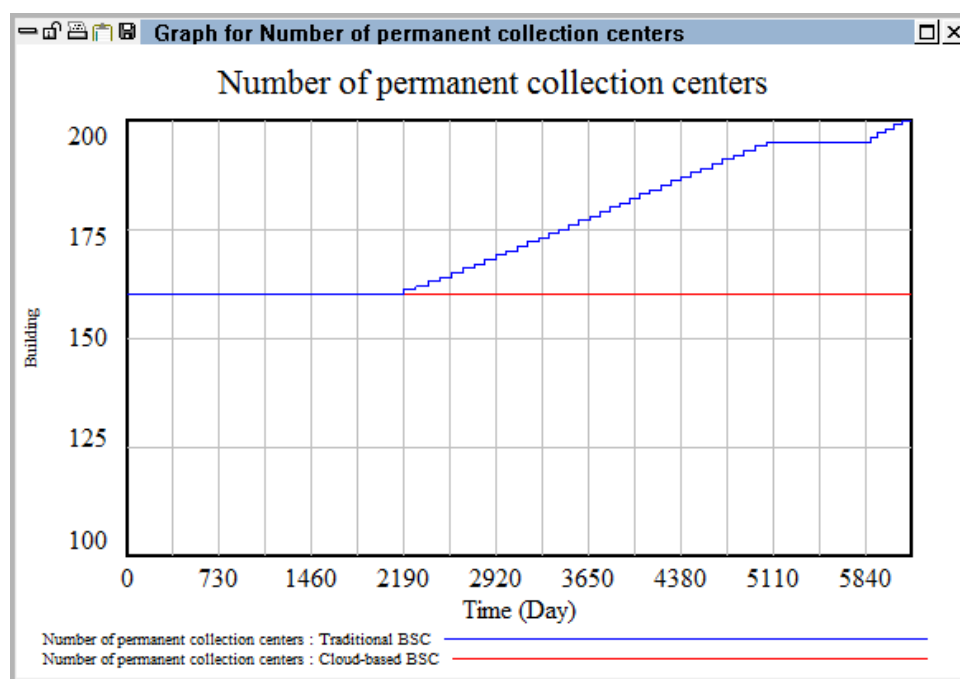
(۲) همانطور که در نمودار ۱۰ دیده می‌شود، با استقرار شبکه ابری، روند شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب نزولی می‌شود. هرچه پوشش موجودی واقعی به پوشش موجودی مطلوب نزدیک‌تر باشد، احتمال کمبود یا اتلاف خون، کاهش پیدا می‌کند که این امر، بسیار مطلوب است. در توضیح این پدیده باید اشاره کنیم که در ابتدای دوره شبیه‌سازی، تعداد افرادی که به شبکه ابری پیوسته‌اند، کم است اما با گذشت زمان و پیوستن افراد بیشتر به شبکه ابری، هدفمندی اهدا افزایش می‌یابد. هدفمند بودن عرضه در زنجیره تامین خون بر بستر ابر و مدیریت موجودی از مبدا باعث می‌شود که افزایش یا کاهش نامتعارف در سطح موجودی اتفاق نیفتد. در این حالت، پوشش موجودی واقعی زنجیره، به پوشش موجودی مطلوب نزدیک‌تر شده و در نتیجه مقدار شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب کاهش می‌یابد. این روند، در نمودار ۱۰ به وضوح دیده می‌شود.

(۳) با شروع دوره کووید-۱۹ در لحظه ۵۱۱۰ و محاسبه شاخص انحراف از پوشش موجودی در دوره (سال) اول بعد از این همه‌گیری (زمان ۵۴۷۵)، ملاحظه می‌شود که اندکی افزایش، در مقدار شاخص انحراف به وجود آمده است و منجر به نوسان در این دوره شده است. این افزایش در مقدار شاخص ناشی از تاثیر همه‌گیری کرونا بر مطلوبیت

اهدا و مراجعه کمتر از انتظار افراد برای اهدا می‌باشد. حال مقدار نوسان شاخص را در دو حالت سنتی و ابری مقایسه می‌کنیم. ملاحظه می‌شود که در شرایط سنتی، افزایش ۴ واحدی در مقدار شاخص انحراف به وجود آمده‌است در حالیکه در وضعیت ابری، مقدار افزایش کمتر از ۱ واحد است و بعد از آن نیز روند نزولی شاخص ادامه پیدا کرده‌است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در زنجیره تامین خون بر بستر ابر، تاثیر اختلال‌ها، به‌ویژه اختلال‌های طولانی مدت بر سطوح موجودی خون و فرآورده‌های آن، بسیار کمتر از زنجیره تامین خون سنتی خواهد بود. این بدان معنی است که در صورت استقرار شبکه ابری، میزان اتلاف یا کمبود خون و هزینه‌های مرتبط با آن در شرایط اختلال، کاهش خواهد یافت.

۴-۹-۳-۲) توسعه ظرفیت

زمانیکه نرخ کل اهداکنندگان بزرگتر از ظرفیت جمع‌آوری خون باشد، یک شکاف ظرفیتی در شبکه به‌وجود خواهد آمد. برای پُر کردن این شکاف، لازم است که مراکز دائمی تاسیس شده و از این طریق، ظرفیت جمع‌آوری خون در زنجیره افزایش یابد. اما این افزایش ظرفیت، هزینه‌های نسبتاً گزافی را به زنجیره تامین تحمیل کرده و تامین بودجه بیشتری می‌طلبد. لذا حداقل‌سازی افزایش ظرفیت یک هدف مطلوب به حساب می‌آید. در این مقاله فرض شده‌است که به محض نیاز، بلافاصله مراکز دائمی به تعداد موردنیاز جهت از بین بردن شکاف تاسیس شده و به فرآیند جمع‌آوری اضافه می‌شود. نمودار ۱۱ رفتار متغیر «تعداد مراکز دائمی جمع‌آوری خون» به‌عنوان نماینده متغیر «توسعه ظرفیت» در دو حالت سنتی و ابری را در کنار همدیگر نشان می‌دهد.



نمودار ۱۱. رفتار متغیر "تعداد مراکز دائمی جمع‌آوری خون/فرآورده‌های خون" در دو حالت سنتی و ابری

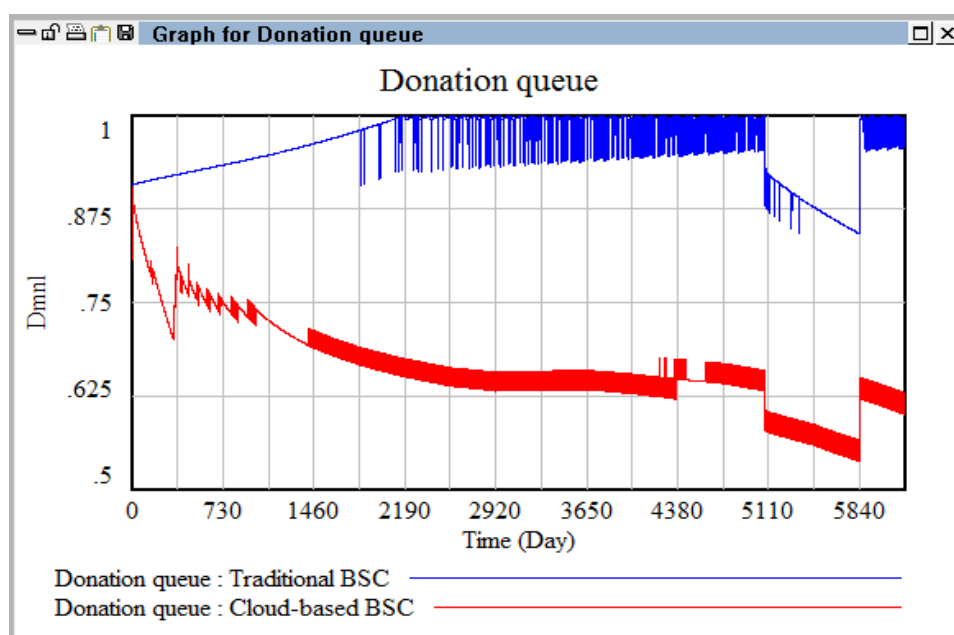
همانطور که در نمودار ۱۱ دیده می‌شود؛ در حالت زنجیره تامین سنتی، مقدار اولیه‌ای که برای تعداد مراکز ثابت

تعیین شده است تا روز ۲۱۹۰ بدون تغییر مانده است (ظرفیت موجود کافی بوده است) و از این تاریخ به بعد براساس نیاز، شروع به افزایش کرده است. با رسیدن به بازه زمانی مربوط به کووید-۱۹ که در آن کاهش در نرخ اهدای خون اتفاق افتاده، تعداد مراکز جمع آوری خون نیز ثابت مانده است. پس از اتمام دوره کرونا و افزایش مجدد نرخ اهدا، تعداد مراکز ثابت نیز مطابق نیاز با نرخ مشخصی، شروع به زیاد شدن کرده است.

در سوی دیگر، در زنجیره تامین خون بر بستر ابر، همان مقدار اولیه ای که برای تعداد مراکز ثابت اهدای خون تعیین شده، در افق زمانی شبیه سازی ثابت مانده است. این موضوع حاکی از آن است که در هیچ نقطه ای از افق زمانی، نرخ کلی اهداکنندگان، از ظرفیت در دسترس تجاوز نکرده است. دلیل این مهم، نقش به اشتراک گذاری اطلاعات از طریق شبکه ابری در تسطیح نرخ مراجعه اهداکنندگان به مراکز جهت اهدا است. لذا از منافع واضح استقرار شبکه ابری، حداقل سازی نیاز به افزایش ظرفیت جمع آوری خون از طریق متعادل سازی نرخ اهدا و ذخیره سازی هزینه ای مترادف با آن است.

۴-۹-۳-۳ صف اهدا

مطابق جدول ۶ در این مقاله، صف اهدا به صورت نسبت نرخ کل اهداکنندگان به ظرفیت جمع آوری خون تعریف شده است. نمودار ۱۲ رفتار متغیر «صف اهدا» در دو حالت سنتی و ابری را در کنار یکدیگر نشان می دهد.



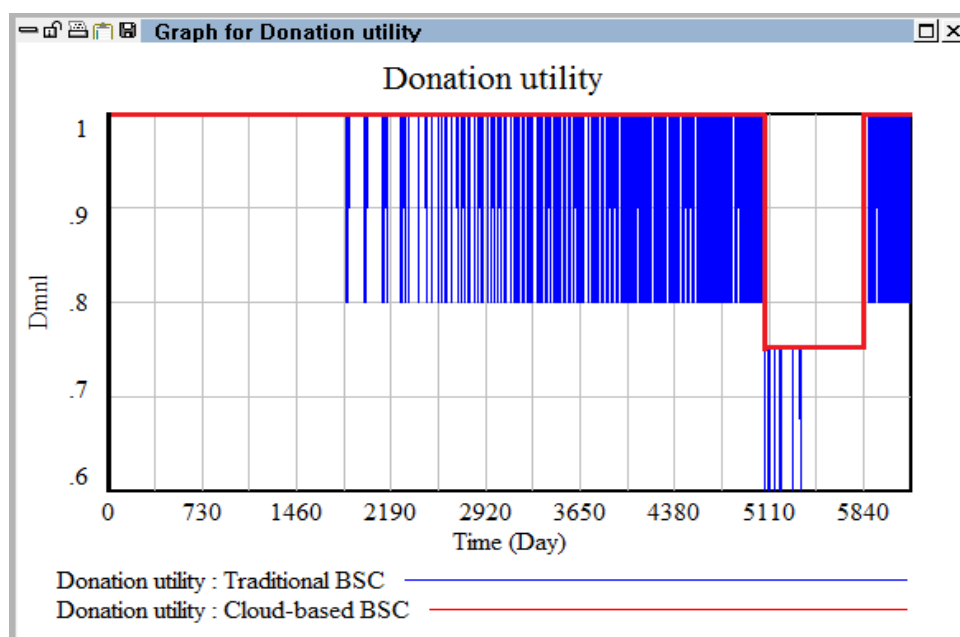
نمودار ۱۲. رفتار متغیر "صف اهدا" در دو حالت سنتی و ابری

در نمودار ۱۲، صف اهدا از ابتدای افق زمانی اوج گرفته و در نقطه ۲۱۹۰ به حداکثر مقدار خود (یعنی ۱) رسیده است. با رسیدن به این نقطه، همانطور که در بند قبلی مشاهده شد، ایجاد مراکز ثابت جدید آغاز می شود تا جاییکه صف اهدا بیشتر از یک نمی شود. در این مقاله فرض شده است که مراکز ثابت به محض نیاز، بلافاصله به فرآیند جمع آوری اضافه می شوند. این یک فرض ساده ساز است و می دانیم که در دنیای واقعیت، این کار امکان پذیر نیست و ساخت یک مرکز ثابت، نیاز به زمان دارد. لذا می توان نتیجه گرفت که در بازه زمانی که صف اهدا برابر با یک است، درواقع بیشتر از یک

است و صف ایجاد شده‌است. با مشاهده نمودار می‌توان پی برد که از لحظه ۲۱۹۰ تا انتهای افق زمانی به استثنای دوره کرونا، در اغلب مواقع صف اهدا وجود داشته‌است اما در رابطه با زنجیره تامین خون ابری، شرایط کاملاً متفاوت است. نخست اینکه نرخ صف اهدا در شرایط ابری بسیار پایین‌تر از وضعیت سنتی است. این مهم نشان از این دارد که با استقرار شبکه ابری، میزان صف اهدا به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. یکی از علل واضح کاهش صف این است که افراد فقط در مواقع لزوم جهت اهدا مراجعه می‌کنند و در شرایط غیرضروری، از مراجعه برای اهدا و ایجاد صف خودداری می‌کنند. نکته دوم اینکه روند صف اهدا در آن نزولی است. این نکته از این جهت بسیار جالب است که انتظار می‌رود با گذشت زمان و نیاز بیشتر به خون و فرآورده‌های آن، صف اهداکنندگان نیز افزایش یابد همانطور که در زنجیره تامین خون سنتی مشاهده شد. دلیل اینکه در زنجیره تامین خون ابری، روند صف اهدا نزولی هدفمند است، از مشاهده رفتار نرخ‌های اهدای بار اول، باسابقه، مستمر و ابری قابل استدلال است. اهداکنندگان باسابقه و مستمر که بخش اصلی اهداکنندگان را تشکیل می‌دهند، در ابتدای استقرار شبکه ابری هنوز از حالت سنتی تبعیت می‌کنند و کم‌کم به شبکه ابری ملحق می‌شوند. هرچه اهداکنندگان بیشتری به شبکه ابری می‌پیوندند، از جمعیت اهداکنندگان کم شده و صف اهدا کم‌رنگ‌تر می‌شود تا جاییکه اکثر اهداکنندگان به شبکه ابری پیوسته و رفتار اهدا نظم می‌گیرد. در این نقطه است که صف اهدا تا حدودی به ثبات می‌رسد.

۴-۹-۳-۴) مطلوبیت اهدا

هرچه مطلوبیت اهدا بالاتر باشد، مردم تمایل بیشتری به اهدا خواهند داشت. همانطور که قبلاً بیان شد، در این مقاله سه عامل موثر بر مطلوبیت در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از: اثربخشی تبلیغات، ایمنی درک‌شده توسط اهداکنندگان و سهولت دسترسی. نمودار ۱۳ رفتار متغیر «مطلوبیت اهدا» در دو حالت سنتی و ابری را در کنار همدیگر نشان می‌دهد.



نمودار ۱۳. رفتار متغیر "مطلوبیت اهدا" در دو حالت سنتی و ابری

نمودار ۱۳ نشان می‌دهد که در زنجیره تامین خون سنتی تا پیش از شروع دوره کرونا، مطلوبیت اهدا بر روی اعداد ۱ و ۰.۸ در نوسان است. با مراجعه به مدل شبیه‌سازی مشخص شد، در مواقعی که موجودی خون و فرآورده‌های آن در بانک‌های خون سطح مطلوبی دارد، ضرورت تبلیغات از درجه بالایی برخوردار نیست و از این‌رو، مطلوبیت اهدا بر روی ۰.۸ قرار گرفته‌است. در دوره کووید-۱۹، به‌خاطر تاثیری که کرونا بر روی متغیر ایمنی درک‌شده دارد، افت محسوسی در میزان مطلوبیت مشاهده می‌شود. بطوریکه در هیچ نقطه از این دوره زمانی، مقدار مطلوبیت بر روی عدد یک قرار نگرفته‌است. با اتمام دوره کرونا، میزان مطلوبیت مجدداً در برخی از مواقع به سطح یک برمی‌گردد اما در زنجیره تامین خون بر بستر ابر، سطح مطلوبیت به غیر از دوره کرونا، هیچ افتی در هیچ دوره زمانی نشان نمی‌دهد و همواره بر روی ماکزیمم مقدار خود قرار دارد. افت مشاهده‌شده در دوره کرونا ناشی از متغیر «ایمنی درک‌شده» است که جنبه روانی دارد. بنابراین درمورد مطلوبیت اهدا نیز مشخص است که استقرار شبکه ابری، عملکرد زنجیره تامین خون را بهبود می‌بخشد.

(۵) نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، ساختار زنجیره تامین خون را با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم بررسی کردیم تا بطور سیستماتیک پی ببریم که چگونه روابط متقابل عوامل تاثیرگذار، رفتار آن را سوق می‌دهند. ابتدا به‌منظور توصیف جنبه‌های مختلف ساختار زنجیره تامین خون، با بهره‌گیری از تحقیقات سایر پژوهشگران و نظرات خبرگان، متغیرهای کلیدی ساختار سیستم را شناسایی کردیم. در ادامه با استفاده از اطلاعات موجود، نمودارهای علت-معلولی را ترسیم کردیم سپس برای تحلیل کمی رفتار زنجیره تامین خون، یک نمودار جامع حالت-جریان با استفاده از نرم‌افزار ونسیم ترسیم کردیم. جهت اجرای مدل مقادیر پارامترها، روابط ریاضی فی‌مابین متغیرها و غیره را مشخص کردیم اما پیش از اجرای مدل لازم بود که مدل از لحاظ ساختار، اعتبارسنجی شود. از این‌رو، با استفاده از روش‌های رایج به اعتبارسنجی ساختاری مدل پرداختیم. مدل را اجرا کردیم. در این مرحله، اعتبار رفتاری مدل شبیه‌سازی طراحی شده، بررسی و تایید شد. درنهایت ما کاربرد رایانش ابری در به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات در طول زنجیره تامین به‌عنوان سیاست بهبود عملکرد را پیشنهاد و بررسی کردیم. از شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب و متغیرهای صف اهدا و توسعه ظرفیت برای مقایسه بین عملکرد زنجیره‌های تامین خون ابری و سنتی استفاده کردیم. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مزایای مدیریت زنجیره تامین خون در بستر ابر نسبت به مدیریت زنجیره تامین خون سنتی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

(۱) قابلیت دسترسی گسترده و لحظه‌ای به اطلاعات: خدمات فناوری اطلاعات را می‌توان از هر نقطه از

جهان در ۲۴ ساعت شبانه‌روز و هفت روز هفته از طریق یک برنامه کاربردی توسط یک دستگاه هوشمند مانند رایانه یا تلفن همراه متصل به اینترنت در دسترس قرار داد. به‌عنوان مثال: اهداکنندگان می‌توانند به‌راحتی سوابق اهدای خود را در هر زمان مشاهده کنند.

(۲) ایجاد سیستم هشداردهی خودکار جهت اهدای هدفمند: اهداکنندگان بالقوه از طریق تلفن‌های

هوشمند خود به اپلیکیشن زنجیره تامین خون دسترسی دارند. همچنین سیستم هشداردهی خودکار در بستر ابر،

براساس داده‌های لحظه‌ای عمل می‌کند و در صورت افزایش تقاضا یا کاهش موجودی، به اعضای زنجیره تامین اخطار ارسال می‌کند. از این طریق اهداکنندگان براساس نیاز واقعی سیستم، اقدام به اهدا می‌کنند.

۳) کاهش انحراف از پوشش موجودی مطلوب: روند شاخص انحراف از پوشش موجودی مطلوب مربوط به زنجیره تامین خون در بستر ابر پایین‌تر از زنجیره تامین خون سنتی بوده و ثبات دارد.

۴) کاهش نرخ صف اهدا: نرخ صف اهدا در زنجیره تامین خون ابری بسیار پایین‌تر از زنجیره تامین خون سنتی است.

۵) حداقل سازی نیاز به توسعه ظرفیت جمع‌آوری خون: با استقرار شبکه ابری و متعادل سازی نرخ اهدای ناشی از آن، نیاز به افزایش ظرفیت جمع‌آوری خون به حداقل رسیده و ذخیره‌سازی هزینه‌ای مترادف با آن اتفاق می‌افتد.

۶) بهبود مطلوبیت اهدا: استقرار شبکه ابری، مطلوبیت اهدا را بهبود می‌بخشد. درمجموع می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت زنجیره تامین خون در بستر ابر عملکرد بهتری نسبت به حالت سنتی آن دارد و از این رو می‌توان آن را به عنوان یک سیاست مناسب برای دستیابی کشورها به مدیریت زنجیره تامین خون الکترونیک (e-BSCM¹³⁶) در نظر گرفت.

این مقاله نیز مانند تمامی مطالعات، محدودیت‌هایی داشت که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱) عدم در نظر گرفتن تاثیر اوضاع اقتصادی مردم جامعه بر نرخ مراجعه جهت اهدا.
 - ۲) غفلت از وجود متغیرهای دیگری که بر رفتار سیستم تاثیر گذار هستند.
- فرصت‌های مطالعاتی که یا مشابه این مقاله هستند و یا می‌توانند تکمیل‌کننده این مقاله باشند عبارتند از:
- ۱) لحاظ کردن تمامی هزینه‌ها و انجام آنالیز هزینه-منفعت پیاده‌سازی رایانش ابری در زنجیره تامین خون.
 - ۲) مطالعه بر روی جوانب امنیتی استقرار رایانش ابری در زنجیره تامین خون.
 - ۳) اضافه کردن ساختار اهدای پلاکت فرزیس و در نظر گرفتن گروه‌های خونی مختلف در مدل.
 - ۴) طراحی و توسعه اپلیکیشن اتصال به شبکه زنجیره تامین خون.

منابع

- Abbas, H., Zhao, L., Gong, X., & Faiz, N. (2023). The perishable products case to achieve sustainable food quality and safety goals implementing on-field sustainable supply chain model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 87, 101562. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101562>.
- Abdelmaboud, A., Jawawi, D. N., Ghani, I., Elsafi, A., & Kitchenham, B. (2015). Quality of service approaches in cloud computing: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, 101, 159-179. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.12.015>.
- Alajmi, Q., Sadiq, A., Kamaludin, A., & Al-Sharafi, M. A. (2017, May). E-learning models: The effectiveness of the cloud-based E-learning model over the traditional E-learning model. In *2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT)* (pp. 12-16). IEEE. DOI: 10.1109/ICITECH.2017.8079909.
- Ali, O., & Osmanaj, V. (2020). The role of government regulations in the adoption of cloud computing: A case study of local government. *Computer Law & Security Review*, 36, 105396. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2020.105396>.

- Aminullah, E., & Erman, E. (2021). Policy innovation and emergence of innovative health technology: The system dynamics modelling of early COVID-19 handling in Indonesia. *Technology in Society*, 66, 101682. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101682>.
- Battarra, I., Accorsi, R., Lupi, G., Manzini, R., & Sirri, G. (2022). Location-allocation problem in a multi-terminal cross-dock distribution network for palletized perishables delivery. *Transportation Research Procedia*, 67, 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.12.048>.
- Beliën, J., & Forcé, H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.026>.
- Ben Elmira, W., Hemmak, A., & Senouci, B. (2023). Smart platform for data blood bank management: forecasting demand in blood supply chain using machine learning. *Information*, 14(1), 31. <https://doi.org/10.3390/info14010031>.
- Budak, A., & Çoban, V. (2021). Evaluation of the impact of blockchain technology on supply chain using cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, 184, 115455. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115455>.
- Cassidy, R., Singh, N. S., Schiratti, P. R., Semwanga, A., Binyaruka, P., Sachingongu, N., ... & Blanchet, K. (2019). Mathematical modelling for health systems research: a systematic review of system dynamics and agent-based models. *BMC Health Services Research*, 19, 1-24. <https://doi.org/10.1186/s12913-019-4627-7>.
- Chang, S. C., Lu, M. T., Pan, T. H., & Chen, C. S. (2021). Evaluating the E-health cloud computing systems adoption in Taiwan's healthcare industry. *Life*, 11(4), 310. <https://doi.org/10.3390/life11040310>.
- Cresswell, K., Domínguez Hernández, A., Williams, R., & Sheikh, A. (2022). Key challenges and opportunities for cloud technology in health care: Semistructured interview study. *JMIR Human Factors*, 9(1), e31246. doi:10.2196/31246.
- Damtew, A. W., Borena, T., & Yilma, Y. (2021). The roles of cloud-based supply chain integration on firm performances and competitiveness. *International Journal of Industrial and Manufacturing Systems Engineering*, 6(3), 49-58. doi: 10.11648/j.ijmse.20210603.12.
- Ding, Z., Gong, W., Li, S., & Wu, Z. (2018). System dynamics versus agent-based modeling: A review of complexity simulation in construction waste management. *Sustainability*, 10(7), 2484. <https://doi.org/10.3390/su10072484>.
- Duan, Q., & Liao, T. W. (2014). Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility. *International Journal of Production Economics*, 153, 113-129. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.012>.
- Duong, L. N. K., Wood, L. C., & Wang, W. Y. C. (2020). Inventory management of perishable health products: a decision framework with non-financial measures. *Industrial Management & Data Systems*, 120(5), 987-1002. <https://doi.org/10.1108/IMDS-11-2019-0594>.
- Dural Selcuk, G., & Vasilakis, C. (2023). Evaluating the sustainability of complex health system transformation in the context of population ageing: An empirical system dynamics study. *Journal of the Operational Research Society*, 74(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/01605682.2021.1992307>.
- Eskandari-Khanghahi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Taleizadeh, A. A., & Amin, S. H. (2018). Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 71, 236-250. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.03.004>.
- Eslami, M. H., Jafari, H., Achtenhagen, L., Carlback, J., & Wong, A. (2024). Financial performance and supply chain dynamic capabilities: the Moderating Role of Industry 4.0 technologies. *International Journal of Production Research*, 62(22), 8092-8109. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1966850>.
- Fahimnia, B., Jabbarzadeh, A., Ghavamifar, A., & Bell, M. (2017). Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters. *International Journal of Production Economics*, 183, 700-709. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.11.007>.
- Fahmy, S. A., Zaki, A. M., & Gaber, Y. H. (2023). Optimal locations and flow allocations for aggregation hubs in supply chain networks of perishable products. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86, 101500. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101500>.
- Farid, M., Purdy, N., & Neumann, W. P. (2020). Using system dynamics modelling to show the effect of nurse workload on nurses' health and quality of care. *Ergonomics*, 63(8), 952-964. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1690674>.
- Ferguson, M., & Ketzenberg, M. E. (2006). Information sharing to improve retail product freshness of perishables. *Production and Operations Management*, 15(1), 57-73. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2006.tb00003.x>.
- Forrester, J. W. (1958). Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 36(4), 37-66. DOI: 10.1225/58404.
- Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669-686. <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0368>.
- Gao, F., & Sunyaev, A. (2019). Context matters: A review of the determinant factors in the decision to adopt cloud computing in healthcare. *International Journal of Information Management*, 48, 120-138. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.02.002>.
- German, J. D., Mina, J. K. P., Alfonso, C. M. N., & Yang, K. H. (2018, April). A study on shortage of hospital beds in the Philippines using system dynamics. In *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, IEEE, 72-78. DOI: 10.1109/IEA.2018.8387073.
- Gharehbaghian, A., Abolghasemi, H., & Namini, M. T. (2008). Status of blood transfusion services in Iran. *Asian Journal of Transfusion Science*, 2(1), 13-17. DOI: 10.4103/0973-6247.39505.
- Ghasemi, P., Khalili, H. A., Chobar, A. P., Safavi, S., & Hejri, F. M. (2022). A New Multiechelon Mathematical Modeling for Pre-and Postdisaster Blood Supply Chain: Robust Optimization Approach. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2022(1), 2976929. <https://doi.org/10.1155/2022/2976929>.

- Ghasemzadeh, F., & Pamucar, D. (2023). A local supply chain inventory planning with varying perishability rate product: A case study. *Expert Systems with Applications*, 215, 119362. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119362>.
- Golestani, M., Moosavirad, S. H., Asadi, Y., & Biglari, S. (2021). A multi-objective green hub location problem with multi item-multi temperature joint distribution for perishable products in cold supply chain. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1183-1194. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.026>.
- Habibi-Kouchaksaraei, M., Paydar, M. M., & Asadi-Gangraj, E. (2018). Designing a bi-objective multi-echelon robust blood supply chain in a disaster. *Applied Mathematical Modelling*, 55, 583-599. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.11.004>.
- Hald, K. S., & Kinra, A. (2019). How the blockchain enables and constrains supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 49(4), 376-397. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2019-0063>.
- Hamdan, B., & Diabat, A. (2019). A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. *Computers & Operations Research*, 101, 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.09.001>.
- Hashemi-Amiri, O., Ghorbani, F., & Ji, R. (2023). Integrated supplier selection, scheduling, and routing problem for perishable product supply chain: A distributionally robust approach. *Computers & Industrial Engineering*, 175, 108845. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108845>.
- Heidari-Fathian, H., & Pasandideh, S. H. R. (2018). Green-blood supply chain network design: Robust optimization, bounded objective function & Lagrangian relaxation. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.051>.
- Hosseini, S. M. H., Behrooz, F., & Sana, S. S. (2023). Multi-objective optimization model for blood supply chain network design considering cost of shortage and substitution in disaster. *RAIRO-Operations Research*, 57(1), 59-85. <https://doi.org/10.1051/ro/2022206>.
- Hosseinifard, Z., & Abbasi, B. (2018). The inventory centralization impacts on sustainability of the blood supply chain. *Computers & Operations Research*, 89, 206-212. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.08.014>.
- Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., & Homaei, S. (2020). Blood supply chain management: robust optimization, disruption risk, and blood group compatibility (a real-life case). *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 1085-1104. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01315-0>.
- Idoga, P. E., Toycan, M., Nadiri, H., & Çelebi, E. (2019). Assessing factors militating against the acceptance and successful implementation of a cloud based health center from the healthcare professionals' perspective: a survey of hospitals in Benue state, northcentral Nigeria. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 19, 1-18. <https://doi.org/10.1186/s12911-019-0751-x>.
- Jaigirdar, S. M., Das, S., Chowdhury, A. R., Ahmed, S., & Chakraborty, R. K. (2023). Multi-objective multi-echelon distribution planning for perishable goods supply chain: A case study. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1), 2020367. <https://doi.org/10.1080/23302674.2021.2020367>.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., Suman, R., & Khan, I. H. (2022). Evolutionary trends in progressive cloud computing based healthcare: Ideas, enablers, and barriers. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 3, 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2022.06.001>.
- Jelassi, M., Ghazel, C., & Saïdane, L. A. (2017, September). A survey on quality of service in cloud computing. In *2017 3rd International Conference on Frontiers of Signal Processing (ICFSP)* (pp. 63-67). IEEE. DOI: 10.1109/ICFSP.2017.8097142
- Jhang-Li, J. H., & Chiang, I. R. (2015). Resource allocation and revenue optimization for cloud service providers. *Decision Support Systems*, 77, 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2015.04.008>.
- Katsaliaki, K., & Brailsford, S. C. (2007). Using simulation to improve the blood supply chain. *Journal of The Operational Research Society*, 58(2), 219-227. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602195>.
- Kaur, P. D., & Chana, I. (2014). Cloud based intelligent system for delivering health care as a service. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 346-359. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.09.013>.
- Kendall, K. E., & Lee, S. M. (1980). Formulating blood rotation policies with multiple objectives. *Management Science*, 26(11), 1145-1157. <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.11.1145>.
- Khalilpourazari, S., Soltanzadeh, S., Weber, G. W., & Roy, S. K. (2020). Designing an efficient blood supply chain network in crisis: neural learning, optimization and case study. *Annals of Operations Research*, 289, 123-152. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03437-2>.
- Kim, S., Kim, J., & Kim, D. (2020). Implementation of a blood cold chain system using blockchain technology. *Applied Sciences*, 10(9), 3330. <https://doi.org/10.3390/app10093330>.
- Krishnan, R., Arshinder, K., & Agarwal, R. (2022). Robust optimization of sustainable food supply chain network considering food waste valorization and supply uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108499. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108499>.
- Larimi, N. G., & Yaghoubi, S. (2019). A robust mathematical model for platelet supply chain considering social announcements and blood extraction technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106014. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106014>.
- Legenvre, H., Henke, M., & Ruile, H. (2020). Making sense of the impact of the internet of things on Purchasing and Supply Management: A tension perspective. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 26(1), 100596. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2019.100596>.
- Lin, A., & Chen, N. C. (2012). Cloud computing as an innovation: Perception, attitude, and adoption. *International Journal of Information Management*, 32(6), 533-540. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2012.04.001>.

- Links, J. M., Schwartz, B. S., Lin, S., Kanarek, N., Mitrani-Reiser, J., Sell, T. K., ... & Kendra, J. M. (2018). COPEWELL: a conceptual framework and system dynamics model for predicting community functioning and resilience after disasters. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 12(1), 127-137. <https://doi.org/10.1017/dmp.2017.39>.
- Lu, Q., Chen, J., Song, H., & Zhou, X. (2022). Effects of cloud computing assimilation on supply chain financing risks of SMEs. *Journal of Enterprise Information Management*, 35(6), 1719-1741. <https://doi.org/10.1108/JEIM-11-2020-0461>.
- Mansur, A., Setiawan, N., Faiz, A. H., & Indrawati, S. (2024). Improving Blood Donations and Lean Blood Bank Services in Indonesian Red Cross: A System Dynamics Approach. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 11(9). <https://doi.org/10.18280/mmep.110918>.
- Mansur, A., Vanany, I., & Arvitrida, N. I. (2018). Challenge and opportunity research in blood supply chain management: a literature review. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 154, p. 01092). *EDP Sciences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401092>.
- Maresova, P., Sobeslav, V., & Krejcar, O. (2017). Cost-benefit analysis-evaluation model of cloud computing deployment for use in companies. *Applied Economics*, 49(6), 521-533. <https://doi.org/10.1080/00036846.2016.1200188>.
- Mashat, R. M., Abourobah, S. H., & Salam, M. A. (2024). Impact of Internet of Things Adoption on Organizational Performance: A Mediating Analysis of Supply Chain Integration, Performance, and Competitive Advantage. *Sustainability*, 16(6), 2250. <https://doi.org/10.3390/su16062250>.
- Mohammadi, Z., Barzinpour, F., & Teimoury, E. (2023). A location-inventory model for the sustainable supply chain of perishable products based on pricing and replenishment decisions: A case study. *PloS One*, 18(7), e0288915. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288915>.
- Murmu, V., Kumar, D., Sarkar, B., Mor, R. S., & Jha, A. K. (2023). Sustainable inventory management based on environmental policies for the perishable products under first or last in and first out policy. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 19(7), 4764-4803. Doi: 10.3934/jimo.2022149.
- Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: A review. *Operations Research*, 30(4), 680-708. <https://doi.org/10.1287/opre.30.4.680>.
- Osorio, A. F., Brailsford, S. C., & Smith, H. K. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7191-7212. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1005766>.
- Osorio, A. F., Brailsford, S. C., Smith, H. K., Forero-Matiz, S. P., & Camacho-Rodríguez, B. A. (2017). Simulation-optimization model for production planning in the blood supply chain. *Health Care Management Science*, 20, 548-564. <https://doi.org/10.1007/s10729-016-9370-6>.
- Paul, T., Mondal, S., Islam, N., & Rakshit, S. (2021). The impact of blockchain technology on the tea supply chain and its sustainable performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121163. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121163>.
- Püschel, T., Schryen, G., Hristova, D., & Neumann, D. (2015). Revenue management for cloud computing providers: Decision models for service admission control under non-probabilistic uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 244(2), 637-647. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.027>.
- Quynh, N. T. T., Son, H. X., Le, T. H., Huy, H. N. D., Vo, K. H., Luong, H. H., ... & Duong-Trung, N. (2021). Toward a design of blood donation management by blockchain technologies. In *Computational Science and Its Applications-ICCSA 2021: 21st International Conference, Cagliari, Italy, September 13-16, 2021, Proceedings, Part VIII 21* (pp. 78-90). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87010-2_6.
- Ramezani, R., & Behboodi, Z. (2017). Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.004>.
- Rashid, A., Rasheed, R., Ngah, A. H., & Amirah, N. A. (2024). Unleashing the power of cloud adoption and artificial intelligence in optimizing resilience and sustainable manufacturing supply chain in the USA. *Journal of Manufacturing Technology Management*, (ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2024-0080>.
- Ratten, V. (2012). Entrepreneurial and ethical adoption behaviour of cloud computing. *The Journal of High Technology Management Research*, 23(2), 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2012.06.006>.
- Rosati, P., Fox, G., Kenny, D., & Lynn, T. (2017, December). Quantifying the financial value of cloud investments: a systematic literature review. In *2017 IEEE international conference on cloud computing technology and science (CloudCom)* (pp. 194-201). IEEE. DOI: 10.1109/CloudCom.2017.28.
- Sadri, S., Shahzad, A., & Zhang, K. (2021, February). Blockchain traceability in healthcare: Blood donation supply chain. In *2021 23rd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)* (pp. 119-126). IEEE. DOI: 10.23919/ICACT51234.2021.9370704.
- Safari, F., Safari, N., Hasanzadeh, A., & Ghatari, A. R. (2015). Factors affecting the adoption of cloud computing in small and medium enterprises. *International Journal of Business Information Systems*, 20(1), 116-137. <https://doi.org/10.1504/IJBIS.2015.070894>.
- Sahin, M., Ko, H. S., Lee, H. F., & Azambuja, M. (2017). A simulation case study on supply chain management of a construction firm adopting cloud computing and RFID. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 27(2), 233-254. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2017.086269>.

- Sallehudin, H., Aman, A. H. M., Razak, R. C., Ismail, M., Bakar, N. A. A., Fadzil, A. F. M., & Baker, R. (2020). Performance and key factors of cloud computing implementation in the public sector. *International Journal of Business and Society*, 21(1), 134-152. <https://doi.org/10.33736/ijbs.3231.2020>.
- Savadkoobi, E., Mousazadeh, M., & Torabi, S. A. (2018). A possibilistic location-inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design. *Chemical Engineering Research and Design*, 138, 490-505. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.09.008>.
- Shirzad Talatappeh, S., & Lakzi, A. (2020). Developing a model for investigating the impact of cloud-based systems on green supply chain management. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(4), 741-760. <https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2019-0161>.
- Silbermayr, L., & Waitz, M. (2024). Omni-channel inventory management of perishable products under transshipment and substitution. *International Journal of Production Economics*, 267, 109089. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.109089>.
- Stranieri, S., Riccardi, F., Meuwissen, M. P., & Soregaroli, C. (2021). Exploring the impact of blockchain on the performance of agri-food supply chains. *Food Control*, 119, 107495. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107495>.
- Sy, C., Bernardo, E., Miguel, A., San Juan, J. L., Mayol, A. P., Ching, P. M., ... & Mutuc, J. E. (2020). Policy development for pandemic response using system dynamics: a case study on COVID-19. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 4, 497-501. <https://doi.org/10.1007/s41660-020-00130-x>.
- Tirkolaee, E. B., Golpîra, H., Javanmardan, A., & Maihami, R. (2023). A socio-economic optimization model for blood supply chain network design during the COVID-19 pandemic: An interactive possibilistic programming approach for a real case study. *Socio-Economic Planning Sciences*, 85, 101439. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101439>.
- Tirkolaee, E. B., Hadian, S., Weber, G. W., & Mahdavi, I. (2020). A robust green traffic-based routing problem for perishable products distribution. *Computational Intelligence*, 36(1), 80-101. <https://doi.org/10.1111/coin.12240>.
- Vanany, I., Maryani, A., Amaliah, B., Rinaldy, F., & Muhammad, F. (2015). Blood traceability system for Indonesian blood supply chain. *Procedia Manufacturing*, 4, 535-542. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.073>.
- Wamba, S. F., Queiroz, M. M., & Trinchera, L. (2020). Dynamics between blockchain adoption determinants and supply chain performance: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229, 107791. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107791>.
- Yavari, M., & Geraeli, M. (2019). Heuristic method for robust optimization model for green closed-loop supply chain network design of perishable goods. *Journal of Cleaner Production*, 226, 282-305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.279>.
- Yavari, M., & Zaker, H. (2019). An integrated two-layer network model for designing a resilient green-closed loop supply chain of perishable products under disruption. *Journal of Cleaner Production*, 230, 198-218. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.130>.
- Zahiri, B., & Pishvaei, M. S. (2017). Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 55(7), 2013-2033. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1262563>.
- Zhang, J., & Li, Y. (2023). Collaborative vehicle-drone distribution network optimization for perishable products in the epidemic situation. *Computers & Operations Research*, 149, 106039. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.106039>.