Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Optimizing Smart Supply Chain with Vendor Managed Inventory through the Internet of Things

Tahereh Mohammadi
Ph.D. Candidate, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: taherehmohamadi23@yahoo.com

Seyed Mojtaba Sajadi *
*Corresponding Author, Associate Prof., Department of New Business, Faculty of Entrepreneurship, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: msajadi@ut.ac.ir

Seyed Esmaeil Najafi
Associate Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: najafi1515@gmail.com

Mohammadreza Taghizadeh Yazdi
Associate Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mrtaghizadeh@ut.ac.ir

Abstract

Objective: The purpose of this research was to provide a mathematical model for smart supply chains with Vendor Managed Inventory (VMI) through the Internet of Things (IoT) technology to overcome traditional supply chain challenges and solve problems such as uncertainty, high costs, and changes in customer demands. Creating an intelligent and agile supply chain is essential to tackle these challenges and problems. Generally, customers are still skeptical and doubtful of the smart supply chain, and this skepticism is more likely to arise in the financial context. To improve efficiency, all organizations and institutions need to adapt themselves to external and internal changes, maintain supply chain inventory, and be flexible with customer demands.

Methods: Previous studies discussed intelligent supply chains, IoT, and their combination and described the advantages and disadvantages of using these technologies. Despite much research in this field, no mathematical modeling has been done for a smart supply chain that incorporates technology and automation. Based on such needs and objectives, this study sought to design a two-objective mathematical model, with a four-level supply chain. In this model, there is a direct relationship from suppliers to manufacturers, from producers to retailers, and from retailers to customers. The supply chain was intelligently designed, and the chain levels used Wireless Sensor Network (WSN) technologies, Radio Frequency Identification (RFID), blockchain, and Internet sales.

Results: The designed model in this research was validated by GAMS software. The researchers identified 10 problems of small and medium dimensions in the model. They presented the results in the form of objective function values and solution time. The basic problem was solved using the ε-constraint method. The results obtained from solving the model and the Pareto diagram were presented in detail. The optimal implementation of the mentioned technologies, as well as the time and cost response to this implementation, proved the efficiency of the model.

Conclusion: The present study put forward a two-objective mathematical planning model. The first and second objectives of this model were to minimize the cost and decrease the time of the supply chain, respectively. By solving the basic problem, using the ε-constraint method, the values of the objective functions and the Pareto diagram showed desired results. Solving the model in small and medium-sized dimensions using GAMS software, the values of the objective functions and the solution time were achieved. Also, the results proved the validity of the provided model suggesting that it can be used in larger dimensions. However, due to the lack of memory in GAMS software, for large dimensions, the suggested mathematical model for the smart supply chain needs to be checked using MATLAB software and meta-heuristic algorithms.

Keywords: Internet of things, Smart supply chain, Wireless sensor network, Mathematical modeling.

Citation: Mohammadi, Tahereh; Sajadi, Seyed Mojtaba; Najafi, Seyed Esmaeil & Taghizadeh Yazdi, Mohammadreza (2022). Optimizing Smart Supply Chain with Vendor Managed Inventory through the Internet of Things. *Industrial Management Journal*, 14(3), 458-483. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2021, Vol. 14, No 3, pp. 458-483
Published by University of Tehran, Faculty of Management
https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.343552.1007948
Article Type: Research Paper
© Authors
Received: May 26, 2022
Received in revised form: August 30, 2022
Accepted: September 06, 2022
Published online: November 21, 2022

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

بهینه‌سازی زنجیره تأمین هوشمند تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده با رویکرد انتخاب فناوری مرتبط با اینترنت اشیا

طاهره محمدی
دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: taherehmohamadi23@yahoo.com

سید مجتبی سجادی *
* نویسنده مسئول، دانشیار، گروه کسب‌وکار جدید، دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: msajadi@ut.ac.ir

سید اسماعیل نجفی
دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: najafi1515@gmail.com

محمدرضا تقی‌زاده یزدی
دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mrtaghizadeh@ut.ac.ir

چکیده

هدف: هدف این پژوهش مدل‌سازی ریاضی زنجیره تأمین هوشمند، تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده با رویکرد اینترنت اشیا، برای بهینه‌سازی و رفع چالش‌های زنجیره تأمین سنتی، از قبیل عدم اطمینان، هزینه و تغییر تقاضای مشتریان است.

روش: بر اساس نیازها و اهداف، یک مدل ریاضی دوهدفه ارائه شد که هدف‌های اول و دوم آن، به‌ترتیب حداقل‌ساختن هزینه و حداقل‌ساختن زمان زنجیره تأمین است. در این مدل، یک زنجیره تأمین چهارسطحی در نظر گرفته شده است که ارتباط مستقیم از تأمین‌کننده به تولیدکننده و از تولیدکننده به خرده‌فروش و از خرده‌فروش به مشتری را امکان‌پذیر می‌کند. ماهیت این زنجیره هوشمند است و سطوح زنجیره از فناوری‌های شبکه حسگر بی‌سیم (WSN)، شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)، بلاکچین و فروش اینترنتی بهره می‌برد.

یافته‌ها: در این پژوهش، پس از اعتبارسنجی مدل به‌کمک نرم‌افزار گمز، یک مسئله پایه‌ای با روش ε-constraint حل شد که نتایج حاصل از حل مدل و نمودار پارتو ارائه شده است. بهینگی پیاده‌سازی فناوری‌های مزبور و همچنین واکنش زمان و هزینه به این پیاده‌سازی، کارآمدی مدل را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش یک مسئله پایه‌ای با روش ε-constraint حل شده است. مقادیر توابع هدف و نمودار پارتو، نتایج مطلوبی را نشان می‌دهد. با حل مدل در ابعاد کوچک و متوسط در نرم‌افزار گمز، مقادیر توابع هدف و زمان حل ارائه شده است که نتایج گویای اعتبار مدل است و می‌توان آن را در ابعاد بزرگ‌تر حل کرد. به‌دلیل کمبود حافظه نرم‌افزار گمز، برای حل ابعاد بزرگ مدل، باید از نرم‌افزار متلب و الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: اینترنت اشیا، زنجیرهٔ تأمین هوشمند، شبکه حسگر بی‌سیم، مدل‌سازی ریاضی.

استناد: محمدی، طاهره؛ سجادی، سید مجتبی؛ نجفی، سید اسماعیل و تقی‌زاده یزدی، محمدرضا (۱۴۰۱). بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین هوشمند تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده با رویکرد انتخاب فناوری مرتبط با اینترنت اشیا. *مدیریت صنعتی*، ۱۴(۳)، ۴۵۸-۴۸۳.

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۱، دوره ۱۴، شماره ۳، صص. ۴۵۸-۴۸۳
ناشر: دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© نویسندگان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۸/۳۰
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.343552.1007948

مقدمه

زنجیره‌های تأمین سنتی با چالش‌های متعددی مانند عدم اطمینان، هزینه، پیچیدگی و مسائل آسیب‌پذیر مواجهند. از طرفی تقاضای مشتریان، به‌طور مداوم در حال تغییر است و برای همهٔ سازمان‌ها بسیار مناسب است تا با تغییرات هماهنگ شوند و موجودی زنجیرهٔ تأمین را حفظ کنند و در عین حال با تقاضای مشتری انعطاف‌پذیر باشند. ایجاد یک زنجیرهٔ تأمین هوشمند و چابک، برای رفع این چالش‌ها ضروری است. در سالیان اخیر، توجه به مباحث فناورانه در عرصهٔ زنجیرهٔ تأمین، بیش از پیش اهمیت یافته است. وجود پایگاه‌های اطلاعاتی جامع و معتبر از الزامات مدیریت زنجیرهٔ تأمین است؛ از این رو به‌کارگیری هرچه صحیح‌تر سیستم‌های یکپارچهٔ اطلاعاتی، نظیر فناوری اینترنت از اشیا (IoT)[1] در مدیریت زنجیرهٔ تأمین اهمیت دارد. داده‌های به‌دست‌آمده از اشیای هوشمند، هنگامی که به‌طور مؤثر جمع‌آوری، تجزیه‌وتحلیل و تبدیل به اطلاعات مفید می‌شوند، می‌توانند دید بی‌سابقه‌ای را در تمام جنبه‌های زنجیرهٔ تأمین و هشدارهای اولیه‌ای را دربارهٔ موقعیت‌های داخلی و خارجی که نیاز به اصلاح دارند، ارائه دهند.

پوشش‌دهی اطلاعات به‌شکل دقیق و در لحظه، باعث تسهیل امور و شفاف‌تر شدن روند پیشرفت فرایندها می‌شود. پیاده‌سازی فناوری اطلاعات در زنجیرهٔ تأمین، تأثیرهای چشمگیری در مدیریت آن خواهد گذاشت، ازجمله ایجاد همکاری‌های مشترک میان تمام بخش‌های زنجیره، ایجاد توسعهٔ راهبردی کسب‌وکار در زنجیرهٔ تأمین، تسریع فرایندها و عملیات زنجیرهٔ تأمین (نایار و پوری[1]، ۲۰۱۶).

زنجیرهٔ تأمین هوشمند، مدیریت جریان مواد، اطلاعات و سرمایه و همچنین همکاری در طول زنجیرهٔ تأمین، همراه با یکپارچه‌سازی اهداف را مدنظر قرار می‌دهد. عامل‌های هوشمند، برای بهبود عملکرد زنجیرهٔ تأمین پتانسیل خوبی دارند. به‌کارگیری عامل‌های هوشمند در زنجیرهٔ تأمین، باعث افزایش انعطاف‌پذیری این زنجیره شده و قدرت پاسخ‌گویی به تغییرات هر یک از اجزای این زنجیره را افزایش می‌دهد. این امر تأثیرهای مثبتی در زمان سفارش‌دهی، زمان فرایندهای انسانی و سطوح موجودی و دفعات کمبود موجودی دارد. عامل‌ها می‌توانند از جانب اعضای زنجیرهٔ تأمین با استفاده از ویژگی‌های استقلال و قدرت تصمیم‌گیری نقش ایفا کنند (نایار و پوری، ۲۰۱۶).

اقتصاد درحال توسعهٔ ایران با مشکلات عدیده‌ای در نظام توزیع کالا مواجه است و عدم‌انطباق و رشد نامتوازن آن با سایر ابعاد و مؤلفه‌های توسعهٔ اقتصاد ملی، همچون نظام تولید و مصرف، شاهدی بر آن است؛ به‌نحوی که کالاهای موردنیاز بازار، با زمان‌بندی نامناسب و قیمت چندین برابر بهای تمام‌شده و با پوشش و توزیع نامناسب به مصرف‌کنندگان ارائه می‌شود که دلیل آن، نظام سنتی توزیع کالا در کشور است که عمدتاً بر اساس خرده‌فروشی استوار است. وجود واسطه‌های متعدد بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان، باعث افزایش قیمت و وجود تفاوت چشمگیر بین قیمت خرید از تولیدکننده و قیمت فروش به مصرف‌کننده شده است. این موضوع باعث شده است تا این تفاوت قیمت، به‌نفع عده‌ای باشد که ارزش اقتصادی ایجاد نمی‌کنند. با بررسی و مطالعهٔ شرکت‌های موفق دنیا، می‌توان دریافت که عامل اصلی در موفقیت، مدیریت هوشمند زنجیرهٔ تأمین آن‌هاست و همهٔ آن‌ها دارای سیستم‌های طراحی شده، یکپارچه و هوشمند

1. Internet Of Things
1. Nayyar & Puri

مدیریت زنجیرهٔ تأمین، عرضه و فروش هستند. بر این اساس، یکی از نیازهای اساسی مدیریت کسب‌وکار، وجود سیستم‌های هوشمند و یکپارچه برای مدیریت زنجیرهٔ تأمین و تقاضاست. به نظر می‌رسد، چنانچه شرکتی بخواهد از فرصت‌های کسب‌وکار بهره‌مند شود، می‌بایست با تدبیر و هوشمندی، به‌دنبال ایجاد شبکه‌های منسجم، کارآمد و اثربخش از مواد اولیه، تأمین و تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، عمده و خرده‌فروشان و مشتریان و مصرف‌کنندگان نهایی بوده و در عین حال، به سیستمی یکپارچه و هوشمند برای مدیریت سرتاسر این زنجیره مجهز باشد.

بر همین اساس در این مطالعه، به مدل‌سازی زنجیرهٔ تأمین هوشمند می‌پردازیم که با استفاده از فناوری اینترنت اشیا با دسترسی به اطلاعات سطح‌های مختلف زنجیره، برنامه‌ریزی دقیق‌تری در جهت کنترل موجودی، قیمت‌گذاری و کوتاه‌شدن زمان عرضه انجام می‌دهد. مزیت‌های بسیار مهم بهره‌گیری از اینترنت اشیا در این زنجیره، کمینه‌کردن تأخیر (کاهش زمان تحویل)، بررسی تقاضاها در شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین به‌صورت لحظه‌ایی و کاهش هزینه است که همگی از مسائل کلیدی در زنجیرهٔ تأمین به‌شمار می‌روند.

پیشینهٔ پژوهش

چابکی در زنجیرهٔ تأمین، توانایی زنجیرهٔ تأمین به‌عنوان کل و اعضای زنجیره برای هم‌سویی سریع در شبکه با پویایی‌ها و نوسان‌ها در نیازمندی‌های مشتریان است (شریفی، اسماعیل و رید[1]، ۲۰۰۶). توسعه‌های موازی در زمینهٔ چابکی و مدیریت زنجیرهٔ تأمین، به معرفی مفهوم «زنجیرهٔ تأمین چابک» منجر شد (کریستوفر[2]، ۲۰۰۰). کریستوفر یکی از مروجان نخست مفهوم چابکی در زنجیرهٔ تأمین است. یک زنجیره تأمین برای آنکه واقعاً چابک باشد، بایستی از چهار ویژگی برخوردار باشد: ۱. به بازارحساس باشد؛ ۲. از فناوری اطلاعات استفاده کند؛ ۳. یکپارچگی فرایند داشته باشد؛ ۴. شبکه‌مند باشد (کریستوفر، ۲۰۰۰).

فناوری اطلاعات (IT)[3] که عامل اساسیِ مدیریت مؤثر زنجیرهٔ تأمین بوده و هست، نقش مهمی در کمک به زنجیره‌های تأمین برای مقابله با چالش‌های محیط در حال تغییر و خطرها در همه سطوح ایفا می‌کند. فناوری اطلاعات، به‌دلیل توانایی خود در یکپارچگی داخلی فرایندهای مختلف و مهم‌تر از آن، هماهنگی با تأمین‌کنندگان و مشتریان، تأثیر عمده‌ای بر ماهیت و ساختار زنجیرهٔ تأمین گذاشته است. این امر از طریق بهبود ارتباطات، کسب و انتقال داده‌ها به دست آمده است، که تصمیم‌گیری مؤثر و بهبود عملکرد زنجیرهٔ تأمین را ممکن می‌سازد. اینترنت اشیا، یکی از پیشرفت‌های جدید فناوری اطلاعات و انقلاب جدید فناوری اطلاعات است که در چندین حوزه، از جمله مدیریت زنجیرهٔ تأمین، تغییر الگو ایجاد کرده است. بر اساس گزارش‌ها، کوین اشتون، اصطلاح اینترنت اشیا را در سال ۱۹۹۹ ابداع کرده است (گرین گارد[4]، ۲۰۱۵).

لی و لی[5] (۲۰۱۵) پنج فناوری کلیدی IoT را به شرح زیر تعریف کرده‌اند:

1. Sharifi, Ismail & Reid
2. Christopher
3. Internet Technology
4. Greengard
5. Lee and Lee

۱. شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)[1]: امکان شناسایی، ردیابی و انتقال اطلاعات را فراهم می‌کند. پنج دستهٔ اصلی از برچسب‌های RFID وجود دارد (لوپز، راناسینگه، پاتکای و مک‌فارلین[2]، ۲۰۱۱). دستهٔ اول، تگ‌های غیرفعالی که فقط حافظه خواندن/نوشتن دارند. دستهٔ دوم، بر حافظهٔ خواندن/نوشتن، برخی از قابلیت‌های مرتبط با امنیت اضافه می‌شود. دستهٔ سوم، برچسب‌های نیمه‌غیرفعال است که توسط باتری تغذیه می‌شوند و ممکن است شامل سنسورها باشند. دستهٔ چهارم، تگ‌های فعالی است که با باتری کار می‌کنند و می‌توانند با برچسب‌های مشابه ارتباط برقرار کنند. در نهایت، تگ‌های دستهٔ پنجم که می‌توانند تگ‌های دیگر را فعال کنند و مستقیماً به شبکه‌های back-end متصل شوند (لوپز و همکارانش، ۲۰۱۱).

۲. شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN): شبکه‌ای است متشکل از مجموعه‌ای از حسگرها برای نظارت و ردیابی وضعیت دستگاه‌های مختلف مانند مکان، حرکات یا دمای آن‌ها. سنسورها را می‌توان برای اهداف متعددی مانند دما، فشار، جریان، سطح، تصویربرداری، صدا، آلودگی هوا، همسایگی و جابه‌جایی، مادون قرمز، رطوبت و سرعت، استفاده کرد (رایز و سلام[3]، ۲۰۲۲). آن‌ها همچنین می‌توانند با برچسب‌های RFID همکاری و ارتباط برقرارکنند.

۳. میان‌افزار[4]: لایهٔ نرم‌افزاری سرویس‌گراست که امکان می‌دهد توسعه‌دهندگان نرم‌افزار با دستگاه‌های ناهمگن مانند حسگرها، محرک‌ها یا برچسب‌های RFID ارتباط برقرار کنند.

۴. رایانش ابری[5]: نوعی پلتفرم محاسباتی مبتنی بر اینترنت است. در این پلتفرم، مجموعه‌ای از منابع محاسباتی مختلف (رایانه‌ها، شبکه‌ها حافظه‌ها، نرم‌افزار و غیره) وجود دارد که قابلیت به‌اشتراک‌گذاری دارند و در صورت تقاضا در دسترس هستند. رایانش ابری برای استقرار اینترنت اشیا حیاتی است؛ زیرا حجم عظیمی از داده‌های تولید شده توسط دستگاه‌های اینترنت اشیا وجود دارد که نیاز به تجزیه‌وتحلیل آن‌ها با رایانه‌های پردازشگر پُرسرعت، برای امکان تصمیم‌گیری در زمان واقعی، کارآمد است.

۵. برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا: آن‌ها تعامل دستگاه با دستگاه و انسان با دستگاه را فعال می‌کنند. برنامه‌های اینترنت اشیا رابط بین کاربر و دستگاه‌ها را تشکیل می‌دهند. آن‌ها باید بتوانند داده‌ها را به‌روش شهودی ارائه دهند، مشکلات را شناسایی و راه‌حل‌ها را پیشنهاد کنند.

تعریفی که بن دایا، حسنی و بهرون[6] (۲۰۱۷)، از اینترنت اشیا ارائه داده‌اند، به مدیریت زنجیرهٔ تأمین مربوط می‌شود. به گفتهٔ آن‌ها، اینترنت اشیا شبکه‌ای از اشیای فیزیکی است که به‌صورت حسگرهای الکتریکی برای نظارت و تعامل درونی یک شرکت و همچنین، نظارت و تعامل بین شرکت‌ها متصل هستند و با ایجاد چابکی، دید، ردیابی و به اشتراک‌گذاری اطلاعات در زنجیرهٔ تأمین، به برنامه‌ریزی، کنترل و هماهنگی به‌موقع در فرایندهای زنجیرهٔ تأمین کمک می‌کنند. این تعریف چهار ویژگی کلیدی دارد: ۱. نیاز به اتصال دیجیتالی اشیای فیزیکی در زنجیرهٔ تأمین؛ ۲. ماهیت این

1. Radio Frequency Identification
2. López, Ranasinghe, Patkai, & McFarlane
3. Rayes and Salam
4. Middleware
5. Cloud Computing
6. Ben-Daya, Hassini & Bahroun

اتصال، به‌طوری که امکان ذخیره‌سازی، تجزیه‌وتحلیل و به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها را فراهم می‌کند؛ ۳. ارتباطات شامل فرایندهای درون یک سازمان و همچنین، معاملات بین سازمانی است که تمام فرایندهای زنجیرهٔ تأمین اصلی را پوشش می‌دهد؛ ۴. اینترنت اشیا برنامه‌ریزی، کنترل و هماهنگی فرایندهای زنجیرهٔ تأمین را تسهیل می‌کند. اینترنت اشیا نوعی توانمندساز صنعت ۴.۰[1] محسوب می‌شود که به انقلاب صنعتی چهارم منجر شده است. «اشیا» در انقلاب صنعتی چهارم، شامل محصولات هوشمند، ماشین‌های هوشمند و خدمات هوشمند از قبیل لجستیک، نگهداری و کنترل کیفیت است.

در اروپا و به‌ویژه آلمان، اینترنت اشیا یکی از فناوری‌های پایه‌گذار توانمندساز صنعت ۴.۰ در بخش تولید است. Industry 4.0 به چهارمین انقلاب صنعتی اشاره می‌کند. انقلاب صنعتی اول، مربوط به قدرت مکانیکی (Industry 1.0)، انقلاب صنعتی دوم، تولید انبوه (Industry 2.0) و انقلاب صنعتی سوم، انقلاب دیجیتال (Industry 3.0) است. جو، لیو و جو[2] (۲۰۱۵) مفهوم Industry 4.0 را به‌عنوان یکپارچه‌سازی فناوری اطلاعات و ارتباطات با فناوری صنعتی تعریف می‌کند. علاوه‌بر فناوری اینترنت اشیا، Industry 4.0 به سیستم‌های فیزیکی ـ سایبری (CPS)[3] و تولید ابری (CM)[4] نیاز دارد (بن دایا و همکاران، ۲۰۱۷).

اینترنت اشیا

اینترنت اشیا، اتصال بسیاری از وسایل و اشیای محیط اطراف ما انسان‌ها، به فضای اینترنتی و قابلیت ما در کنترل آن‌ها، از طریق تبلت و گوشی‌های هوشمند، تعریف شده است. با اینترنت اشیا، تمام اشیا به هم متصل می‌شوند. اینترنت اشیا شبکه‌ای است که هر چیزی را به اینترنت، از طریق انواع مختلفی از دستگاه‌های حسگر اطلاعاتی از جمله فرکانس رادیویی شناسایی خودکار (RFID)، سنسور، مایکروویو، سیستم موقعیت‌یابی جهانی، اسکنر لیزر، اتصال می‌دهد و هدف نهایی آن، رسیدن به شناسایی هوشمند، ردیابی محل، نظارت و مدیریت است. اتحادیهٔ بین‌المللی مخابرات (ITU) اینترنت اشیا را به‌صورت IOT در هر زمان، هرجا و برای هر کسی که اتصال وجود داشته باشد، تعریف می‌کند (بای و سرکیس[5]، ۲۰۲۰).

زنجیرهٔ تأمین هوشمند

مدیریت هوشمند زنجیرهٔ تأمین، استفاده از حجم زیادی از داده‌ها برای تصمیم‌گیری بهتر، استفاده از تکنولوژی پیشرفته و به‌دست‌آوردن بینش کامل در طول عملیات است. به بیان دیگر، برای مدیریت هوشمند زنجیرهٔ تأمین، می‌بایست تمام بخش‌ها در انبار، مراکز توزیع، فروشگاه و پورتال تجارت الکترونیک، به یکدیگر متصل بوده و با یکدیگر ارتباط داشته باشند. تمامی مراکز ذکر شده، باید در صورت نیاز، توانایی مبادلهٔ اطلاعات و سفارش‌های مجدد را داشته باشند تا از تقاضای مشتریان در هر مکان و زمانی مطلع شوند (عبدالباسط، منوگران و محمد[6]، ۲۰۱۸).

1. Industry 4
2. Zhou, Liu & Zhou
3. Cyber physical systems
4. Cloud manufacturing
5. Bai & Sarkis
6. Abdel-Basset, Manogaran & Mohamed

مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)[1]

سازوکار تأمین‌کننده‌ای است که سفارش‌های خرید را بر مبنای اطلاعات مربوط به تقاضای مشتریان، برای بنگاه اقتصادی انجام می‌دهد. ساختار اولیهٔ مفهومی VMI را مگی[2] در سال ۱۹۵۸بدین صورت مطرح کرد: چه کسی می‌بایست مسئولیت کنترل موجودی‌ها را داشته باشد؟ تعریف مگی از مدیریت موجودی توسط فروشنده، سیستم تأمین‌کننده‌ای است که سطوح موجودی خریدار را کنترل می‌کند تا سطوح توافقی از پیش تعیین‌شدهٔ خدمات مشتری، ضمانت شود.

بلاکچین[3]

یک سیستم ذخیره و ضبط اطلاعات است که هرگونه تغییر، هک یا تقلب در سیستم را بسیار سخت یا ناممکن می‌کند. بلاکچین، یک پایگاه دادهٔ کاملاً توزیع‌شده است که بین گره‌های مختلف یک شبکهٔ کامپیوتری به اشتراک گذاشته می‌شود. بلاکچین به‌عنوان یک پایگاه داده، اطلاعات را به‌صورت الکترونیکی، اما در قالب دیجیتالی ذخیره می‌کند. بلاکچین با ایجاد فضای مناسب و کاملاً ایمن، کمک می‌کند تا خریداران و فروشندگان بدون هیچ واسطه‌ای با یکدیگر در ارتباط باشند. فناوری بلاکچین چهار ویژگی اصلی را شامل می‌شود: شفافیت، قابلیت اطمینان، اجرای هوشمند و رمزگذاری (کوهی‌زاده، جو و سرکیس[4]، ۲۰۲۰). استفاده از فناوری بلاکچین، برای حل مسائل امنیتی IoT یکی دیگر از حوزه‌های مهم است که می‌تواند صنعت اتوماسیون را در سطح جهانی متحول کند.

شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)

استفادهٔ بی‌سیم از امواج فرکانس رادیویی، برای انتقال داده‌هایی که سرعت بسیار زیادی دارند، تعریف می‌شود. برچسب‌گذاری کالاهای مختلف توسط تگ‌های RFID به کاربران امکان می‌دهد که موجودی و دارایی‌های خود را به‌طور خودکار و منحصربه‌فرد شناسایی و ردیابی کنند. فرکانس رادیویی شناسایی خودکار، مفهوم فناوری عمومی است که به استفاده از امواج رادیویی برای شناسایی اشیا اشاره می‌کند (سنتر[5]، ۲۰۰۲). فرکانس رادیویی شناسایی خودکار بخشی از طیف وسیعی از فناوری‌ها (مانند بارکد، بیومتریک، بینایی ماشین، نوار مغناطیسی، کارت‌خوان‌های نوری، تشخیص صدا، کارت‌های هوشمند و غیره) است که برای جمع‌آوری خودکار داده‌ها، به‌منظور تقویت برنامه‌ریزی منابع سازمانی یا فعالیت‌های سیستم ERP[6] استفاده می‌شود.

تگ‌های RFID هم ریزتراشه و هم آنتن دارند. ریزتراشه برای ذخیرهٔ اطلاعات شیء، مانند شمارهٔ سریال منحصربه‌فرد استفاده می‌شود. آنتن، ریزتراشه را قادر می‌سازد تا اطلاعات شیء را به خواننده ارسال کند و اطلاعات روی برچسب RFID را به فرمتی تبدیل می‌کند که رایانه درک کند (آنجلس[7]، ۲۰۰۵). در سال ۱۹۹۷، اشتون امکان استفاده از

1. Vendor Management Inventory
2. Magee
3. Block chain
4. Kouhizadeh, Zhu & Sarkis
5. Center
6. Enterprise Resource Planning
7. Angeles

برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی را برای ردیابی محصولات از طریق زنجیرهٔ تأمین پروکتر[1] و گمبل[2] در نظر گرفت. از تگ‌های RFID برای خواندن و شناسایی اشیا و انتقال اطلاعات به‌صورت بی‌سیم از طریق شبکه استفاده می‌شد. صنعت برچسب‌های RFID در سال ۱۹۸۰ آغاز شد. فناوری شناسایی فرکانس رادیویی به شرکت‌ها کمک می‌کند تا اطلاعات موجودی را شناسایی، ردیابی و انتقال دهند (بن دایا و همکاران، ۲۰۱۹) و مؤثرترین ابزار برای حل مشکل جابه‌جایی موجودی است (هاردگریو، آلویسیوس و گویال[3]، ۲۰۱۳). فرکانس رادیویی شناسایی خودکار، مشکل جابه‌جایی نادرست را کاهش می‌دهد و با کوتاه‌کردن زمان سفارش، از خطای پیش‌بینی تقاضا می‌کاهد (ژانگ، لی و فن[4]، ۲۰۱۸). فناوری‌های فرکانس رادیویی شناسایی خودکار، نوید بسته‌شدن برخی از شکاف‌های اطلاعاتی در زنجیرهٔ تأمین، به‌ویژه در خرده‌فروشی و لجستیک را می‌دهند. فناوری شناسایی فرکانس رادیویی، به‌عنوان نوعی از فناوری‌های تلفن همراه، می‌تواند «آزادی‌های فرایندی» و قابلیت زمان واقعی را در زنجیره‌های تأمین فعال کند (آنجلس، ۲۰۰۵).

شبکهٔ حسگر بی‌سیم (WSN)[5]

شبکهٔ حسگر متشکل از تعداد زیادی نودهای حسگر است که در محیط به‌طور گسترده پخش شده‌اند و به جمع‌آوری اطلاعات از محیط می‌پردازند. این فناوری، چندین سنسور کوچک‌مقیاس و هوشمند را در منطقه‌ای گسترده‌تر برای کاربردهای مختلف، از جمله خرده‌فروشی، مراقبت‌های بهداشتی، کشاورزی و نظارت نظامی، ادغام می‌کند تا بر محدودیت راه‌حل‌های سیمی غلبه کند (تن و سیدهو[6]، ۲۰۲۲).

شبکهٔ حسگر بی‌سیم، به‌طور عمده برای محیط پیرامون، موقعیت‌یابی و تشخیص اشیا و افراد به‌کار می‌رود. همچنین برای حفظ‌کردن دما، رطوبت، فشار، شدت لرزش، شدت صوت، ولتاژ خط نیرو و تمرکز مواد شیمیایی و سطح آلاینده‌ها کاربرد دارد. شبکهٔ حسگر بی‌سیم، می‌تواند به‌عنوان حسگر محیط یا پدیدهٔ مربوط به اشیا یا افرادی که به آن‌ها متصل شده است، به‌کار رود. شبکهٔ حسگر بی‌سیم با برچسب شناسایی فرکانس رادیویی متفاوت است. سیستم شبکهٔ حسگر بی‌سیم، معمولاً برای کنترل اشیا در محیط مدنظر یا برای حس‌کردن فاکتورهای محیط اطراف به‌کار می‌رود؛ در صورتی که سیستم شناسایی فرکانس رادیویی برای تشخیص حضور و موقعیت اشیای مجهز به تگ RFID به‌کار می‌رود. فناوری RFID و فناوری WSN دو فناوری مکمل عملکردی هستند؛ بنابراین معمولاً این ادغام این دو فناوری در نظر گرفته می‌شود (چن و چن[7]، ۲۰۲۲).

با توجه به پژوهش‌های گذشته، درمی‌یابیم که با ایجاد زنجیرهٔ تأمین هوشمند، می‌توان چالش‌های زنجیرهٔ تأمین سنتی، از جمله عدم اطمینان، هزینه و پیچیدگی را از بین برد (عبدالباسط و همکاران، ۲۰۱۸). زنجیرهٔ تأمین هوشمند، به اطلاعات کلیهٔ سطوح زنجیره دسترسی دارد. استفاده از اینترنت اشیا در زنجیرهٔ تأمین، به ایجاد زنجیرهٔ تأمین چابک و

1. Gamble
2. Procter
3. Hardgrave, Aloysius & Goyal
4. Zhang, Li, and Fan
5. Wireless Sensor Network (WSN)
6. Tan and Sidhu
7. Chen & Chen

هوشمند منجر می‌شود. در پژوهش‌های گذشته، از اینترنت اشیا در یک زنجیرهٔ تأمین دوسطحیِ چندمحصولی استفاده و تأثیر آن بر درآمد این زنجیرهٔ تأمین نشان داده شده است. استفاده از فناوری اینترنت اشیا، به‌طور مؤثر می‌تواند زنجیرهٔ تأمین چند محصول را بهینه‌سازی کند (شوسانگ، شیائوگوانگ و یوانجون[1]، ۲۰۱۹). داده‌های IOT به سازمان‌ها کمک می‌کند تا در بازار رقابتی باقی بمانند و به مشتریان با سطحی از موجودی خوب و بدون نیاز به انبارداری خدمت دهند. این امر رضایت مشتری را افزایش می‌دهد (هوملسترون[2]، ۱۹۹۸). گوپتا، دراو، بگ و لو[3] (۲۰۱۹)، برای توضیح رابطهٔ بین زنجیرهٔ تأمین هوشمند و انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعات، به‌منظور دستیابی به انعطاف‌پذیری بیشتر زنجیرهٔ تأمین، از تئوری پردازش اطلاعات سازمان (OIPT) استفاده کرده‌اند. این نشان می‌دهد که استقرار صحیح پردازش اطلاعات، به انتشار بهتر اطلاعات در کل سیستم، برای سازگاری بیشتر ماهیت زنجیرهٔ تأمین منجر می‌شود.

تیان[4] (۲۰۱۶) در مقاله‌ای، اولویت استفاده و توسعهٔ شناسایی فرکانس رادیو و فناوری بلاکچین را بررسی کرده است و در ادامه، مزایا و معایب استفاده از فناوری‌های شناسایی فرکانس رادیو و بلاکچین را در ساخت سیستم ردیابی زنجیرهٔ تأمین مواد غذایی کشاورزی تحلیل کرده و در نهایت، روند ساختمان این سیستم را نشان داده است. این سیستم می‌تواند پیگیری مطمئن اطلاعات را در کل زنجیرهٔ تأمین موادغذایی فراهم کند و به‌طور مؤثر، ایمنی مواد غذایی را با جمع‌آوری، انتقال و به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات معتبر موادغذایی کشاورزی در تولید، پردازش، انبارداری، توزیع و فروش، تحقق بخشد.

ترکیبی از فناوری شناسایی فرکانس رادیویی و سایر فناوری‌های اینترنت اشیا، اجازه می‌دهد تا محصول از تولیدکننده تا خرده‌فروش ردیابی شود و زمان تولید، به‌طور مقرون‌به‌صرفه کاهش یابد. همچنین، مدیریت هوشمند زنجیرهٔ تأمین، حفاظت از برند، تضمین کیفیت و مشتری سفارشی را افزایش می‌دهد. برای مثال، مصرف‌کنندگان به محصولات دید مثبت‌تری پیدا می‌کنند؛ زیرا هر عنصر، فرایند و وضعیتی را می‌توان ردیابی و تأیید کرد. در این سیستم، هر فرایندی پیچیده و پویاست؛ به همین دلیل محاسبهٔ هزینه و زمان دشوار است. فناوری شناسایی فرکانس رادیویی و سایر فناوری‌های IoT برای ردیابی هزینه و زمان در زنجیرهٔ تأمین ضروری هستند (تان و سیدهو، ۲۰۲۲).

با گسترش اینترنت و توانمندترشدن مصرف‌کنندگان به‌کمک تلفن‌های همراه و دستگاه‌های هوشمند، سرعت تکامل خرده‌فروشی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. مقاله گریوال، موتیکا و لوی[5] (۲۰۱۸)، خلاصه‌ای از نوآوری‌های خرده‌فروشی است که نشان می‌دهد چگونه خرده‌فروشی طی چند دههٔ گذشته تکامل یافته است. نویسندگان دربارهٔ چگونگی تغییر موضوعات مربوط به آموزش خرده‌فروشی بحث می‌کنند. این مقاله، جزئیات نقش فناوری‌های فعلی، از جمله رسانه‌های اجتماعی و تجزیه‌وتحلیل خرده‌فروشی و مباحث در حال ظهور، از قبیل اینترنت اشیا، یادگیری ماشین، هوش مصنوعی، فناوری بلاکچین و روباتیک را تشریح می‌کند و اشاره می‌کند که همهٔ آن‌ها، احتمالاً تغییر چشمگیری را برای خرده‌فروشی در آینده رقم می‌زنند.

بلاکچین ممکن است شفافیت توزیع را به سطح جدیدی برساند؛ اما در حال حاضر پذیرش علمی و مدیریتی

1. Shousong, Xiaoguang & Yuanjun
2. Holmström
3. Gupta, Drave, Bag & Luo
4. Tian
5. Grewal, Motyka & Levy

فناوری‌های بلاکچین و درک آن محدود است. برای رفع این موضوع، پژوهش فرانسیسکو و سوانسون[1] (۲۰۱۸)، از نظریهٔ واحد پذیرش و استفاده از فناوری و مفهوم پذیرش نوآوری فناوری، به‌عنوان چارچوبی پایه برای ردیابی توزیع محصولات استفاده می‌کند. در این مقاله یک مدل مفهومی توسعه یافته است.

چانگ، کیم و لی[2] (۲۰۱۸)، نوآوری در طراحی و عملیات زنجیرهٔ تأمین هوشمند را در کارخانه‌های هوشمند به‌گونه‌ای در نظر گرفتند که از طریق یک سیستم مبتنی بر ابر، برای تولید شخصی، فرایندهای تعویض‌پذیر را به اشتراک می‌گذارد. در سیستم، مشتریان می‌توانند یک فایل طراحی محصول بارگذاری کنند. در نهایت، آن‌ها یک طرح بهینه از زنجیرهٔ تأمین و برنامهٔ عملیاتی، بر اساس منابع موجود در شبکهٔ کارخانه‌های هوشمند تعیین کرده‌اند. وو، یو، جین و یـن[3] (۲۰۱۶)، وضعیت جریان‌ها و سایر موارد مدیریت زنجیرهٔ تأمین هوشمند را مطالعه کرده‌اند. در این مقاله، بررسی ادبیات برای تحلیل کارهای قبلی در این زمینه و ایده‌پردازی و بحث دربارهٔ خصوصیات زنجیرهٔ تأمین هوشمند انجام شده است. علاوه بر این، نویسندگان پنج موضوع تحقیقاتی اصلی، از جمله مدیریت اطلاعات، زیرساخت فناوری اطلاعات، اتوماسیون فرایند، تجزیه‌وتحلیل پیشرفته و ادغام زنجیرهٔ تأمین را تدوین می‌کنند. مطالعات در زمینه‌های موضوعی یادشده، در جدول ۱ دسته‌بندی شده است.

جدول ۱. خلاصهٔ تحقیقات پیشین

محققان	هدف	نتایج و رویکردها						
		ردیابی محصول	هزینه	اعتماد و اطمینان	بلاکچین	زنجیرهٔ تأمین	زنجیرهٔ تأمین پایدار	زنجیرهٔ تأمین هوشمند
راجا سانتی و موثسوامی[4] (۲۰۲۲)	ارائه نمای کلی از نقش فناوری بلاکچین در پرداختن به زنجیرهٔ تأمین و چالش‌های مرتبط با لجستیک با تجزیه‌وتحلیل، سازمان‌دهی				*	*		
تان و سیدهو (۲۰۲۲)	بررسی کاربرد RFID-IoT در مدیریت زنجیرهٔ تأمین و چالش‌های فعلی آن‌ها					*		*
باهات، هوانگ، صوفی و سلطان[5] (۲۰۲۲)	مدیریت زنجیرهٔ تأمین کشاورزی با استفاده از بلاکچین و اینترنت اشیا			*	*	*	*	
جو، پکو، ساندارام و پیراماسو[6] (۲۰۲۱)	بررسی چارچوب زنجیرهٔ تأمین چابک مبتنی بر بلاکچین با اینترنت اشیا و ویژگی‌های آن				*	*		*
بای و سرکیس (۲۰۲۰)	ارزیابی و انتخاب فناوری‌های بلاکچین	*			*	*		

1. Francisco & Swanson
2. Chung, Kim & Lee
3. Wu, Yue, Jin & Yen
4. Raja Santhi & Muthuswamy
5. Bhat, Huang, Sofi & Sultan
6. Zhu, Peko, Sundaram & Piramuthu

ادامهٔ جدول ۱

محققان	هدف	نتایج و رویکردها						
		ردیابی محصول	هزینه	اعتماد و اطمینان	بلاکچین	زنجیرهٔ تأمین	زنجیرهٔ تأمین پایدار	زنجیرهٔ تأمین هوشمند
کوهی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰)	بررسی چگونگی تأثیر ویژگی‌های بلاکچین بر بهبود فعالیت‌های زنجیرهٔ تأمین سبز				*	*		
چانگ و همکاران (۲۰۲۰)	استفاده از فناوری بلاکچین در زنجیرهٔ تأمین کاکائو				*	*		
جو و کوهی‌زاده[1] (۲۰۱۹)	ارائهٔ توصیه‌هایی جهت برنامه‌ریزی و بینش‌های مدیریتی در مورد فرایندهای تصمیم‌گیری برای حذف محصول با فناوری بلاکچین				*	*		
کوئیروز و همکاران[2] (۲۰۲۰)	شناسایی، تجزیه‌وتحلیل و سازمان‌دهی ادبیات در مورد بلاکچین در زمینه مدیریت زنجیرهٔ تأمین				*	*		
صابری و همکاران[3] (۲۰۱۹الف)	بررسی موانع پذیرش فناوری بلاکچین در زنجیرهٔ تأمین پایدار	*			*		*	
صابری و همکاران[4] (۲۰۱۹ب)	بررسی چگونگی درک انواع انگیزه‌ها و موانع پذیرش فناوری بلاکچین در زنجیرهٔ تأمین پایدار توسط شرکت‌های مختلف از صنایع مختلف				*	*		
اسچیمید و واگنر[5] (۲۰۱۹)	ایجاد درک بهتری از اینکه چگونه بلاکچین ممکن است روابط زنجیرهٔ تأمین و به‌طور خاص از نظر هزینه‌های معامله و تصمیم‌های مدیریتی را تحت‌تأثیر قرار دهد		*		*	*		
کامیلاریس و همکاران[6] (۲۰۱۹)	تأثیر تکنولوژی بلاکچین در بخش کشاورزی و زنجیرهٔ تأمین غذا و چالش‌های پیاده‌سازی آن	*			*	*		
ژانگ و همکاران (۲۰۱۹)	بررسی کامل ادبیات سیستماتیک در پذیرش بلاکچین در زنجیرهٔ تأمین پایدار مواد غذایی				*		*	
کول و همکاران[7] (۲۰۱۹)	مطالعه فناوری بلاکچین از چشم‌انداز عملیات و مدیریت زنجیرهٔ تأمین (OSCM) و شناسایی حوزه‌های بالقوهٔ کاربرد		*		*	*		
پوندیر و همکاران[8] (۲۰۱۹)	ارتباط فناوری‌های مکمل مانند IoT و فناوری بلاکچین برای دیجیتالی‌کردن کامل زنجیرهٔ تأمین				*	*		

1. Zhu & Kouhizadeh
2. Queiroz
3. Saberi, Kouhizadeh, Sarkis
4. Saberi, Kouhizadeh, Sarkis, Shen
5. Schmidt, Christoph ,Wagner, Stephan
6. Kamilaris, Fonts, Prenafeta
7. Cole, Stevenson, Aitken
8. Pundir, Jagannath, Chakraborty, Ganpathy

ادامهٔ جدول ۱

محققان	هدف	نتایج و رویکردها						
		ردیابی محصول	هزینه	اعتماد و اطمینان	بلاکچین	زنجیرهٔ تأمین	زنجیرهٔ تأمین پایدار	زنجیرهٔ تأمین هوشمند
منصوری بکوند[1] (۲۰۱۹)	تأثیر فناوری بلاکچین بر اعتماد به روابط زنجیرهٔ تأمین			*	*	*		
گوپتا و همکاران (۲۰۱۹)	توضیح رابطه بین زنجیرهٔ تأمین هوشمند و انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعات برای دستیابی به انعطاف‌پذیری بیشتر زنجیرهٔ تأمین		*			*		*
موهان[2] (۲۰۱۸)	بررسی چگونگی استفاده از فناوری بلاکچین برای ردیابی بیشتر دارایی در زنجیره‌های تأمین مواد غذایی	*			*	*		
کشتری[3] (۲۰۱۸)	چگونگی تأثیرگذاری بلاکچین بر اهداف کلیدی مدیریت زنجیرهٔ تأمین مانند هزینه، کیفیت، سرعت، قابلیت اطمینان، کاهش ریسک، پایداری و انعطاف‌پذیری	*	*	*	*	*		
آگراوال و همکاران[4] (۲۰۱۸)	اجرای سیستم ردیابی مبتنی بر بلاکچین برای نساجی و زنجیرهٔ تأمین پوشاک	*			*	*		
مقاله حاضر	بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین هوشمند تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده با رویکرد انتخاب تکنولوژی مرتبط با اینترنت اشیا	*	*		*	*		*

بر اساس بررسی‌های انجام شده در مطالعات گذشته، ملاحظه می‌شود که حجم عظیمی از پژوهش‌ها، به مطالعهٔ موضوعی در زمینهٔ معرفی زنجیرهٔ تأمین هوشمند، IoT و ترکیب آن‌ها پرداخته‌اند و از معایب و مزایا، چالش‌های پیاده‌سازی و کاربرد آن صحبت کرده‌اند. با توجه به این بررسی‌ها می‌توان گفت که استفاده از مدل ریاضی در این تحقیقات بسیار محدود است و جایگاهی را ایجاد می‌کند که با حل مسائل مربوط به زنجیرهٔ تأمین هوشمند با استفاده از مدل‌های ریاضی، این موضوع را به شرایط بهینهٔ خود نزدیک کرد. با ایجاد زنجیرهٔ تأمین هوشمند، می‌توان چالش‌های زنجیرهٔ تأمین، سنتی از جمله عدم اطمینان، هزینه و پیچیدگی را از بین برد. علاوه بر این موضوعات، بنابر نتایج مطالعات جیمنز، والدس و سالیناس[5] (۲۰۱۹)، مشتریان همچنان با تردید به زنجیرهٔ تأمین هوشمند می‌نگرند و این تردید، بیشتر در

1. Mansouri Bakvand
2. Mohan
3. Kshetri
4. Agrawal, Sharma, Kumar
5. Jimenez, Valdes & Salinas

زمینه‌های مالی ایجاد می‌شود که با توجه به مقاله دوجاک و سایتر[1] (۲۰۱۹)، این مشکل با فناوری بلاکچین برطرف می‌شود و با در نظر گرفتن نیاز موجود به اینترنت اشیا در بلاکچین و زنجیرهٔ تأمین و ترکیب این موارد، می‌توان این مسائل را با هدف حذف معایب و ایجاد مزایای جدید، به‌طور کلی پوشش داد. همان گونه که ملاحظه می‌شود، مطالعات گذشته به‌صورت مجزا به هر یک از این موارد پرداخته‌اند. با توجه به آنچه بیان شد، در این پژوهش تلاش شده است که با تلفیق اینترنت اشیا و مدل‌سازی ریاضی، به بهینه‌سازی سیستم توزیع در زنجیرهٔ تأمین هوشمند پرداخته شود. در بین تحقیقات گذشته مشاهده می‌شود که به مباحث مرتبط با زنجیرهٔ تأمین و به‌خصوص اینترنت اشیا رویکرد مثبتی نشان داده شده است؛ اما واقعیت این است که علی‌رغم انجام تحقیقات بسیار در این حوزه، هنوز در مبحث برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌های گسترده و متنوعی وجود ندارد که بتواند نیازها و مفروضات یک پژوهش را با ملاحظات تکنولوژیکی و اتوماسیون در خود لحاظ کرده باشد. در این پژوهش از فناوری اینترنت اشیا و بلاکچین و همچنین، سیاست VMI برای هوشمندشدن یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی و چندمحصولی با محصولات فاسد شدنی، استفاده می‌شود. علاوه بر آن، مشتریان از دو کانال حضوری و اینترنتی برای خرید محصولات استفاده می‌کنند که نشانهٔ ماهیت متمایز آن نسبت به سایر زنجیره‌های تأمین است.

روش‌شناسی پژوهش

در مدل ارائه‌شده، یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی در نظر گرفته می‌شود که ارتباط مستقیمی از تأمین‌کننده به تولیدکننده و از تولیدکننده به خرده‌فروش و از خرده‌فروش به مشتری وجود دارد. تمامی این اجزا، به سیستم‌های RFID و WSNو همچنین بلاکچین مجهزند. مدل به‌دنبال تعیین بهینگی پیاده‌سازی سیستم‌های مزبور و همچنین، واکنش زمان و هزینه به این پیاده‌سازی است. برای روشن‌تر شدن موضوع، مفروضات مدل به شرح ذیل مطرح می‌شود.

مفروضات

۱. پارامترها همگی قطعی هستند؛
۲. اینترنت اشیا شامل دو سیستم RFID و WSN است و فقط یکی از این سیستم‌ها در هر گره پیاده‌سازی می‌شود؛
۳. بلاکچین در برخی گره‌ها اجرا می‌شود؛
۴. وضعیت به‌صورت چندمحصولی و چند مادهٔ خام در نظر گرفته شده است؛
۵. زمان تدارک مواد خام، می‌تواند از پیاده‌سازی سیستم‌های RFID یا WSN ناشی شود؛
۶. هزینه‌ها عبارت‌اند از: هزینهٔ راه‌اندازی گره‌ها، هزینهٔ راه‌اندازی بلاکچین، هزینهٔ راه‌اندازی RFID، هزینهٔ راه‌اندازی WSN و هزینهٔ حمل‌ونقل؛
۷. زمان تحویل، هدف دوم در نظر گرفته شده است؛
۸. موجودی کارخانه و تأمین‌کننده بر اساس سیستم‌های RFID و WSN لحاظ می‌شود.
۹. محصولات فاسد شدنی هستند.

1. Dujak & Sajter

اندیس‌ها

n	مواد خام
m	محصول
L	مشتری
K	خرده‌فروش
J	تولیدکننده
i	تأمین‌کننده

پارامترها

Dem_{lm}	تقاضای مشتری l برای محصول m
$FSupp_i$	هزینهٔ ثابت احداث تأمین‌کنندهٔ i
$FMen_j$	هزینهٔ ثابت احداث کارخانهٔ j
$FRet_k$	هزینهٔ ثابت احداث خرده‌فروش k
$CRfid_l$	هزینهٔ نصب سیستم RFID در گرهٔ مشتری l
$CWsn_l$	هزینهٔ نصب سیستم WSN در گرهٔ مشتری l
$RRfid_k$	هزینهٔ نصب سیستم RFID در گرهٔ خرده‌فروش k
$RWsn_k$	هزینهٔ نصب سیستم WSN در گرهٔ خرده‌فروش k
$SCap_{in}$	ظرفیت تأمین‌کنندهٔ i برای تهیه مواد n
$FCap_{jm}$	ظرفیت کارخانهٔ j برای تولید محصول m
$RCap_{km}$	ظرفیت خرده‌فروش k برای محصول m
$MCost_{ni}$	هزینهٔ خرید مواد خام n از تأمین‌کنندهٔ i
$FCost_{mj}$	هزینهٔ خرید محصول m از کارخانه j
$RCost_{mk}$	هزینهٔ خرید محصول m از خرده‌فروش k
$SFtime_{ijn}$	زمان تحویل مواد خام n از تأمین‌کنندهٔ i به کارخانهٔ j
$FRtime_{mjk}$	زمان تحویل محصول m از کارخانهٔ j به خرده‌فروش k
$RCtime_{mkl}$	زمان تحویل محصول m از خرده‌فروش k به مشتری l
$TCost_{ijn}$	هزینهٔ انتقال مواد خام n از تأمین‌کننده i به کارخانه j
$TCost_{mjk}$	هزینهٔ انتقال محصول m از کارخانه j به خرده‌فروش k
$TCost_{mkl}$	هزینهٔ انتقال محصول m از خرده‌فروش k به مشتری l
$ALTimeWRfid_{ni}$	میانگین زمان تدارک مواد خام n توسط تأمین‌کنندهٔ i بدون سیستم RFID
$ALTimeRfid_{ni}$	میانگین زمان تدارک مواد خام n توسط تأمین‌کنندهٔ i با سیستم RFID

$ALTimeWWsn_{ni}$	میانگین زمان تدارک مواد خام n توسط تأمین‌کنندهٔ i بدون سیستم WSN
$ALTimeWsn_{ni}$	میانگین زمان تدارک مواد خام n توسط تأمین‌کنندهٔ i با سیستم WSN
$BCICost_i$	هزینهٔ راه‌اندازی بلاکچین برای تأمین‌کنندهٔ i
$BCICost_j$	هزینهٔ راه‌اندازی بلاکچین برای کارخانهٔ j
$BCICost_k$	هزینهٔ راه‌اندازی بلاکچین برای خرده‌فروش k
$internetsale_k$	هزینهٔ راه‌اندازی فروش اینترنتی برای خرده‌فروش k
$maxinv_k$	حداکثر برای خرده‌فروش k
$mininv_k$	حداقل برای خرده‌فروش k

متغیرهای تصمیم

X_i	اگر تأمین‌کنندهٔ i احداث شود ۱ و در غیر این صورت صفر
Y_j	اگر کارخانهٔ j احداث شود ۱ و در غیر این صورت صفر
Z_k	اگر خرده‌فروش k احداث شود ۱ و در غیر این صورت صفر
u_{inj}	اگر تأمین‌کنندهٔ i مواد خام n را به کارخانهٔ j تحویل دهد ۱ و در غیر این صورت صفر
v_{jmk}	اگر کارخانهٔ j محصول m را به خرده‌فروش k تحویل دهد ۱ و در غیر این صورت صفر
w_{kml}	اگر خرده‌فروش k محصول m را به مشتری l تحویل دهد ۱ و در غیر این صورت صفر
$XLRfid_l$	اگر سیستم RFID در گرهٔ مشتری l نصب شود ۱ و در غیر این صورت صفر
$XLWsn_l$	اگر سیستم WSN در گرهٔ مشتری l نصب شود ۱ و در غیر این صورت صفر
$XKRfid_k$	اگر سیستم RFID در گرهٔ خرده‌فروش k نصب شود ۱ و در غیر این صورت صفر
$XKWsn_k$	اگر سیستم WSN در گرهٔ خرده‌فروش k نصب شود ۱ و در غیر این صورت صفر
$XIRfid_i$	اگر سیستم RFID در گرهٔ تأمین‌کنندهٔ i نصب شود ۱ و در غیر این صورت صفر
$XIWsn_i$	اگر سیستم WSN در گرهٔ تأمین‌کنندهٔ i نصب شود ۱ و در غیر این صورت صفر
$QIJBC_{ij}$	میزان مواد خام انتقالی از تأمین‌کنندهٔ i به کارخانهٔ j با وجود بلاکچین
$QIJWBC_{ij}$	میزان مواد خام انتقالی از تأمین‌کنندهٔ i به کارخانهٔ j بدون بلاکچین
$QJKBC_{jk}$	میزان محصول انتقالی از کارخانهٔ j به خرده‌فروش k با وجود بلاکچین
$QJKWBC_{jk}$	میزان محصول انتقالی از کارخانهٔ j به خرده‌فروش k بدون بلاکچین
$QKLBC_{kl}$	میزان محصول انتقالی از خرده‌فروش k به مشتری l با وجود بلاکچین
$QKLWBC_{kl}$	میزان محصول انتقالی از خرده‌فروش k به مشتری l بدون بلاکچین
$XBCI_i$	اگر بلاکچین برای تأمین‌کنندهٔ i راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت صفر
$YBCJ_j$	اگر بلاکچین برای کارخانهٔ j راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت صفر

$ZBCK_k$ اگر بلاکچین برای خرده‌فروش k راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت صفر

Xis_k اگر فروش اینترنتی برای خرده‌فروش k راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت صفر

inv_k موجودی خرده‌فروش k

$firstinv_k$ موجودی اول دوره از خرده‌فروش k

$repinv_k$ حد بهینهٔ بازپرسازی موجودی در VIM برای خرده‌فروش k

توابع هدف

رابطهٔ ۱)

$$\begin{aligned}\min \quad z1 = &\left[\sum_i^I FSupp_i . X_i + \sum_j^J Fmen_j . Y_j + \sum_k^K FRet_k . Z_k\right] \\ &+ \left[\sum_l^L CRfid_l . XLRfid_l + \sum_l^L CWsn_l . XLWsn_l + \sum_k^K CRfid_k . XKRfid_k \right. \\ &\left. + \sum_k^K CWsn_k . XKWsn_k\right] \\ &+ \left[\sum_n^N \sum_i^I MCost_{ni} . u_{inj} + \sum_m^M \sum_j^J FCost_{mj} . v_{jmk} \right. \\ &\left. + \sum_m^M \sum_k^K RCost_{mk} . w_{kml}\right] \\ &+ \left[\sum_i^I \sum_j^J \sum_m^M TCost_{ijn} . u_{inj} + \sum_m^M \sum_j^J \sum_k^K TCost_{mjk} . v_{jmk} \right. \\ &\left. + \sum_m^M \sum_k^k \sum_l^L TCost_{mkl} . w_{kml}\right] \\ &+ \left[\sum_i^I BCICost_i . XBCI_i + \sum_j^J BCJCost_j . YBCJ_j \sum_k^K BCICost_k . ZBCK_k\right] \\ &+ \left[\sum_k^K internetsale_k . Xis_k\right]\end{aligned}$$

رابطهٔ ۲)

$$\begin{aligned}\min z2 = &\left[\sum_i^I \sum_j^J \sum_n^N SFtime_{ijn} . u_{inj} + \sum_m^M \sum_j^J \sum_k^K FRtime_{mjk} . v_{jmk} \right. \\ &\left. + \sum_m^M \sum_k^k \sum_l^L RCtime_{mkl} . w_{kml}\right] + [\sum_n^N \sum_i^I ALTimeWRfid_{ni} . XIRfid_i \\ &+ \sum_n^N \sum_i^I ALTimeRfid_{ni} . XIRfid_i + \sum_n^N \sum_i^I ALTimeWWsn_{ni} . XIWsn_i \\ &+ \sum_n^N \sum_i^I ALTimeWsn_{ni} . XIWsn_i]\end{aligned}$$

رابطهٔ ۱ به‌دنبال حداقل‌کردن هزینهٔ زنجیرهٔ تأمین است. این هزینه به‌تفکیک هزینهٔ راه‌اندازی گره‌ها، هزینهٔ راه‌اندازی RFID و WSN، هزینهٔ اجرای بلاکچین، هزینهٔ خرید و هزینهٔ فروش اینترنتی برای سیستم است.

رابطهٔ ۲ به‌دنبال حداقل‌ساختن زمان است. این زمان شامل زمان تحویل و همچنین، زمان تدارک مواد از سوی تأمین‌کننده با استفاده از سیستم‌های RFID و WSN و بدون آن است.

رابطهٔ ۳) $X_i \leq 1 \quad \forall i$

رابطهٔ ۴) $Y_j \leq 1 \quad \forall j$

رابطهٔ ۵) $Z_k \leq 1 \quad \forall k$

رابطهٔ ۶) $u_{inj} \leq X_i \quad \forall i, j, n$

رابطهٔ ۷) $v_{jmk} \leq Y_j \quad \forall j, m, k$

رابطهٔ ۸) $w_{kml} \leq Z_k \quad \forall k, m, l$

رابطهٔ ۹) $\sum_{n}^{N} u_{inj} = 1 \quad \forall i, j$

رابطهٔ ۱۰) $\sum_{m}^{M} v_{jmk} = 1 \quad \forall j, k$

رابطهٔ ۱۱) $\sum_{m}^{M} W_{kml} = 1 \quad \forall k, l$

رابطهٔ ۱۲) $XLRfid_l \leq 1 \quad \forall l$

رابطهٔ ۱۳) $XLWsn_l \leq 1 \quad \forall l$

رابطهٔ ۱۴) $XKRfid_k \leq 1 \quad \forall k$

رابطهٔ ۱۵) $XKWsn_k \leq 1 \quad \forall k$

رابطهٔ ۱۶) $XIRfid_i \leq 1 \quad \forall i$

رابطهٔ ۱۷) $XIWsn_i \leq 1 \quad \forall i$

رابطهٔ ۱۸) $XLRfid_l + XLWsn_l = 1 \quad \forall l$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$XKRfid_k + XKWsn_k = 1 \quad \forall k$$ رابطهٔ ۱۹)

$$XIRfid_i + XIWsn_i = 1 \quad \forall i$$ رابطهٔ ۲۰)

$$QIJBC_{ij} \leq M(XBCI_i) \quad \forall i,j$$ رابطهٔ ۲۱)

$$QIJWBC_{ij} \geq XBCI_i \quad \forall i,j$$ رابطهٔ ۲۲)

$$QIJBC_{ij} \leq SCap_{in} \quad \forall i,j,n$$ رابطهٔ ۲۳)

$$QIJBC_{ij} \geq Dem_{lm} \quad \forall i,j,l,m$$ رابطهٔ ۲۴)

$$QIJWBC_{ij} \leq SCap_{in} \quad \forall i,j,n$$ رابطهٔ ۲۵)

$$QIJWBC_{ij} \geq Dem_{lm} \quad \forall i,j,l,m$$ رابطهٔ ۲۶)

$$QJKBC_{jk} \leq MYBCJ_j \quad \forall i,k,j$$ رابطهٔ ۲۷)

$$QJKWBC_{jk} \geq YBCJ_j \quad \forall j,k$$ رابطهٔ ۲۸)

$$QJKBC_{jk} \leq FCap_{jm} \quad \forall j,k,m$$ رابطهٔ ۲۹)

$$QJKBC_{jk} \leq Dem_{lm} \quad \forall j,k,l,m$$ رابطهٔ ۳۰)

$$QJKWBC_{jk} \leq FCap_{jm} \quad \forall j,k,m$$ رابطهٔ ۳۱)

$$QJKWBC_{jk} \leq Dem_{lm} \quad \forall j,k,l,m$$ رابطهٔ ۳۲)

$$QKLBC_{kl} \leq MZBCK_k \quad \forall k,l$$ رابطهٔ ۳۳)

$$QKLWBC_{kl} \geq ZBCK_k \quad \forall k,l$$ رابطهٔ ۳۴)

$$QKLBC_{kl} \leq RCap_{km} \quad \forall k,l,m$$ رابطهٔ ۳۵)

$$QKLBC_{kl} \leq Dem_{lm} \quad \forall k,l,m$$ رابطهٔ ۳۶)

$$QKLWBC_{kl} \leq RCap_{km} \quad \forall k,l,m$$ رابطهٔ ۳۷)

$$QKLWBC_{kl} \leq Dem_{lm} \quad \forall k,l,m$$ رابطهٔ ۳۸)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

رابطهٔ ۳۹) $XBCI_i \leq 1 \quad \forall i$

رابطهٔ ۴۰) $YBCJ_j \leq 1 \quad \forall j$

رابطهٔ ۴۱) $ZBCK_k \leq 1 \quad \forall k$

رابطهٔ ۴۲) $inv_k = firstinv_{mk} + QJKBC_{jk} + QJKWBC_{jk} - QKLBC_{kl} + QKLWBC_{kl} \quad \forall k, m, j, l$

رابطهٔ ۴۳) $inv_k \leq maxinv_k \quad \forall k$

رابطهٔ ۴۴) $inv_k \geq mininv_k \quad \forall k$

رابطهٔ ۴۵) $inv_k \geq firstinv_k \quad \forall k$

رابطهٔ ۴۶) $repinv_k \leq maxinv_k \quad \forall k$

رابطهٔ ۴۷) $repinv_k \geq mininv_k \quad \forall k$

رابطهٔ ۴۸) $inv_k \geq firstinv_k + repinv_k \quad \forall k$

رابطهٔ ۴۹) $Xis_k \leq 1 \quad \forall k$

رابطهٔ ۵۰) $Xis_k \leq z_k \quad \forall k$

روابط ۳ تا ۵ نشان می‌دهند که هر یک از اجزای زنجیره و هر گره حداکثر یک بار احداث می‌شوند. رابطهٔ ۶ نشان می‌دهد که انتقال از تأمین‌کننده به کارخانه، فقط در صورت احداث مرکز تأمین میسر است. رابطهٔ ۷ نشان می‌دهد که انتقال از کارخانه به خرده‌فروش، فقط در صورت احداث کارخانه میسر است. رابطهٔ ۸ نشان می‌دهد که انتقال از خرده‌فروش به مشتری، فقط در صورت احداث خرده‌فروشی میسر است. رابطهٔ ۹ بیان می‌کند که هر تأمین‌کننده، در هر مرتبه سفارش، فقط یک نوع مواد خام را به تولید کننده تحویل می‌دهد. رابطهٔ ۱۰ بیان می‌کند که هر کارخانه، در هر مرتبه سفارش، فقط یک نوع محصول را به خرده‌فروش تحویل می‌دهد. رابطهٔ ۱۱ بیان می‌کند که هر خرده‌فروش، در هر مرتبه سفارش، فقط یک نوع محصول را به مشتری تحویل می‌دهد. رابطهٔ ۱۲ نشان می‌دهد که سیستم RFID حداکثر یک مرتبه برای هر مشتری نصب می‌شود. رابطهٔ ۱۳ نشان می‌دهد که سیستم WSN حداکثر یک مرتبه برای هر مشتری نصب می‌شود. رابطهٔ ۱۴ نشان می‌دهد که سیستم RFID حداکثر یک مرتبه برای هر خرده‌فروش نصب می‌شود. رابطهٔ ۱۵ نشان می‌دهد که سیستم WSN حداکثر یک مرتبه برای هر خرده‌فروش نصب می‌شود. رابطهٔ ۱۶ نشان می‌دهد که سیستم RFID حداکثر یک مرتبه برای هر تأمین‌کننده نصب می‌شود. رابطهٔ ۱۷ نشان می‌دهد که سیستم WSN حداکثر یک مرتبه برای هر تأمین‌کننده نصب می‌شود. رابطهٔ ۱۸ نشان می‌دهد که از بین سیستم WSN و

RFID فقط یکی از آن‌ها برای هر مشتری نصب می‌شود. رابطهٔ ۱۹ نشان می‌دهد که بین سیستم WSN و RFID فقط یکی از آن‌ها برای هر خرده‌فروش نصب می‌شود. رابطهٔ ۲۰ نشان می‌دهد که از بین سیستم WSN و RFID فقط یکی از آن‌ها برای هر تأمین‌کننده نصب می‌شود. رابطهٔ ۲۱ بیان می‌کند میزان محصول انتقالی براساس بلاکچین برای تأمین‌کننده، در صورت وجود این سیستم قابل ملاحظه است. رابطهٔ ۲۲ فرض عدم پیاده‌سازی سیستم بلاکچین را برای تأمین‌کننده مد نظر قرار می‌دهد. رابطه‌های ۲۳ تا ۲۶ نشان‌دهندهٔ قرارگیری مواد ارسالی از تأمین‌کننده به کارخانه، بر اساس تقاضای مشتری و ظرفیت کارخانه است. رابطهٔ ۲۷ بیان می‌کند که میزان محصول انتقالی بر اساس بلاکچین برای کارخانه، در صورت وجود این سیستم قابل ملاحظه است. رابطهٔ ۲۸ فرض عدم پیاده‌سازی سیستم بلاکچین را برای کارخانه مد نظر قرار می‌دهد. رابطه‌های ۲۹ تا ۳۲ نشان‌دهندهٔ قرارگیری مواد ارسالی از کارخانه به خرده‌فروش، بر اساس تقاضای مشتری و ظرفیت کارخانه است که با توجه به فسادپذیری کالا، نمی‌بایست از میزان تقاضای آن محصول بیشتر باشد. رابطهٔ ۳۳ بیان می‌کند که میزان محصول انتقالی بر اساس بلاکچین برای خرده‌فروش، در صورت وجود این سیستم قابل ملاحظه است. رابطهٔ ۳۴ فرض عدم پیاده‌سازی سیستم بلاکچین را برای خرده‌فروش مد نظر قرار می‌دهد. رابطه‌های ۳۵ تا ۳۸ نشان‌دهندهٔ قرارگیری مواد ارسالی از خرده‌فروش به مشتری، بر اساس تقاضای مشتری و ظرفیت کارخانه است. با توجه به فسادپذیری کالاها، موارد ارسالی نمی‌بایست از میزان تقاضا بیشتر باشد. روابط ۳۹ تا ۴۱ نشان می‌دهد که سیستم بلاکچین در هر گرهٔ تأمین‌کننده، کارخانه یا خرده‌فروش حداکثر یک بار پیاده‌سازی می‌شود. رابطهٔ ۴۲ طریقهٔ محاسبه موجودی برای فروشندهٔ k بر اساس VMI را نشان می‌دهد. رابطهٔ ۴۳ بیانگر سقف موجودی خرده‌فروش k براساس VMI است. رابطهٔ ۴۴ بیانگر کف موجودی خرده‌فروش k بر اساس VMI است. رابطهٔ ۴۵ بیانگر این است که موجودی فروشندهٔ k می‌بایست از موجودی اول دوره بیشتر باشد. رابطهٔ ۴۶ بیانگر سقف بازپرسازی بر اساس VMI برای فروشندهٔ k است. رابطهٔ ۴۷ بیانگر کف بازپرسازی بر اساس VMI برای فروشنده k است. رابطهٔ ۴۸ بیانگر این است که بازپرسازی همراه با موجودی اول، به تشکیل موجودی فروشندهٔ k منجر می‌شود. رابطهٔ ۴۹ بیانگر محدودیت راه‌اندازی فروش اینترنتی برای فروشندهٔ k است. رابطهٔ ۵۰ بیان می‌کند که فروش اینترنتی برای فروشندهٔ k درصورتی راه‌اندازی می‌شود که این فروشنده احداث شده باشد.

یافته‌های پژوهش

اعتبارسنجی مدل

در ابتدا اعتبارسنجی مدل در ابعاد کوچک انجام می‌شود تا بدین وسیله اعتبار مدل از نظر حل بررسی شود. برای نمونه، یک مسئله با ابعاد زیر در نظر گرفته‌ایم:

تعداد مواد خام: ۲	تعداد مشتری: ۱۲	تعداد تولیدکننده: ۳
تعداد محصول: ۲	تعداد خرده‌فروش: ۷	تعداد تأمین‌کننده: ۴

پس از حل مسئله با استفاده از نرم‌افزار گمز نتایج زیر به‌دست آمده است. با به‌دست‌آمدن مقادیر توابع هدف مطابق پارامترهای در نظرگرفته شده، مشخص می‌شود که هر یک از تأمین‌کنندگان، خرده‌فروشان و مشتریان، از کدام فناوری استفاده کنند.

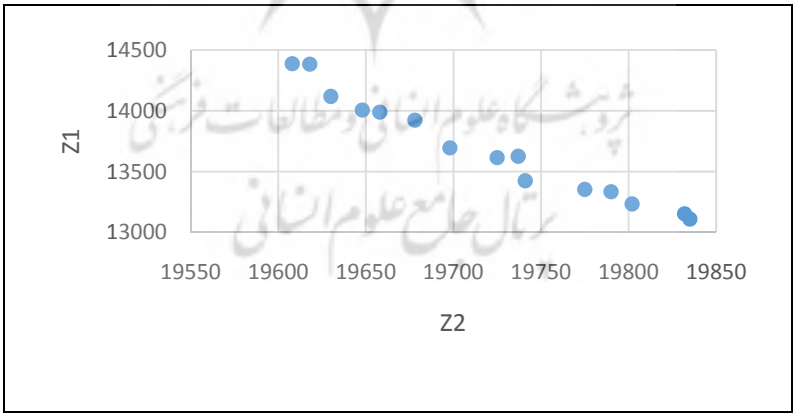
RFID: تأمین‌کننده ۳، تأمین‌کننده ۴، خرده‌فروش ۳، خرده‌فروش۴، مشتری ۵، مشتری ۶، مشتری۷، مشتری ۹، مشتری۱۲.

WSN: تأمین‌کننده ۱، تأمین‌کننده ۲، خرده‌فروش ۱، خرده‌فروش ۲، خرده‌فروش ۵، خرده‌فروش۶، خرده‌فروش ۷، مشتری ۱، مشتری۲، مشتری۳، مشتری۴، مشتری ۸، مشتری۱۰، مشتری ۱۱.

مسئلهٔ پایه‌ای فوق با استفاده از روش ε-constraint حل شده است. نتایج حاصل از حل مدل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. نقاط پارتو با روش ε–constraint

Z1	۱۴۳۸۳	۱۳۹۸۹	۱۳۱۰۶	۱۴۱۱۸	۱۳۹۲۳	۱۳۶۱۵
Z2	۱۹۶۱۸	۱۴۳۸۷	۱۹۸۳۵	۱۹۶۳۰	۱۹۶۷۸	۱۹۷۲۵
Z1	۱۳۶۲۶	۱۳۴۲۵	۱۳۲۳۴	۱۴۰۰۶	۱۳۳۵۴	۱۳۳۳۵
Z2	۱۹۷۳۷	۱۹۷۴۱	۱۹۸۰۲	۱۹۶۴۸	۱۹۷۷۵	۱۹۷۹۰
Z1	۱۳۱۵۳	۱۳۶۹۵	۱۴۳۸۳	۱۳۹۸۹	۱۳۱۱۰	
Z2	۱۹۸۳۲	۱۹۶۹۸	۱۹۶۱۸	۱۴۳۸۷	۱۹۸۳۵	



شکل ۱. نمودار پارتو حاصل از روش ε–constraint

اولین مرحله قبل از حل مدل در ابعاد بزرگ، بررسی اعتبار مدل با حل آن در ابعاد کوچک است. در واقع در این بخش، ابعاد کوچکی برای مدل در نظر گرفته شده و در تعدادی از مسائل مختلف که در هر مسئله ابعاد مدل تغییر می‌یابد، مدل حل می‌شود. در این بخش نیز برای مدل ارائه شده ابعاد مختلفی در نظر گرفته شده که این تفاوت ابعاد به شکل‌گیری ۱۰ مسئله متفاوت منجر شده است. در جدول ۳ این مسائل معرفی شده‌اند.

جدول ۳. ابعاد مسئله

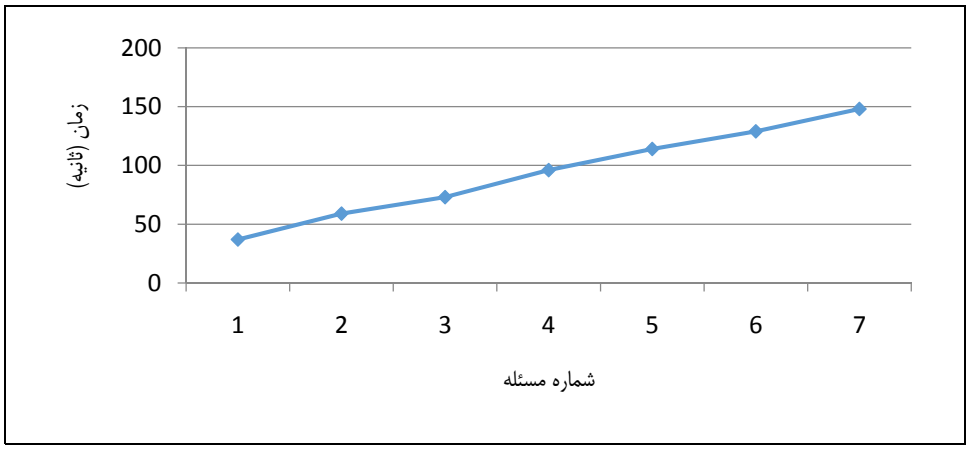
مسئله	تأمین‌کننده	تولید کننده	خرده‌فروش	مشتری	محصول	مواد خام
۱	۳	۲	۵	۱۰	۲	۲
۲	۳	۲	۶	۱۱	۲	۲
۳	۳	۲	۶	۱۱	۳	۲
۴	۳	۲	۶	۱۲	۳	۲
۵	۴	۲	۶	۱۲	۳	۲
۶	۴	۲	۷	۱۲	۳	۲
۷	۴	۳	۷	۱۲	۳	۲
۸	۴	۳	۷	۱۳	۳	۲
۹	۴	۳	۷	۱۳	۴	۲
۱۰	۵	۳	۷	۱۳	۴	۲

همان گونه که مشاهده می‌شود، ۱۰ مسئله برای مدل در ابعاد کوچک و متوسط در نظر گرفته شده است که در هر مسئله، ابعاد مدل دچار تغییر می‌شود و در واقع با افزایش مسائل، ابعاد نیز اندکی افزایش می‌یابد. بدین ترتیب، هر ۱۰ مسئله حل شده و نتایج آن در جدول ۴ ارائه می‌شود.

جدول ٤. نتایج حل مدل در ابعاد کوچک و متوسط

مسئله	زمان محاسبه به ثانیه	مقدار تابع هدف اول	مقدار تابع هدف دوم
۱	۳۷	۷۹۳۶	۱۱۰۹۴
۲	۵۹	۸۷۸۰	۱۳۹۰۷
۳	۷۳	۸۴۲۴	۱۴۲۶۶
۴	۹۶	۸۶۴۵	۱۵۱۶۱
۵	۱۱۴	۹۳۹۷	۱۵۹۲۳
۶	۱۲۹	۱۰۳۷۵	۱۸۰۳۳
۷	۱۴۸	۱۳۱۰۶	۱۹۸۴۷
۸	low memory	low memory	low memory
۹	low memory	low memory	low memory
۱۰	low memory	low memory	low memory

با حل مدل در ابعاد کوچک و متوسط، نتایج در قالب مقادیر توابع هدف و زمان حل ارائه می‌شود. همان گونه که مشاهده می‌شود، مسئله‌ها فقط تا مسئلهٔ هفتم در نرم‌افزار گمز قابل حل بوده است و پس از آن، به‌دلیل کمبود حافظه، نرم‌افزار گمز قادر به حل مسائل نیست؛ چرا که ابعاد مسئله به‌حدی بزرگ می‌شود که این نرم‌افزار قابلیت جواب‌گویی را ندارد؛ بنابراین، از این مرحله به بعد، می‌بایست با استفاده از نرم افزار متلب و الگوریتم‌های فرابتکاری کار دنبال شود. اما نتایج حاصل از مسائل ۱ تا ۵ بیانگر این است که مدل اعتبار دارد و می‌توان آن را در ابعاد بزرگ‌تر حل کرد.



شکل ۲. زمان حل مدل

در شکل ۲، زمان حل مدل نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، با گسترش ابعاد، زمان حل نیز افزایش یافته است. بدین ترتیب می‌توان ثابت کرد که مسئله از نوع NP HARD است و با افزایش ابعاد مسئله، زمان آن نیز افزایش می‌یابد. بنابراین مسئله با استفاده از روش‌های دقیق حل نمی‌شود؛ از این رو می‌بایست از روش‌های فراابتکاری برای حل آن بهره برده شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف پژوهش حاضر، طراحی و بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین هوشمند، تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده با رویکرد اینترنت اشیا است. برای این منظور، مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفت و مفروضات و نیازهای تحقیق و همچنین اهداف آن تعیین شد. در ادامه، بر اساس نیازها و اهداف، مدل ریاضی مقتضی طراحی شد. مدل طراحی‌شده، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه بود که هدف اول آن، حداقل ساختن هزینه و هدف دوم، حداقل ساختن زمان زنجیرهٔ تأمین بود؛ اما زنجیرهٔ تأمین طراحی‌شده ماهیت هوشمند دارد و از فناوری‌های WSN و RFID و بلاکچین و همچنین، فروش اینترنتی بهره می‌برد که نشان‌دهندهٔ ماهیت متمایز آن، نسبت به سایر زنجیره‌های تأمین است. پس از طراحی مدل، ابتدا اعتبارسنجی مدل بررسی شده و مدل در ابعاد کوچک حل شد. حل مدل در ابعاد کوچک با استفاده از روش‌های دقیق تا حدی امکان‌پذیر بود؛ اما پس از افزایش ابعاد مسئله، مدل می‌بایست از طریق الگوریتم‌های فراابتکاری حل می‌شد.

در این بخش پیشنهادهای کاربردی بر اساس یافته‌های تحقیق ارائه می‌شود:

۱. با توجه به اینکه استفاده از فناوری‌های نام‌برده در پژوهش، هزینه و زمان زنجیرهٔ تأمین را بهبود می‌دهد، استفاده از این فناوری‌ها در زنجیره‌های تأمین توصیه می‌شود؛ چرا که با وجود هزینه‌های استفاده از این فناوری، کاهش هزینهٔ کل زنجیره و همچنین، زمان چشمگیر است. بنابراین مدیران می‌بایست بستر استفاده از این فناوری‌ها را در زنجیرهٔ تأمین به وجود آورند.

۲. استفاده از فناوری‌های اشاره شده می‌تواند به کاهش موجودی منجر شود؛ از این رو هزینهٔ نگهداری نیز به‌تبع

آن کاهش می‌یابد. پس می‌توان گفت که بخش اعظمی از کاهش هزینه‌ها در زنجیرهٔ تأمین، به‌واسطه کاهش هزینه‌های موجودی است.

۳. استفاده از فناوری‌های اشاره شده در پژوهش، هزینه‌هایی برای زنجیرهٔ تأمین ایجاد خواهد کرد که به‌واسطهٔ کاهش بلندمدت در هزینه و زمان و منافع بلندمدتی که به‌وجود می‌آورد، می‌توان استفاده از این فناوری‌ها را بهینه تلقی کرد.

۴. مدیران می‌بایست فرهنگ استفاده از این فناوری‌ها را در سازمان خود نهادینه سازند. استفاده از این فناوری‌ها می‌تواند به سود زنجیره‌های تأمین مختلف باشد.

بر اساس محدودیت‌های تحقیق حاضر، پیشنهادهایی برای پژوهشگران و پژوهش‌های بعدی مطرح می‌شود:

۱. توسعهٔ مدل حاضر به یک مدل سه هدفه؛

۲. در نظر گرفتن قابلیت اطمینان در زنجیرهٔ تأمین هوشمند؛

۳. در نظر گرفتن ریسک در زنجیرهٔ تأمین هوشمند؛

۴. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل آن و مقایسهٔ الگوریتم‌ها با هم؛

۵. در نظر گرفتن مفروضات و متغیرهای جدید و توسعهٔ مدل از نظر مفروضات.

References

Abdel-Basset, M., Manogaran, G. & Mohamed, M. (2018). Internet of Things (IoT) and Its Impact on Supply Chain: A Framework for Building Smart, Secure and Efficient Systems. *Future Generation Computer Systems*, 86: 614–28.

Agrawal, T. K., Sharma, A., & Kumar, V. (2018). Blockchain-Based Secured Traceability System for Textile and Clothing Supply Chain. In S. Thomassey & X. Zeng (Eds.), *Artificial Intelligence for Fashion Industry in the Big Data Era* (pp. 197–208). https://doi.org/10.1007/978-981-13-0080-6_10

Angeles, R. (2005). Rfid Technologies: Supply-Chain Applications and Implementation Issues. *Information Systems Management*, 22(1), 51–65.

Bai, C. & Sarkis, J. (2020). A Supply Chain Transparency and Sustainability Technology Appraisal Model for Blockchain Technology. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2142–2162.

Ben-Daya, M., Hassini, E. & Bahroun, Z. (2017). Internet of Things and Supply Chain Management: A Literature Review. *International Journal of Production Research*, 7543(November): 1–24. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140.

Bhat, S.A., Huang, N.F., Sofi, I.B. & Sultan, M. (2022). Agriculture-Food Supply Chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability. *Agriculture*, 12(1). https://www.mdpi.com/2077-0472/12/1/40.

Center, Auto-ID. (2002). *NTechnology Guide*. Auto-ID Center.

Chen, Y. & Chen, G. (2022). Optimization of the Intelligent Asset Management System Based on WSN and RFID Technology. ed. Chih-Cheng Chen. *Journal of Sensors*. https://doi.org/10.1155/2022/3436530.

Christopher, M. (2000). The Agile Supply Chain. *Industrial Marketing Management,* 29(1), 37–44.

Chung, D.B., Kim, S.I.I., Lee, J.S. (2018). Dynamic Supply Chain Design and Operations Plan for Connected Smart Factories with Additive Manufacturing. *Applied Sciences, 8*(4), 583. https://doi.org/10.3390/app8040583

Cole, R., Stevenson, M. & Aitken, J. (2019). Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. Supply Chain Management: *An International Journal*, 24(4), 469–483. https://doi.org/10.1108/SCM-09-2018-0309

Dujak, D. & Sajter, D. (2019). *Blockchain Applications in Supply Chain. In SMART Supply Network* (pp. 21-46). Springer, Cham.

Greengard, S. (2015). Putting the Internet of Things to Work. In *The Internet of Things*, MIT Press, 111–34. https://ieeexplore.ieee.org/document/7087520.

Grewal, D., Motyka, S. & Levy, M. (2018). The Evolution and Future of Retailing and Retailing Education. *Journal of Marketing Education*, 40(1), 85–93.

Gupta, S., Drave, V.A., Bag, S. & Luo, Z. (2019). Leveraging Smart Supply Chain and Information System Agility for Supply Chain Flexibility. *Information Systems Frontiers* 21(3), 547–64.

Hardgrave, B.C., Aloysius, J. & Goyal, S. (2013). RFID-Enabled Visibility and Retail Inventory Record Inaccuracy: Experiments in the Field. *Production and Operations Management,* 22(4), 843–56.

Holmström, J. (1998). Business Process Innovation in the Supply Chain - A Case Study of Implementing Vendor Managed Inventory. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 4(2–3), 127–31.

Jimenez, D., Valdes, S., & Salinas, M. (2019). Popularity Comparison between E-Commerce and Traditional Retail Business. *International Journal of Technology for Business*, *1*(1), 10-16.

Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640–652. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034

Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2020). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning \& Control*, 31(11–12), 950–966. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1695925.

Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management,* 39, 80–89. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005

Lee, I. & Lee, K. (2015a). The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–40.

https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007681315000373.

López, T.S., Ranasinghe, D.C., Patkai, B. & McFarlane, D. (2011). Taxonomy, Technology and Applications of Smart Objects. *Information Systems Frontiers*, 13(2), 281–300. https://doi.org/10.1007/s10796-009-9218-4.

Mansouri Bakvand, G. (2019). The Impact of Blockchain Technology on Trust in the Supply Chain, Master's of Logistics and Supply Chain Management, Lund University.

Mohan, T. (2018). *Improve Food Supply Chain Traceability using Blockchain*, Master of Science the Pennsylvania State University, The Graduate School, College of Engineering.

Nayyar, A. & Puri, W. (2016). Data Glove: Internet of Things (IoT) Based Smart Wearable Gadget. *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 15(5), 1-12.

Nayak, G. & Dhaigude, A. S. (2019). A conceptual model of sustainable supply chain management in small and medium enterprises using blockchain technology. *Cogent Economics & Finance*, 7(1), 1667184. https://doi.org/10.1080/23322039.2019.1667184

Pundir, A. K., Jagannath, J. D., Chakraborty, M., & Ganpathy, L. (2019). Technology Integration for Improved Performance: A Case Study in Digitization of Supply Chain with Integration of Internet of Things and Blockchain Technology. 2019 *IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference* (CCWC), 170–176. https://doi.org/10.1109/CCWC.2019.8666484

Queiroz, M. M., Telles, R. & Bonilla, S. H. (2020). Blockchain and supply chain management integration: a systematic review of the literature. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 241–254. https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0143.

Raja Santhi, A. & Muthuswamy, P. (2022). Influence of Blockchain Technology in Manufacturing Supply Chain and Logistics. *Logistics*, 6(15), 2-22.

Saberi, S., Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2019). Blockchains and the Supply Chain: Findings from a Broad Study of Practitioners. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 95–103. https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2928264

Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117–2135.

Schmidt, C. G., & Wagner, S. M. (2019). Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(4), 100552. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pursup.2019.100552

Sharifi, H., Ismail, H.S. & Reid, I. (2006). Achieving Agility in Supply Chain through Simultaneous 'Design of' and 'Design for' Supply Chain. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(8), 1078–98.

Shousong, C., Xiaoguang, W. & Yuanjun, Z. (2019). Revenue Model of Supply Chain by Internet of Things Technology. *IEEE Access*, 7(c): 4091–4100.

Tan, W.C. & Sidhu, M.S. (2022). Review of RFID and IoT Integration in Supply Chain Management. *Operations Research Perspectives* 9: 100229. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214716022000070.

Tian, F. (2016). An Agri-Food Supply Chain Traceability System for China Based on RFID Amp; Blockchain Technology. In *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 1–6.

Wu, X., Yue, X., Jin, A. & Yen, D.C. (2016). Smart Supply Chain Management: A Review and Implications for Future Research ed. Yue Xiaohang. *The International Journal of Logistics Management*, 27(2), 395–417. https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2014-0035.

Zhang, L.H., Li, T. & Fan, T.J. (2018). Inventory Misplacement and Demand Forecast Error in the Supply Chain: Profitable RFID Strategies under Wholesale and Buy-Back Contracts. *International Journal of Production Research* 56(15), 5188–5205. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1463110.

Zhou, K., Liu, T. & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. *In 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147–52.

Zhu, X.N., Peko, G., Sundaram, D. & Piramuthu, S. (2021). Blockchain-Based Agile Supply Chain Framework with IoT. *Information Systems Frontiers*, 24(2), 563-578. https://doi.org/10.1007/s10796-021-10114-y.

Zhu, Q., & Kouhizadeh, M. (2019). Blockchain Technology, Supply Chain Information, and Strategic Product *Deletion Management. IEEE Engineering Management Review*, 47(1), 36–44. https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2898178

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی