



Production and Operations Management

University of Isfahan E-ISSN: 2423-6950

Vol. 13, Issue 1, No. 28, Spring 2022



<http://dx.doi.org/10.22108/ipom.2022.129445.1385>

(Research Paper)

A model for the optimization of information process performance in the IoT-based virtual supply chain

Hanieh Shambayati

Dept. of Industrial Management, Faculty of Economic, Management and Administrative Sciences,
Semnan University, Iran, h.shambayati@semnan.ac.ir

Mohsen Shafiei Nikabadi *

Dept. of Industrial Management, Faculty of Economic, Management and Administrative Sciences,
Semnan University, Iran, shafiei@semnan.ac.ir

Seyed Mohammad Ali Khatami Firouzabadi

Dept. of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i
University, Tehran, Iran, a.khatami@atu.ac.ir

Mohammad Rahmanimanesh

Dept. of Computer Engineering, Electrical & Computer Engineering Faculty, Semnan University,
Iran, rahmanimanesh@semnan.ac.ir

Sara Saberi

Foisie School of Business, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, USA, ssaberi@wpi.edu

Purpose: Today, the manufacturing industry, with the expansion of the physical constraints of trade worldwide, has adopted modern information technologies to optimize the business process and achieve integration with geographically dispersed supply chain partners. Traditional supply chain models focus on optimizing physical flows. However, it is equally important to ensure that physical units can process appropriate information. This paper aims to propose a model for the optimization of information process performance in the IoT-based virtual supply chain.

Design/methodology/approach: In this study, information processing performance in the closed-loop virtual supply chain has been optimized to maximize profit and information processing speed by considering costs of virtual, information security, and energy consumption. The final programming model has been optimized using meta-heuristic algorithms, the Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II), and the Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA-II).

* Corresponding author



Findings – The results indicated that there is an inverse relationship between virtual supply chain profit and information processing speed (delay). The results of model solving using NSGA-II and SPEA-II algorithms underlined the virtual supply chain profit of 9.93×10^6 and 4.23×10^6 , and the data processing speed of 337.48 and 94.07, respectively. Thus, the NSGA-II algorithm contributes more to the supply chain profitability.

Research limitations/implications - The proposed model can be used in manufacturing industries equipped with IoT. Unavailability of practical examples and insufficient data are the two main limitations of the study.

Practical implications:- The proposed model improves the production process and helps managers to plan better for their supply chain management and make timely decisions by sharing information across the supply chain and being aware of the flows of products and associated parts.

Social implications - The Internet of Things in the virtual supply chain provides an opportunity to manage logistics systems and results in efficient online delivery with minimal cost. The information flow integrates all links and participants in the virtual supply chain. It enables each member to obtain the accurate information needed for logistics capability, reduces resource wastage, and improves customer satisfaction.

Originality/value: One of the innovative aspects of this research is the use of IoT in the virtual supply chain for the integration and transparency of information in the supply chain, considering the importance of information in the virtual supply chain and examining the impact of IoT usage on closed-loop virtual supply costs and target functions. In addition to considering the physical flow costs of the closed-loop, including production costs, separation costs, repair, disposal, recycling, etc., in the cost objective function, virtual flow costs included IoT usage costs and information security costs. Energy consumption was also included in the objective function. Also, due to the virtualization of the supply chain and the significant role of information, optimization of information processing speed was considered in modeling the supply chain performance, which is another innovative aspect of research.

Keywords: Virtual supply chain, Optimization, Information process performance, Security, Energy consumption, Process speed



مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۳، شماره ۱، پیاپی ۲۸، بهار ۱۴۰۱

دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳ ص ۱-۲۴



<http://dx.doi.org/10.22108/jpom.2022.129445.1385>

(مقاله پژوهشی)

مدلی جهت بهینه‌سازی عملکرد پردازش اطلاعات در زنجیره تأمین مجازی مبتنی بر اینترنت اشیا

هانیه شامبیاتی^۱، محسن شفیع نیک‌آبادی^{۲*}، سید محمدعلی خاتمی فیروزآبادی^۳، محمد رحمانی منش^۴، سارا صابری^۵

۱- دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان، ایران، h.shambayati@semnan.ac.ir

۲- دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان، ایران، shafiei@semnan.ac.ir

۳- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران، a.khatami@atu.ac.ir

۴- استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده برق و مهندسی کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، rahmanimanesh@semnan.ac.ir

۵- استادیار دانشکده بازرگانی رابرت فوژی، موسسه پلی تکنیک وورستر، آمریکا، ssaberi@wpi.edu

چکیده: امروزه، صنعت تولید با گسترش محدودیت‌های فیزیکی تجارت در سطح جهان، فناوری‌های مدرن اطلاعاتی را به منظور بهینه‌سازی روند تجارت و دستیابی به ادغام با شرکای زنجیره تأمین در پیش گرفته است که از نظر جغرافیایی پراکنده‌اند. مدل‌های سنتی زنجیره تأمین، توجه اصلی را به بهینه‌سازی جریان‌های فیزیکی می‌دهد؛ با وجود این، اطمینان از اینکه واحدهای فیزیکی قابلیت پردازش اطلاعات مناسب را دارد نیز به همان اندازه مهم است. به این منظور در این پژوهش، بهینه‌سازی عملکرد پردازش اطلاعات در زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته، با هدف حداکثرسازی سود و سرعت پردازش اطلاعات، با در نظر گرفتن هزینه‌های مجازی، امنیت اطلاعات و مصرف انرژی بررسی شده است. مدل برنامه‌ریزی خطی نهایی با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری نسخه دوم الگوریتم ژنتیک، با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) و نسخه دوم، مبتنی بر قوت پارتو (SPEA-II) بهینه‌سازی شده است. نتایج حل مدل با استفاده از الگوریتم‌های NSGA-II و SPEA-II، سود زنجیره تأمین مجازی را به ترتیب $9/93 \times 10^6$ و $4/23 \times 10^6$ و سرعت پردازش اطلاعات را به ترتیب $337/48$ و $94/07$ واحد نشان داد. به این ترتیب، الگوریتم NSGA-II در سودسازی زنجیره تأمین عملکرد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین مجازی، بهینه‌سازی، عملکرد پردازش اطلاعات، امنیت، مصرف انرژی، سرعت پردازش



۱- مقدمه

افزایش رقابت جهانی، سازمان‌ها را به درک این موضوع مجبور کرده است که برای بقا، باید زنجیره تأمین^۱ خود را بهتر مدیریت کنند (اسمیت و دیلون^۲، ۲۰۱۹). مدیریت زنجیره تأمین، اسکلت اساسی هر صنعت است (دوتا^۳ و همکاران، ۲۰۲۰) و به صنایع تولیدی برای ایجاد یک برنامه کم‌هزینه خدمت می‌کند که بهره‌وری و موفقیت شرکت‌ها را تضمین می‌کند (بهونیا^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). سیستم‌های زنجیره تأمین سنتی، توانایی برآورده کردن نیازها و تقاضاهای رو به رشد آینده را ندارد (دوتا و همکاران، ۲۰۲۰). جاری‌سازی روزافزون و استقرار فناوری جدید، مبتنی بر فناوری اطلاعات در صنایع مختلف و به‌ویژه تجارت الکترونیک، مجازی‌سازی زنجیره‌های تأمین را به دنبال دارد و خواستار ذهنیت جدیدی در مدیریت زمینه‌های متنوع تجاری جدید است (اسمیت و دیلون، ۲۰۱۹). در عصر ارتباطات پیشرفته و فناوری اطلاعات، همکاری مجازی و موقت در زنجیره‌های تأمین برای دریافت مزایای متقابل، مانند چابکی با به‌اشتراک‌گذاری منابع و اطلاعات، یک استراتژی مهم برای سازمان‌هایی است که به دنبال افزایش رقابت و بهینه‌سازی فرایندها و استفاده از منابع‌اند (سامدانسودول^۵ و همکاران، ۲۰۱۷). زنجیره تأمین مجازی، شرکای تجاری را با تکنولوژی اطلاعات به همدیگر مرتبط می‌کند و تبادل داده‌های الکترونیکی اعم از فروش، خرید، جابه‌جایی محصولات، خدمات و پول را امکان‌پذیر می‌کند (پورحمیدی و مهاجرانی، ۱۳۸۶). زنجیره‌های تأمین مجازی به دو زیرساخت مجزای فیزیکی (برخورد با جریان و ذخیره کالا) و اطلاعات (رسیدگی به اطلاعات مرتبط با آن کالاها) تقسیم می‌شود. اشتراک به موقع اطلاعات در بین اعضای زنجیره تأمین، باعث کاهش اتلاف و افزایش کارایی در کل زنجیره می‌شود. اتوماسیون سرویس‌های اطلاعاتی، اعضای زنجیره تأمین را به درک، پیش‌بینی و واکنش به موقع نسبت به تغییر وضعیت بازار و تسریع در انتقال اطلاعات مهم بین اعضا تجهیز می‌کند که برای بهبود قابلیت کنترل، انعطاف‌پذیری، عملکرد و قابلیت‌های وقایع غیرعادی تأمین ضروری است (لیو و سان^۶، ۲۰۱۱). فناوری اطلاعات، مؤثرترین حامل اطلاعات در دنیای مدرن است و تبادل سریع اطلاعات، به توسعه زنجیره تأمین مجازی منجر شده است (کولینسکا^۷ و کولینسکا، ۲۰۱۹).

این پژوهش، زنجیره تأمین مجازی، ضرورت و مزایای اجرای آن را معرفی می‌کند و مجازی‌سازی را از نظر اشیای مجازی بررسی می‌کند که مربوط به مفهوم اینترنت اشیا^۸ است. IoT به عنوان الگویی جدید ساخته شده است که از اشیای مختلف فیزیکی تشکیل می‌شود و اشیا را به منظور ایجاد سرویس‌های هوشمند جدید، خدمات با ارزش افزوده و برنامه‌های زمان واقعی به هم متصل می‌کند. اینترنت اشیا اجازه می‌دهد تا چندین فناوری با توانایی‌های مختلف، مانند سنجش، محاسبه، نظارت، مدیریت، ذخیره‌سازی و اتصال با هم ادغام شوند (پراسانت و جاپاچیترا^۹، ۲۰۲۰). IoT از بسیاری جهات، بر کل SC اثر می‌گذارد. در مرحله اول، قابلیت اطمینان SC را با فعال کردن دید شی و تبادل اطلاعات در زمان واقعی توسعه می‌دهد. در مرحله دوم، پاسخگویی SC را افزایش و هزینه‌های آن را کاهش می‌دهد و بهینه‌سازی زمان واقعی را برای عملکردها و فعالیت‌های فرآیند تجاری تسهیل می‌کند و با ردیابی منابع در زمان واقعی، مدیریت دارایی‌های SC را بهبود می‌بخشد و در آخر اینکه، چابکی SC را با سرعت بخشیدن به فرایندهای جریان اطلاعات افزایش می‌دهد (دوکات و پارک^{۱۰}، ۲۰۱۶).

با توجه به اینکه یکی از نگرانی‌های تولیدکنندگان، توسعه‌دهندگان، ارائه‌دهندگان خدمات و کاربران نهایی، امنیت و حفظ حریم خصوصی است و نظر به اینکه IoT نه تنها با مقادیر عظیمی از داده‌های حساس سروکار دارد،

این قدرت را دارد که با توانایی‌های کنترل خود بر محیط فیزیکی و مجازی نیز اثر بگذارد و باید امنیت شبکه و سیستم و محافظت از حریم شخصی کاربران، اولویت اصلی در نظر گرفته شود (پارک و شین^{۱۱}، ۲۰۱۶). با استفاده گسترده از اینترنت اشیا، وضعیت انرژی بیشتر اهمیت می‌یابد که سیستم برنامه‌ریزی اینترنت اشیا با آن روبه‌رو می‌شود. در برنامه‌ریزی تجهیزات تحت محیط اینترنت اشیا، نحوه ایجاد یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی دقیق تجهیزات، با توجه به از دست دادن انرژی، یک کانون تحقیقاتی در صنعت است (دینگ و وو^{۱۲}، ۲۰۱۹). در کارخانه‌های هوشمند در حال ظهور، IoT به‌طور گسترده‌ای برای احساس اطلاعات مختلف محیطی استفاده می‌شود و اطلاعات سنجیده‌شده برای تصمیم‌گیری به کنترل‌کننده ارسال می‌شود، سپس تصمیم براساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده برای محرک‌ها ارسال می‌شود. برای بسیاری از این برنامه‌ها، کاهش تأخیر، از مهم‌ترین الزامات فنی است. واضح است که سنجش و کنترل زمان، برای کارایی و ایمنی بسیار مهم است و باید به‌موقع و به‌طور مطمئن، پردازش انجام شود. برای پشتیبانی از انتقال انرژی دوطرفه در شبکه‌های هوشمند ناهمگن، سیستم‌های ارتباطی اساسی باید از نظر تأخیر، عملکرد بالایی داشته باشد (ما^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹).

۱-۱- پیشینه تحقیق

نیشی^{۱۴} و همکاران (۲۰۲۰)، یک روش پیکربندی کلی برای سیستم چندعاملی زنجیره تأمین مجازی با استفاده از کاتالوگ‌های الکترونیکی سازمانی پیشنهاد کردند. وانگ^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۰) یک سیستم لجستیک هوشمند، مبتنی بر اینترنت اشیا ارائه کردند که هماهنگی پویا بین مشتریان، ربات‌های سفارش‌دهنده، فناوری ابری و افزایش رضایت مشتری را فراهم می‌کند. مدل بهینه‌سازی ریاضی وانگ و همکاران، زمان انتظار مشتری و هزینه حمل‌ونقل را در فرآیند ارسال به حداقل می‌رساند. ماتسودا^{۱۶} و همکاران (۲۰۲۰)، روش جدیدی را برای ساخت یک زنجیره تأمین مجازی، به‌عنوان یک سیستم چندعاملی ارائه کردند که با اتصال عوامل نرم‌افزاری ایجاد می‌شود که به‌طور خودکار، از هر مدل سازمانی مؤلفه انتخابی در کاتالوگ الکترونیکی تولید می‌شود.

هه^{۱۷} و همکاران (۲۰۲۰) چالش‌ها و فرصت‌های نظری و عملی ناشی از اینترنت اشیا را در زنجیره تأمین مطالعه کردند. آنها با استفاده از داده‌های کلان به‌دست‌آمده از محصولات متصل هوشمند^{۱۸} (SCP)، اصل عملکرد اینترنت اشیا و پیامدهای آن را برای تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ بر عملکرد عملیاتی زنجیره تأمین، به‌ویژه با توجه به پویایی هماهنگی عملیاتی و بهینه‌سازی برای زنجیره‌های تأمین بررسی کردند. جنیفر^{۱۹} (۲۰۲۰)، توسعه یک سیستم جدید پردازش اطلاعات را در بستر اینترنت اشیا، از طریق یک سیستم نظارت بر مراقبت‌های بهداشتی بررسی کرد. او استفاده مؤثر از داده‌های بزرگ در محیط اینترنت اشیا را از طریق معماری پیشنهادی، برای دستیابی به حداقل تأخیر در یک محیط زمان واقعی، تجزیه و تحلیل کرد.

یاداو و میسرا^{۲۰} (۲۰۱۹) چگونگی اثر بلاکچین را در هنگامی بررسی کردند که با زنجیره تأمین مجازی یکپارچه شده است و اثر آن را بر کارایی‌های مختلف عملیاتی، از جمله کاهش هزینه و مبارزه با محصولات تقلبی در زنجیره تأمین مواد غذایی بررسی کردند. ماتسودا^{۲۱} و همکاران (۲۰۱۹)، مجازی‌سازی زنجیره تأمین را با ساختن یک سیستم فیزیکی سایر، برای یک زنجیره تأمین هوشمند بررسی کردند. در این مقاله، پیشنهاد می‌شود یک مدل سازمانی به‌عنوان یک مدل اطلاعاتی، مدل‌سازی شود که یکپارچه‌سازی یک مدل داده و یک مدل ریاضی برای

توصیف رفتار خود است. اسمیت و دیلون (۲۰۱۹) درباره استفاده از فناوری بلاکچین، به عنوان مکانیسمی برای تسهیل اعتماد بین عوامل مختلف زنجیره تأمین، با بررسی سه موضوع مهم اعتبار، قابلیت ردیابی، شفافیت، در مدیریت ریسک زنجیره تأمین مجازی بحث کردند.

یان^{۲۲} (۲۰۱۷)، بهینه سازی افزایش درآمد زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی را با به کارگیری اینترنت اشیا بررسی کرد. یان، دو مدل درآمد را برای محاسبه درآمد زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی، قبل و بعد از استفاده از IoT در نظر گرفت تا آثار IoT را در این زنجیره تأمین بررسی کند. ونکاسکاس^{۲۳} و همکاران (۲۰۱۶)، چارچوبی را برای مدل سازی مسائل امنیت-انرژی-محیط، به عنوان ویژگی های اصلی برای تعیین کیفیت خدمات، برای برنامه های مبتنی بر اینترنت اشیا معرفی کردند. وردو^{۲۴} و همکاران (۲۰۱۶)، نقش مجازی سازی را در چارچوب مدیریت زنجیره تأمین مواد غذایی، از نظر اینترنت اشیا بررسی کردند و یک معماری سیستم اطلاعاتی برای اجرای این طرح به صورت تئوری پیشنهاد کردند. فنگ^{۲۵} و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل سه مرحله ای یکپارچه براساس فناوری IoT، برای بهینه سازی تهیه مواد اولیه، تولید و بازیافت محصول، قیمت گذاری و استراتژی کسب سود برای تأمین تقاضای محصول در هر مرحله از چرخه عمر محصول ارائه کردند. لی^{۲۶} و همکاران (۲۰۱۴)، کیفیت خدمات اینترنت اشیا را یک مدل برنامه ریزی چندهدفه، با در نظر گرفتن سه ویژگی کیفیت خدمات وب (زمان اجرا، قابلیت اطمینان، هزینه اجرا) به عنوان معیارهای ارزیابی کیفیت خدمات وب، با توجه به کاربرد دامنه IoT بررسی کردند. لانگ^{۲۷} (۲۰۱۴)، شبکه های زنجیره تأمین مجازی را با ترکیبی از تست محاسباتی و فناوری عملیاتی بررسی کرد. لانگ از نظر روش شناختی، به جای جنبه کاربردی، چارچوب تست محاسباتی توزیع شده مبتنی بر عامل را براساس سه جنبه مواد، اطلاعات و زمان با راهکارهای اجرایی، برای گسترش شبکه های زنجیره تأمین مجازی ارائه کرد.

شفیعی نیک آبادی و همکاران (۱۳۹۳)، اثر مدیریت امنیت اطلاعات را بر یکپارچگی زنجیره تأمین شرکت های کوچک و متوسط بررسی کردند. تقوا و همکاران (۱۳۸۹)، نقش نظام های مدیریت امنیت اطلاعات را در بهبود عملکرد زنجیره تأمین در صنعت خودرو بررسی کردند. آنها از فن کارت امتیازی متوازن در سه سطح راهبردی، فنی و عملیاتی برای بررسی عملکرد استفاده کردند. رحمان سرشت و افسر (۱۳۸۷)، اثر تسهیم اطلاعات را بر استراتژی های رقابتی و عملکرد زنجیره تأمین فولاد، با استفاده از مدلیابی معادلات ساختاری تجزیه و تحلیل کردند. برای نشان دادن تفاوت این تحقیق با دیگر مقالات، طبقه بندی مهم ترین پژوهش های مرتبط در جدول ۱ بیان شده است.

بیشتر مطالعات انجام شده در این حوزه توصیفی بوده و مزایا و ویژگی های مهم و مؤثر در زنجیره تأمین مجازی را به صورت توصیفی شرح داده اند. درواقع در هیچ یک از مطالعات بررسی شده، بهینه سازی زنجیره تأمین مجازی با تمرکز بر بهینه سازی عملکرد پردازش اطلاعاتی مشاهده نشده است. با توجه به نقش مهم اطلاعات در زنجیره های تأمین مجازی، یکی از نوآوری های این پژوهش، بهینه سازی زنجیره تأمین مجازی با تمرکز بر عملکرد پردازش اطلاعات است. در نظر گرفتن هزینه تجهیزات اینترنت اشیا، هزینه مصرف انرژی، هزینه امنیت اطلاعات و سرعت پردازش اطلاعات در محیط اینترنت اشیا، نوآوری دیگر این پژوهش است. همچنین مدل بهینه سازی عملکرد پردازش اطلاعات، با در نظر گرفتن توابع سود و سرعت پردازش، با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری نسخه دوم، مبتنی بر قوت پارتو^{۲۸} و نسخه دوم الگوریتم ژنتیک، با مرتب سازی نامغلوب^{۲۹} حل و نتایج این دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه می شوند.

جدول ۱- خلاصه تحقیقات زنجیره تأمین مجازی

Table 1 - Summary of Virtual Supply Chain Research

فرضیات								دفرنس
روش	امنیت اطلاعات	تسهیلات تکنولوژی	چنددوره‌ای	چند محصولی	اینترنت اشیا	زنجیره تأمین حلقه بسته	زنجیره تأمین مجازی	
توصیفی							✓	مانتو ^{۳۰} و همکاران (۲۰۰۴)
توصیفی							✓	گوناسکران و نگایی (۲۰۰۷)
توصیفی							✓	وردو و همکاران (۲۰۱۳)
توصیفی							✓	لانگ ^{۳۱} (۲۰۱۴)
بهبودسازی- PSO			✓			✓	✓	فنگ و همکاران (۲۰۱۵)
بهبودسازی- CCA		✓		✓		✓		یان (۲۰۱۷)
توصیفی							✓	شمسوزوها و هلو (۲۰۱۷)
توصیفی							✓	کولینسکا و کولینسکا (۲۰۱۹)
توصیفی								یاداو و میسرا (۲۰۱۹)
توصیفی							✓	برونو ^{۳۲} (۲۰۲۰)
توصیفی		✓					✓	نیشی و همکاران (۲۰۲۰)
توصیفی							✓	ماتسودا و همکاران (۲۰۲۰)
بهبودسازی- NSGAII SPEA-II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	پژوهش حاضر

۲- مبانی نظری

۲-۱- زنجیره تأمین مجازی

زنجیره تأمین مجازی، همکاری در یک زنجیره تأمین از طریق اینترنت، توسط یک شبکه پویا از سازمان‌های همکار است که فعالیت‌های عادی آنها در درجه اول مبتنی بر اینترنت است. هدف این سازمان‌های همکار این است که از فرصت تجاری برای ارائه کالای منحصربه‌فرد، به‌موقع بهره‌برداری کنند (اسکات و مولا^{۳۳}، ۲۰۰۹). حالات تجاری امروز، از جمله تنوع بیشتر محصول، چرخه عمر کوتاه‌تر محصول و سطح تقاضای پیش‌بینی‌نشده، فشار مضاعفی را بر شرکت‌های تولیدی در سطح جهان وارد می‌کند. برای کنار آمدن با چنین وضعیتی، شرکت‌های توزیع‌شده جغرافیایی، برای کار مشترک در یک فضای تجاری مجازی مورد نیازند (شمسوزوها و هلو^{۳۴}، ۲۰۱۷).

زنجیره تأمین مجازی، شامل ابزاری برای مدیریت جریان اطلاعات مربوط به برنامه‌ریزی، تأمین منابع، ساخت و تحویل فعالیت‌هاست که با فعالیت‌های جمع‌آوری اطلاعات، پردازش اطلاعات و اشتراک اطلاعات برای شبکه‌ای از شرکت‌ها پشتیبانی می‌شود (هلو، شمسوزوها و ساندو^{۳۵}، ۲۰۱۶). به اشتراک‌گذاری اطلاعات در یک زنجیره تأمین مجازی، اطلاعات کلی را غنی می‌کند تا نتایج حاصل از کلیه فعالیت‌های برنامه‌ریزی را بهبود بخشد. ادغام سیستم‌های اطلاعاتی و فناوری اینترنت، به ایجاد زنجیره تأمین مجازی کمک می‌کند (اسکات و مولا، ۲۰۰۹).

ویژگی‌های زنجیره تأمین مجازی عبارتند از: موقتی بودن، مشتری‌مداری، پراکندگی جغرافیایی، استفاده فشرده از فناوری‌های اطلاعات، ساختار سازمانی شبکه، استفاده از شایستگی‌های اصلی مشارکت‌کنندگان (کولیسکا و کولیسکا^{۳۶}، ۲۰۱۹). امروزه با پیشرفت در فناوری اطلاعات و ارتباطات، به اشتراک‌گذاری اطلاعات بیشتر تصورشدنی است. به علاوه، اشتراک اطلاعات در زنجیره‌های تأمین، با معرفی همکاری جهانی و هماهنگی طولانی مدت کارآمدتر شده است که به بهبود مزیت‌های رقابتی شرکت‌ها منجر می‌شود (لطفی^{۳۷} و همکاران، ۲۰۱۳). شرکای موجود در زنجیره‌های تأمین مجازی ممکن است از فرصتی به بازار دیگر متفاوت باشند و نهایت انعطاف را در انتخاب و استقرار پیوندها فراهم کنند. هیچ عضوی دائمی، در زنجیره‌های تأمین مجازی وجود ندارد. زنجیره تأمین مجازی ساختار سازمانی است که جریان کارآمد و مؤثر کالاهای فیزیکی و اطلاعات را به صورت یکپارچه تسهیل می‌کند و به دلیل انعطاف‌پذیری آن در اتخاذ سریع و انطباق با تغییرات محیط کسب و کار، از زنجیره تأمین سنتی متمایز است (دا کروز کاریا^{۳۸} و همکاران، ۲۰۱۶). سیستم ردیابی سنتی تا حد زیادی به سیستم‌های مبتنی بر کاغذ یا رایانه‌ای داخلی متکی است. ثبت کاغذی، زمان‌بر و با خطا همراه است (رضایی و بابازاده، ۱۳۹۹). مجازی‌سازی، امکان ردیابی و نظارت محصولات و تاریخچه محصولات را فراهم می‌کند. شرکت‌ها با مجازی‌سازی فرآیند خود، به کارآیی عملیاتی دست می‌یابند (یاداو و میسرا، ۲۰۱۹). یکی از کلیدهای موفقیت‌آمیز زنجیره تأمین مجازی، تبادل به موقع و دقیق اطلاعات با برنامه‌های نرم‌افزاری است و با توجه به اینکه زنجیره تأمین مجازی به یک سیستم ارتباطی مؤثر متکی است، به توسعه یک سیستم اطلاعاتی مناسب با استفاده از فناوری‌های مختلف اطلاعاتی نیاز است (گوناسکران و نگایی^{۳۹}، ۲۰۰۷). اینترنت اشیا، یکی از جدیدترین تحولات و انقلاب جدید فناوری اطلاعات است که تغییر پارادایمی را در چندین زمینه، از جمله مدیریت زنجیره تأمین فراهم می‌کند (بن دایا، حاسینی و بهرون^{۴۰}، ۲۰۱۷).

۲-۲- اینترنت اشیا

اصطلاح IoT را کوین اشتون در سال ۱۹۹۹ ابداع کرده است. IoT مجموعه‌ای از اشیای فیزیکی و مجازی است که از طریق شبکه‌ای برای ارتباط و سنجش یا تعامل با محیط داخلی و خارجی به یکدیگر متصل می‌شوند و به صورت دیجیتالی برای سنجش، نظارت و تعامل در داخل یک شرکت و در میان دیگر شرکت‌ها به هم متصل شده‌اند (عبدالباسط، منوگران و محمد^{۴۱}، ۲۰۱۸). اینترنت اشیا، به امکان برقراری ارتباط تمام اشیا با یکدیگر و با انسان‌ها، به همراه شناسایی و کشف آنها در یک شبکه یکپارچه با شناسه مشخص اطلاق می‌شود و امکان برقراری ارتباط هرکسی، در هر زمان و مکان را به هر چیزی در هر زمان و مکان فراهم می‌آورد (هاشمی و ستوده، ۱۳۹۹). فناوری اینترنت اشیا، محیطی را کاملاً تغییر می‌دهند که زنجیره‌های تأمین در آن کار می‌کنند. داده‌ها و اطلاعات بسیار در زمان واقعی، سریع‌تر در زنجیره تأمین گسترش می‌یابد و همچنین، کارایی کشف و استفاده از منابع نیز بسیار بهبود می‌یابد (او، ژو و گو^{۴۲}، ۲۰۲۰). جریان محصولات در هر سطح زنجیره تأمین ردیابی می‌شود و کلیه اطلاعات مربوط به قطعات و محصولات وارد سیستم و برای مدیران، بارگذاری می‌شود (عبدالباسط و همکاران، ۲۰۱۸). اینترنت اشیا، زمان‌بندی فرآیند تولید را بهینه می‌کند و ادغام عمیق فرآیند فیزیکی تولید و سیستم اطلاعات را فراهم می‌کند و باعث تسریع در تحول و به‌روزرسانی، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش مصرف انرژی و ارتقای

صنعت تولید برای جهانی‌شدن و معتبرشدن می‌شود (هوانگ، ۲۰۲۰). به‌کارگیری IoT بر زنجیره تأمین مجازی، مدیریت موجودی را تقویت می‌کند و فناوری‌های جدید برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی^{۴۳}، فرایند ضبط انواع اطلاعات از قبیل تاریخ تولید و انقضا و مدت ضمانت را امکان‌پذیر می‌کند، به مدیریت مؤثر زنجیره تأمین مجازی می‌انجامد و باعث به حداکثر رساندن شفافیت تدارکات (لجستیک) می‌شود. تمام اطلاعات حمل‌ونقل با استفاده از اشیای هوشمند، در دسترس کل زنجیره تأمین خواهد بود. این امر احتمال نظارت و صرفه‌جویی در کالاهای را افزایش می‌دهد، همچنین هزینه بازگشت را به حداقل می‌رساند و اثر زیادی در رضایت مشتری دارد (عبدالباسط و همکاران، ۲۰۱۸). با به‌کارگیری IoT، محصولات معیوب در فرایند تولید، ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل شناسایی می‌شود. علاوه بر این، RFID به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا محصولات را ردیابی کند و به راحتی فراخوانی محصولات را انجام می‌دهد، بنابراین هزینه‌های فراخوان را نیز کاهش می‌دهد (یان، ۲۰۱۷).

۳-۲- عملکرد پردازش اطلاعات

در حالی که اطلاعات در سراسر زنجیره تأمین جمع‌آوری، پخش و به اشتراک گذاشته می‌شود، کیفیت اطلاعات نیز باید محفوظ باشد. اشتراک اطلاعات به معنای توزیع اطلاعات مهم و اختصاصی برای شرکای زنجیره تأمین است (مارنگی، تریولاس و رکلیت^{۴۴}، ۲۰۱۵). با بهبود کارایی پردازش اطلاعات، رقابت افزایش و هزینه‌ها کاهش می‌یابد. اگرچه نقش اصلی زنجیره‌های تأمین به‌عنوان سیستم‌های پردازش مواد و حرکت محصولات است، پردازش اطلاعات برای موفقیت آنها حیاتی است. واقعیت این است که ده‌ها هزار محصول/رکورد دیجیتالی در اینترنت اشیا، به‌طور مداوم به‌روز می‌شوند و هر روز رکوردهای جدیدی تولید می‌کنند. نحوه مدیریت این داده‌ها، نحوه طبقه‌بندی صحیح اطلاعات ثبت‌شده، صنعت IoT را با چالش‌های جدیدی روبه‌رو خواهد کرد (شین^{۴۵} و همکاران، ۲۰۱۴). فاکتورهای مختلفی مانند انرژی، پهنای باند و در دسترس بودن وجود دارد که در ارزیابی خدمات اینترنت اشیا استفاده می‌شود (شاوشوای^{۴۶} و همکاران، ۲۰۱۱). کیفیت خدمات سرویس‌های وب، ویژگی‌های عملکردی و غیرعملکردی را تشکیل می‌دهد. خواص عملکردی را از نظر توان عملیاتی، تأخیر و زمان پاسخ می‌سنجند. خواص غیرعملکردی موضوعات مختلفی، از جمله یکپارچگی، قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و امنیت سرویس‌های وب را بررسی می‌کند (وانگ^{۴۷}، ۲۰۰۹).

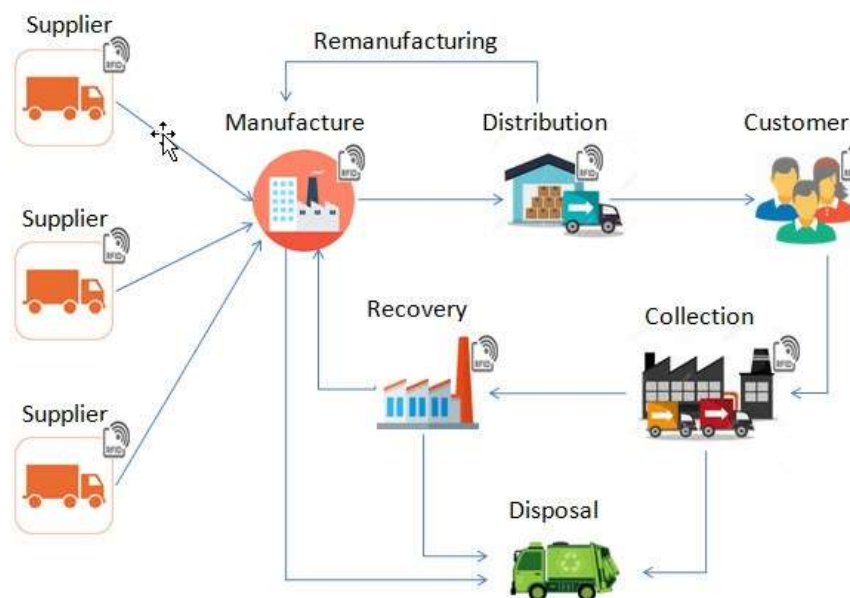
با مدیریت هزینه‌های زنجیره تأمین، اهداف عملکردی در بسیاری از سازمان‌ها تأمین می‌شود. علاوه بر هزینه‌ها، مسائل دیگری نیز باید در نظر گرفته شود. از موانع اصلی که سازمان‌ها در ارتقای قابلیت‌های اشتراک اطلاعات با آن روبه‌رواند، حریم خصوصی اطلاعات، قابلیت اطمینان، هزینه و پیچیدگی فناوری، دقت و استفاده مؤثر از اطلاعات است (مارنگی و همکاران، ۲۰۱۵). از دیدگاه ونکاو سکاس و همکاران (۲۰۱۶)، امنیت و انرژی ویژگی‌های جامعی‌اند که در جنبه‌های کلی کیفیت خدمات در سطح ارتباطات و کاربرد بسیار اثرگذارند. از دیدگاه لی و همکاران (۲۰۱۴) زمان اجرا، هزینه اجرا و قابلیت اطمینان معیارهای ارزیابی کیفیت سرویس IoT تعریف می‌شود. مینگ و یانگ^{۴۸} (۲۰۱۲) پنج معیار عملکرد، قیمت، در دسترس بودن و قابلیت اطمینان را در تهیه سرویس کیفیت خدمات در نظر گرفته بودند. سیستم‌های اینترنت اشیا حجم گسترده‌ای از داده‌ها را تولید می‌کند که برای تبدیل این داده‌ها به اطلاعات یا خدمات معنادار به اتصال و انرژی شبکه، پردازش و ذخیره منابع نیاز دارد (لوکشینا^{۴۹} و

همکاران، ۲۰۱۹). نظر به اینکه دستگاه‌های حسگر از نظر انرژی، حافظه، قابلیت پردازش و میزان داده محدودیت‌های مختلفی دارد، استفاده کارآمد و بهینه از این منابع کمیاب، اجباری است.

با گسترش استفاده از IoT در این زنجیره‌های تأمین، خطر افشای اطلاعات افزایش می‌یابد. اگر IoT نتواند راه‌حل مناسبی برای موضوعات امنیتی داشته باشد، توسعه آن را محدود خواهد کرد. بنابراین، بیش از همه مسائل IoT، مسئله امنیت اهمیت ویژه‌ای دارد (جینگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۴). با گسترش سریع اتصالات شبکه، سیستم‌های بیشتری توسط حملات نفوذی تهدید می‌شود. داده‌های بزرگ، حجم وسیعی از اطلاعات با دارایی با سرعت زیاد است که برای غنی‌سازی فرایند تصمیم‌گیری به صورت خودکار به یک سیستم پردازش اطلاعات کارآمد نیاز دارد (جنیفر، ۲۰۲۰). با پیشرفت‌های عمده در فن‌آوری‌های اطلاعات و ارتباطات، به اشتراک‌گذاری اطلاعات در زمان واقعی، به یک چالش مهم تبدیل می‌شود و اثر درخور توجهی بر عملکرد کلی زنجیره‌های تأمین دارد. در محیط اینترنت اشیا تأخیر، باعث ایجاد مشکلات در برنامه‌های حیاتی در سطوح مختلف می‌شود.

۳- شرح مدل و مسئله تحقیق

شبکه زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته که در این مقاله بحث می‌شود، یک شبکه پویا و چندمحصولی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری در جریان مستقیم و مرکز جمع‌آوری، بازیافت و انهدام در جریان معکوس است. ساختار کلی این شبکه در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شبکه در جریان مستقیم، محصولات جدید تولیدشده از طریق جریان مستقیم از مراکز توزیع به مشتریان می‌رسد و چنانچه محصولی در این مسیر آسیب ببیند، از طریق جریان بازتولید مجدد تعمیر و در مرکز تولید برای ارسال در دوره بعد ذخیره می‌شود.



شکل ۱- زنجیره تأمین مجازی مورد مطالعه

Fig. 1 - The virtual supply chain under study

در شبکه معکوس، محصولات قابل استفاده مجدد به مرکز بازیافت ارسال می‌شود تا به‌عنوان محصولات بازیافتی و با دمونتاژ و جداسازی مواد اولیه قابل استفاده به مرکز تولید ارسال شود. در این زنجیره از سیستم IoT برای شناسایی و فراخوانی محصولات معیوب در مرکز تولید و ردیابی محصولات تا زمان برگشت محصولات به مرکز جمع‌آوری استفاده می‌شود. یک افق تصمیم‌گیری شامل دوره‌های متعدد در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است.

۱-۳- مفروضات و ابعاد مدل در زنجیره تأمین

این مسئله با توجه به مفروضات زیر بررسی می‌شود.

هیچ تفاوتی بین محصولات جدید و یا بازیافت‌شده وجود ندارد و قیمت آنها یکسان است.

محصولات جدید را پس از دوره‌های معینی بعد از ورود به بازار برمی‌گردانند.

فقط هزینه‌های مجازی در این زنجیره در نظر گرفته شده است.

شاخص‌ها					
محصول	P	تولیدکننده	m	تأمین‌کننده	S
مرکز انهدام	Z	مرکز جمع‌آوری	X	مشتری	n
		مرکز بازیافت	B	دوره زمانی	t

۲-۳- هزینه‌های مجازی زنجیره تأمین

با توجه به کاربرد IoT برای مجازی‌سازی زنجیره تأمین، در این قسمت هزینه‌های مجازی‌سازی زنجیره تأمین بررسی می‌شود. ابتدا پارامترها و متغیرهای تصمیم استفاده‌شده در مدل مجازی، معرفی و سپس هزینه‌های مجازی فرموله می‌شود.

پارامترها

درصد محصولات p معیوب	μ_p	هزینه ثابت تسهیلات Iot در مرکز i	FC_{ilot}
هزینه فراخوانی محصول p بخش	C_{rempt}	هزینه خرید تگ‌های RFID در دوره t	C_{tagt}
تولید			
هزینه بازیافت برچسب‌های RFID	CB_{tagt}	میزان بازیافت برچسب‌های RFID	δ
میزان محصولات برگشتی از مشتریان	r_t	تقاضای محصول P در دوره t	d_{pt}
در دوره t			
درصد محصولات باز تولید شده	DR	قیمت فروش محصول p در دوره t	pr_{pt}

متغیرهای تصمیم

مقدار محصول p تولیدشده در دوره t Q_{pmt} مقدار محصول بازگشتی p Y_{pnxt}
 متغیر باینری برابر ۱ اگر در مرکز i X_{ilot} مقدار محصول p حمل شده از مرکز i به مرکز Q_{pijt}
 تسهیلات IoT به کار گرفته شود، در غیر j در دوره t
 این صورت برابر صفر

۱-۲-۳- هزینه فراخوانی بخش تولید (Rec)

تولیدکننده باید محصولات معیوب را در مرکز تولید فراخوانی کند. در همین حال، با فراخوانی محصولات معیوب، هزینه‌های فرصت خاصی از دست می‌رود. RFID ردیابی محصولات و افزایش شفافیت زنجیره تأمین را ممکن و در نتیجه روند فراخوان را تسهیل می‌کند و هزینه فراخوان را نیز کاهش می‌دهد.

$$Rec_t = \sum_m \sum_p Q_{pmt} \times \mu_{pt} \times c_{rempt} \quad \forall t \quad (1)$$

$$\sum_m Q_{pmt} \leq \sum_n d_{pnt} \quad \forall p, t \quad (2)$$

محدودیت ۲ تضمین می‌کند میزان محصول تولیدشده، کمتر مساوی تقاضای مشتریان باشد.

۲-۲-۳- هزینه ثابت تسهیلات IoT (FCI)

با به‌کارگیری IoT، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان، مراکز جمع‌آوری مسئولیت هزینه‌های ثابت تسهیلات IoT را بر عهده دارند.

$$FCI_t = \sum_m (X_{mtlot} \times FC_{mtlot}) + \sum_d (X_{dtlot} \times FC_{dtlot}) + \sum_x (X_{xtlot} \times FC_{xtlot}) \quad \forall t \quad (3)$$

محدودیت (۴) تضمین ماهیت دودویی متغیرهای تصمیم‌گیری است.

$$X_{milot}, X_{dilot}, X_{xilot} \in \{0,1\} \quad \forall d, m, x, t \quad (4)$$

۳-۲-۳- هزینه برچسب‌های RFID (TC)

تولیدکننده وظیفه دارد برچسب‌های RFID را بر بسته‌های محصولات قرار دهد تا بتوان محصولات را در جریان زنجیره تأمین مجازی ردیابی کرد. این برچسب‌ها بازیافت‌شدنی است. هزینه‌های خرید و نگهداری این برچسب‌ها باید با توجه به میزان محصول تولیدی و محصول برگشتی در هزینه‌های زنجیره تأمین مجازی در نظر گرفته شود. با توجه به محصولات برگشتی به مرکز جمع‌آوری و با در نظر گرفتن δ به‌عنوان میزان بازیافت برچسب‌های RFID، هزینه بازیافت این تگ‌ها نیز محاسبه می‌شود.

$$TC_t = C_{tagt} \times \left(\sum_m \sum_p Q_{pmdt} - \sum_n Y_{pnx(t-L)} \times \delta \right) + \sum_n Y_{pnxt} \times \delta \times CB_{tagt} \quad \forall p, t \quad (5)$$

$$\sum_n Y_{pnxt} = \left[r_t \times \sum_n \sum_d Q_{pdn(t-L)} \right] \quad \forall p, t \quad (6)$$

$$\sum_m Q_{pmdt} \times (1 - DR) = \sum_n Q_{pdnt} \quad \forall p, d, t \quad (7)$$

معادله (۶) میزان محصولات برگشتی از مشتریان را با توجه به میزان محصولات برگشتی بیان می‌کند و معادله (۷) میزان محصول فروخته‌شده را به مشتریان در هر دوره نشان می‌دهد.

۳-۳- مصرف انرژی (EC)

منظور از مصرف انرژی، مصرف انرژی در هر مورد تولید شده است، به‌طوری که این مورد، یک محصول فیزیکی یا یک واحد پولی تعریف می‌شود.

پارامترها

e_t^{tr} هزینه هر واحد مصرف انرژی برای ثبت، پردازش و ارسال داده‌ها به‌وسیله IoT در زمان t

P_{IoT}^i هزینه ثابت مصرف انرژی در سطح i

Dx_t درصد محصولات بازیافت‌شده در دوره t

DBZ_p درصد انهدام محصول p در مرکز بازیافت

E_{ut} حداکثر میزان مجاز مصرف انرژی در زمان t

q_{rp} تعداد قطعات r مورد نیاز محصول p

متغیرهای تصمیم

f_t^{tr} داده‌های پردازش‌شده به‌وسیله IoT در زمان t

Q_{rst} مقدار مواد خام r سفارش داده‌شده از تأمین‌کننده s در دوره t

Q_{rBt} مقدار مواد خام بازیافت‌شده از محصولات بازگشتی p در مرکز B در دوره t

به‌دلیل اتلاف غیرضروری انرژی الکتریکی در زنجیره تأمین مجازی، نیاز بهینه‌سازی انرژی، اهمیت حیاتی پیدا کرده است. در این مدل دو هزینه ثابت و متغیر برای مصرف انرژی در نظر گرفته شده است. هزینه متغیر وابسته به میزان مصرف انرژی ثبت و پردازش داده‌های مربوط به قطعات و محصولات در جریان زنجیره تأمین مجازی است و هزینه ثابت مصرف انرژی در طول زنجیره تأمین مجازی، با توجه به به‌کارگیری اینترنت اشیا در هر سطح زنجیره تأمین مجازی است.

$$EC_t = (e_t^{tr} \times f_t^{tr}) + \sum_m (X_{mtlot} \times p_{IoT}^m) + \sum_d (X_{dtlot} \times p_{IoT}^d) \quad \forall t \quad (8)$$

$$+ \sum_x (X_{xtlot} \times p_{IoT}^x) + \sum_B (X_{Btlot} \times p_{IoT}^B)$$

معادله (۹) اطلاعات مربوط به مواد و محصولات در هر سطح و هر دوره را نشان می‌دهد که با سیستم IoT ثبت و پردازش می‌شود.

$$f_t^{tr} = (Q_{rst} + Q_{rBt} + Q_{pmt} + Q_{pmt} \times \mu + Q_{pmdt} + Q_{pmdt} \times DR + Q_{pdnt} + Y_{pnxt} + Q_{pxBt} + Q_{pxBt} \times DBZ_p + Q_{pxzt}) \quad (9)$$

معادلات ۱۰، ۱۱ و ۱۲ میزان محصولات در سطوح مختلف زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته را نشان می‌دهد. معادله ۱۳ و ۱۴ میزان قطعات و مواد خام خریداری شده و بازیافت شده را در جریان معکوس نشان می‌دهد. محدودیت ۱۵ تضمین می‌کند طول عمر دستگاه‌های باتری، کل مصرف انرژی در ثبت و پردازش اطلاعات باید از حداکثر میزان مجاز مصرف انرژی کمتر باشد.

$$\sum Q_{pmdt} = Q_{pmt} \times (1 - \mu) \quad \forall p, m, t \quad (10)$$

$$\sum_B Q_{pxbt} = \sum Y_{pnxt} \times Dx_t \quad \forall p, x, t \quad (11)$$

$$\sum_Z Q_{pxzt} = \sum_x Y_{pnxt} \times (1 - Dx_t) \quad \forall p, x, t \quad (12)$$

$$\sum_p \sum_x (q_{rp} \times Q_{pxBt} \times (1 - DBZ_p)) = \sum_B Q_{rBt} \quad \forall r, t \quad (13)$$

$$Q_{rst} = \sum_m \sum_p q_{rp} \times Q_{pmt} \quad \forall r, t \quad (14)$$

$$\sum_t (EC_t) \leq E_{ut} \quad (15)$$

۳-۴- امنیت اطلاعات IoT (CS)

سیاست امنیت اطلاعات، سندی برای اطمینان از دارایی اطلاعات و ایمن‌سازی اطلاعات فناوری با روشی خاص برای حمایت از اهداف سازمان است. در این راستا، هزینه امنیت IoT در زنجیره‌های تأمین مجازی بسیار مهم و حیاتی است.

پارامترها

B حداکثر بودجه امنیت کل زنجیره تأمین

Csh_t هزینه خسارت ایجادشده در دوره t

متغیرهای تصمیم

P_t احتمال تهدید در دوره t

V_t سرمایه‌گذاری امنیت در دوره t

فرض می‌شود ظرف مدت یک سال، تهدیدهای احتمالی و احتمال خسارت برای یک شرکت وجود دارد. نصب سیستم امنیتی دارای ارزش کل سرمایه‌گذاری V_t برای انواع تهدیدات در زمان t باشد. CS_t هزینه خسارت

ایجادشده توسط تهدیدات، در زمان معینی باشد. هزینه کل امنیت در زمان t ، با استفاده از معادله ۱۶ محاسبه می‌شود.

$$CS_t = (Csh_t \times P_t + V_t) \quad \forall t \quad (16)$$

محدودیت ۱۷ بیان می‌کند کل هزینه امنیت نباید از بودجه امنیت زنجیره تأمین بیشتر باشد. محدودیت‌های (۱۸) تا (۲۰) سناریوهای مختلف سرمایه‌گذاری را برای مقابله با تهدیدات نشان می‌دهد که بر این اساس با افزایش میزان سرمایه‌گذاری، احتمال وقوع تهدید کاهش می‌یابد.

$$\sum_t CS_t \leq B \quad (17)$$

$$V_t = 2000 \quad 0.6 \leq P_t \leq 0.8 \quad \forall t \quad (18)$$

$$V_t = 4000 \quad 0.4 \leq P_t \leq 0.6 \quad \forall t \quad (19)$$

$$V_t = 6000 \quad 0.1 \leq P_t \leq 0.4 \quad \forall t \quad (20)$$

مدل بهینه‌سازی عملکرد پردازش اطلاعات با توجه به هزینه، سطح امنیتی، میزان مصرف انرژی و سرعت پردازش تحلیل می‌شود. به این منظور، مدل بهینه‌سازی عملکرد پردازش اطلاعات ارائه‌شده با توجه به هزینه‌های ذکرشده، به دنبال حداکثرسازی سود زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته و حداقل‌سازی تأخیر پردازش اطلاعات در این زنجیره است.

۳-۵- سود زنجیره تأمین مجازی

هدف نهایی زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته، حداکثرسازی سود است. به این منظور، درآمد کل از حاصل ضرب تعداد محصولات ارسال‌شده به مشتریان در قیمت واحد هر محصول محاسبه و از هزینه‌های زنجیره تأمین مجازی کم می‌شود.

$$Profit = (Q_{pdnt} \times pr_{pt}) - (Rec_t + FCI_t + TC_t + EC_t + CS_t) \quad \forall t \quad (21)$$

۳-۶- زمان تأخیر (سرعت پردازش)

مجازی‌سازی باعث تولید حجم عظیمی از داده می‌شود که برای ذخیره‌سازی و دسترسی، به زمان پردازش زیادی نیاز دارد. همان‌طور که دستگاه‌های متصل به تدریج و به‌طور مداوم افزایش می‌یابد، به ایجاد داده‌های بزرگ در اینترنت اشیا منجر می‌شود که تأخیر شبکه را افزایش می‌دهد. هدف این تابع، هدف حداقل‌سازی تأخیر حاصل از پردازش اطلاعات است که به این ترتیب، سرعت پردازش اطلاعات افزایش می‌یابد.

پارامترها

h_t^{tr} میانگین تأخیر پردازش داده‌ها در زمان t

H_t حداکثر تأخیر مجاز در زمان t

$$\delta_t = \sum_t (h_t^{tr} \times f_t^{tr}) \quad \forall t \quad (22)$$

$$\delta_t \leq H_t \quad \forall t \quad (23)$$

محدودیت ۲۳ تضمین می‌کند، تأخیر حاصل از پردازش داده‌ها نباید از حداکثر میزان مجاز تأخیر در زنجیره تأمین مجازی بیشتر باشد.

۴- روش‌شناسی پژوهش

۴-۱- نسخه دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)

الگوریتم NSGA-II ارائه‌شده دب و همکاران، الگوریتمی شناخته‌شده برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از یک رویکرد نامغلوب است (آصفی و همکاران، ۲۰۱۴). این الگوریتم در تلاش برای رفع نواقص نسخه اولیه این الگوریتم معرفی شد که در آن نه تنها کیفیت راه‌حل‌ها، تطبیق‌پذیری راه‌حل‌های بهینه پارتو نیز درخور توجه قرار گرفت (میرقادری و مدیری^{۵۱}، ۲۰۲۱). ابتدا با تولید برخی از جمعیت‌های تصادفی مقدماتی آغاز می‌شود سپس جبهه‌های پارتو درحین جست‌وجو شکل می‌گیرد، اصلاح راه‌حل‌ها انجام می‌شود و راه‌حل‌ها به تدریج بهتر می‌شود. در هر نسل، تشکیل جبهه‌های متوالی پارتو از راه‌حل‌های همسو در جمعیت تولیدشده ادامه می‌یابد تا جایی که هیچ راه‌حل باقی‌مانده‌ای وجود نداشته باشد و هر جبهه در جمعیت، کاملاً به یک مجموعه نامغلوب تبدیل شود. پس از مرتب‌سازی جواب‌ها بر اساس غلبه، به‌منظور ایجاد نظم در مجموعه جواب‌های بهینه، باید آنها را براساس فاصله ازدحامی مرتب کرد. فاصله ازدحامی نشان می‌دهد یک عضو جبهه به اعضای دیگر در همسایگی خود چقدر نزدیک است (آصفی و همکاران، ۲۰۱۴). مزیت روش NSGA-II در استفاده از فاصله ازدحام برای حفظ تنوع پاسخ‌های واقع بر جبهه پارتوست. هرچه این فاصله بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده گستردگی بیشتر فضای جواب است (جتیان و همکاران، ۱۳۹۸).

۴-۲- الگوریتم فراابتکاری نسخه دوم مبتنی بر قوت پارتو (SPEA-II)

نسخه دوم الگوریتم SPEA-II، از یک آرشیو خارجی برای ذخیره پاسخ‌های نامغلوبی استفاده می‌کند که در طی جست‌وجوی الگوریتم یافت می‌شود. الگوریتم SPEA-II نیز همانند الگوریتم NSGA-II از عملگرهای جهش و ترکیب برای جست‌وجو در بین پاسخ‌ها استفاده می‌کند. در الگوریتم SPEA-II از معیار برازندگی برای مقایسه بین پاسخ‌های نامغلوب استفاده می‌شود. در این الگوریتم مقدار قوت پاسخ i که به صورت $s(i)$ نشان داده می‌شود برابر با تعداد پاسخ‌هایی است که با پاسخ i مغلوب می‌شود، سپس برای هر پاسخ مقدار برازندگی خام تعیین می‌شود (زیتلر و همکاران، ۲۰۰۱).

اینکه پاسخی برازندگی خام صفر داشته باشد، معادل این است که در الگوریتم NSGA-II رتبه اول را داشته باشد. در ضمن به جای معیار فاصله ازدحامی در الگوریتم NSGA-II، از معیار فاصله هر پاسخ نسبت به پاسخ‌های کناری استفاده می‌شود.

۵- مثال عددی و یافته‌های پژوهش

در این بخش، یک مثال عددی برای نشان‌دادن عملکرد مدل خطی ارائه‌شده و اثبات اعتبار و کاربرد آن ارائه شده است. به دلیل کمبود داده در این مدل‌ها، مدل بر اساس دانش متخصصان و داده‌های موجود در مقالات با ارائه یک مثال عددی حل شده است. نظر به اینکه مسائل بهینه‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته از دسته مسائل Hard-NP است (میرقادی و مدیری، ۲۰۲۱؛ امین‌پور و همکاران، ۱۳۹۹؛ صاحب‌جام‌نیا^{۵۲} و همکاران، ۲۰۱۸؛ سلیمانی^{۵۳} و همکاران، ۲۰۱۳؛ فنگ و همکاران، ۲۰۱۵) و به دلیل پیچیده‌بودن مدل، زمان محاسباتی روش‌های حل دقیق به شدت بالاست و در اغلب موارد، ناتوان در حل این نوع مسائل است. از فاکتورهایی که باعث پیچیدگی مدل می‌شود، تعداد زیاد محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم و همچنین صفر و یک بودن بعضی از متغیرهاست. همچنین در مسائل بهینه‌سازی تک هدفه، با بهینه‌کردن تابع هدف، الگوریتم به پایان می‌رسد؛ اما در مسائل چندهدفه، بهینه‌سازی هم‌زمان چند تابع هدف کار سخت و زمان‌بری است و چند هدفه بودن مدل و تضاد بین جنس اهداف، بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید. به این منظور، یکی از پرکاربردترین ابزارهای حل این مدل‌ها، یعنی الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه NSGA-II و SPEA-II برای حل مدل ارائه شده در این پژوهش استفاده شده است. فرض می‌شود تولیدکننده پنج محصول را که هریک، از قطعات متفاوت تشکیل می‌شود برای ۱۲ دوره زمانی تولید می‌کند. تقاضا برای محصولات مطابق جدول ۲ است. تولیدکننده علاقه‌مند است بداند چه میزان از محصولات و قطعات در هر سطح از شبکه زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته در هر دوره وجود دارد.

جدول ۲- تقاضای محصولات در دوره‌های زمانی بررسی شده

Table 2 - Product demand in the time periods examined

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
P ₁	۸۳	۱۲۱	۱۸۱	۳۱۵	۳۴۰	۳۷۳	۳۶۶	۴۰۱	۳۷۴	۴۱۴	۳۲۹	۱۲۹
P ₂	۳۸	۹۳	۱۶۷	۳۴۵	۳۶۹	۴۰۷	۳۷۳	۳۹۵	۳۹۵	۴۱۳	۲۸۰	۳۶۱
P ₃	۶۸	۱۵۱	۳۰۴	۲۹۹	۴۰۹	۳۸۷	۴۰۲	۳۸۶	۳۸۳	۴۰۴	۳۸۴	۶۷
P ₄	۹۵	۹۲	۳۰۷	۲۵۴	۳۲۲	۴۰۰	۳۶۶	۳۹۱	۳۷۶	۳۹۴	۲۹۷	۱۲۷
P ₅	۸۶	۱۹۹	۲۷۸	۲۱۴	۳۶۴	۳۹۳	۳۷۳	۴۰۵	۴۱۴	۳۹۰	۳۰۰	۱۹۷

لیست تعداد قطعات مورد نیاز هر محصول در جدول ۳ نمایش داده شده است. میزان برگشت محصولات، هزینه خسارت ایجادشده در صورت حمله و درصد محصولات بازیافت‌شدنی مطابق جدول ۴ است.

جدول ۳- لیست قطعات مورد نیاز هر محصول (q_{rp})

Table 3 - List of parts required for each product

محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۴	محصول ۵
قطعه ۱	۲	۳	۲	۰
قطعه ۲	۱	۲	۰	۱
قطعه ۳	۳	۰	۱	۰
قطعه ۴	۰	۴	۳	۳
قطعه ۵	۱	۵	۰	۱

جدول ۴- پارامترهای وابسته به دوره

Table 4 - Times dependent parameters

دوره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
r_t	۰	۰	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹	۰/۸۵	۰/۸	۰/۷۵	۰/۷	۰/۶
Csh_t	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰
DX_t	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰

جدول ۵، قیمت فروش محصولات مختلف را در دوره‌های مختلف نمایش می‌دهد و در جدول ۶، هزینه فراخوانی محصولات در بخش تولید، درصد انهدام محصولات و درصد تولید محصول معیوب نشان داده شده است.

جدول ۵- قیمت فروش محصولات

Table 5 - Sales price of products

دوره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
P_1	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۱۵۰	۱۱۵۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۸۰۰	۷۰۰
P_2	۱۴۴۰	۱۴۴۰	۱۳۸۰	۱۳۸۰	۱۳۲۰	۱۳۲۰	۱۳۲۰	۱۲۶۰	۱۲۶۰	۱۲۶۰	۹۶۰	۹۶۰
P_3	۱۸۰۰	۱۸۰۰	۱۷۲۰	۱۷۲۰	۱۶۵۰	۱۶۵۰	۱۶۵۰	۱۵۷۰	۱۵۷۰	۱۵۷۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰
P_4	۱۳۸۰	۱۳۸۰	۱۳۲۰	۱۳۲۰	۱۲۶۰	۱۲۶۰	۱۲۶۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۹۲۰	۸۰۰
P_5	۱۹۲۰	۱۹۲۰	۱۸۴۰	۱۸۴۰	۱۷۶۰	۱۷۶۰	۱۷۶۰	۱۶۸۰	۱۶۸۰	۱۶۸۰	۱۲۸۰	۱۱۲۰

جدول ۶- پارامترهای وابسته به محصولات مختلف

Table 6 - Parameters related to different products

محصول	۱	۲	۳	۴	۵
C_{rempt}	۶	۵	۶/۵	۶/۵	۵
DBZ_{pt}	٪۱۰	٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۲۰
μ_{pt}	٪۱	٪۲	٪۱/۵	٪۱/۷۵	٪۱/۲

۵-۱- یافته‌ها

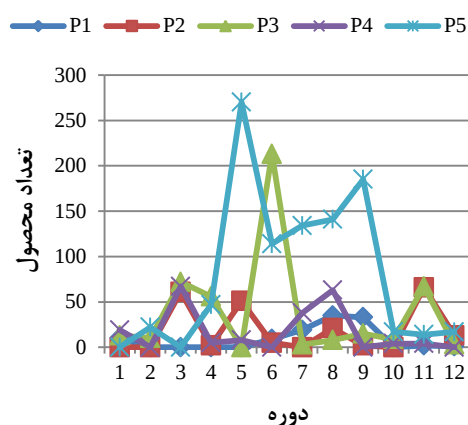
برای بررسی امکان پذیر بودن مدل، ابتدا مدل در اندازه کوچک و در نرم‌افزار گمز، با حل‌کننده بارون حل شد. با بزرگ‌تر شدن ابعاد مدل در سه حالت بررسی شده، زمان حل با استفاده از نرم‌افزار گمز افزایش یافت. نتایج محاسبات در جدول ۷ نمایش داده شده است.

جدول ۷- نتایج محاسباتی حل مدل با نرم‌افزار گمز

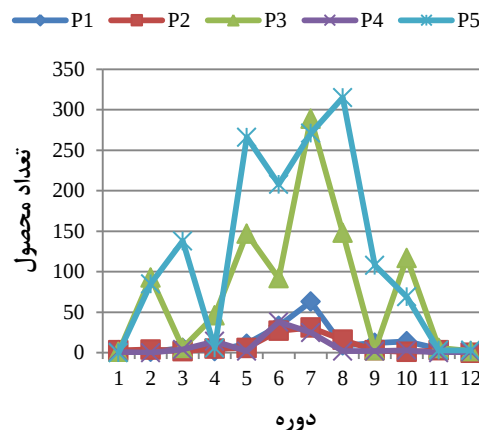
Table 7 - Computational results of model solving with Gams software

شماره مسئله	سود کل (ریال)	سرعت پردازش (ثانیه)	زمان حل
۱	$1/89 \times 10^6$	۵۹/۶	۹۶
۲	$4/95 \times 10^6$	۱۲۰/۵	۱۵۲
۳	$8/70 \times 10^6$	۲۹۹	۲۳۱

در ادامه مدل ارائه شده در ابعاد اصلی با استفاده از الگوریتم‌های NSGA-II و SPEA-II بر کامپیوتر شخصی با پردازنده intel CORE i7 7/2 گیگاهرتز با حافظه ۱۲ گیگ در نرم‌افزار متلب، کدنویسی و اجرا شد. همچنین با توجه به نیاز به ارزیابی روش پیشنهادی، نتایج دو الگوریتم مقایسه شدند. مقادیر محصولات تولیدشده در مرکز تولید برای ۱۲ دوره زمانی بررسی شده مطابق شکل‌های ۲ و ۳ است.



شکل ۳- نمودار میزان هر محصول تولیدشده NSGA-II
Fig. 3 - Graph of the amount of each product produced NSGA-II



شکل ۲- نمودار میزان هر محصول تولیدشده SPEA-II
Fig. 2 - Graph of the amount of each product produced SPEA-II

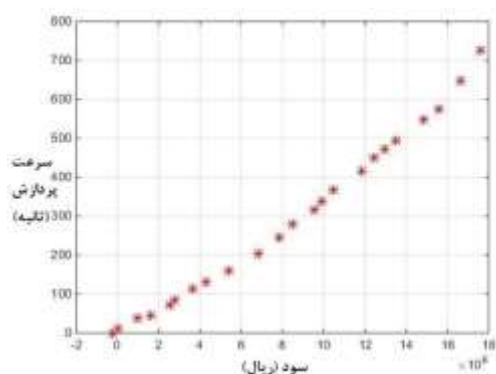
نتایج دو الگوریتم تقریباً یکسان و روند تولید منطبق با تقاضاست. هر دو الگوریتم تولید محصولات ۳ و ۵ بیشتر از دیگر محصولات تعیین شده است که این موضوع به دلیل قیمت بالای این دو محصول نسبت به دیگر محصولات است؛ همچنین محصول ۱ به دلیل قیمت کمتر نسبت به دیگر محصولات تولید، کمتر پیشنهاد شده است. میزان سود کل زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته، هزینه‌های انرژی و امنیت و میزان تأخیر پردازش اطلاعات حاصل از هر دو الگوریتم، در جدول ۸ بیان شده است.

جدول ۸- نتایج حل مدل

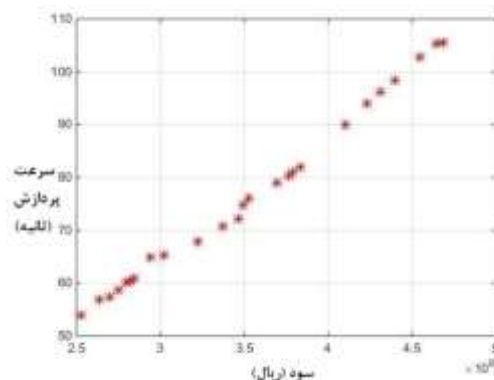
Table 8 - Model solution results

سود کل (ریال)	سرعت پردازش (ثانیه)	انرژی (ریال)	امنیت (ریال)	هزینه‌های مجازی (ریال)
NSGA-II	۳۳۷/۴۸	۷۱۷	۶۹۵۸۷	۱۵۰۳۵۵
SPEA-II	۹۴/۰۷	۶۶۹	۶۷۳۳۴	۱۵۰۴۵۴

نمودار پارتو الگوریتم‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. فاصله بین دو جواب پارتوی متوالی در NSGA-II کمتر است. با توجه به شکل ۵، NSGA-II قادر به یافتن تعداد جواب‌های پارتوی بیشتری است و دامنه مرز پارتوی تشکیل شده توسط این الگوریتم بیشتر و نظم و کیفیت این الگوریتم بهتر است.



شکل ۵- نمودار پارتو NSGA-II
Fig. 5 - Pareto diagram NSGA-II



شکل ۴- نمودار پارتو SPEA-II
Fig. 4 - Pareto diagram SPEA-II

۶- بحث

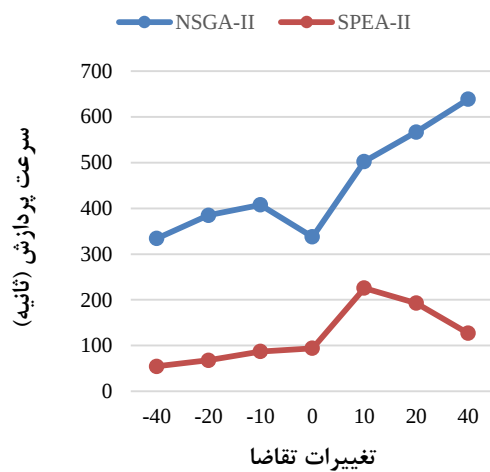
نتایج نمودار پارتو نشان می‌دهد دو تابع سود و سرعت پردازش، ارتباط مستقیم با یکدیگر دارند و با افزایش سود، زمان تأخیر پردازش افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش، وابستگی هر دو تابع هدف به میزان تولید محصولات و همچنین صرفه‌جویی ناشی از بازیافت مواد اولیه است. به این ترتیب با افزایش فروش محصولات، سود زنجیره تأمین مجازی نیز افزایش می‌یابد و از طرفی به دلیل افزایش تولید محصولات، زمان پردازش داده‌ها در سیستم IoT نیز افزایش می‌یابد که این به معنی افزایش تأخیر در پردازش اطلاعات است. الگوریتم SPEA-II عملکرد بهتری نسبت به عملکرد الگوریتم NSGA-II دارد و سود بیشتری برای زنجیره تأمین مجازی ایجاد می‌کند که این به دلیل میزان تولید بیشتر محصولات است. همچنین الگوریتم NSGA-II میزان تأخیر پردازش اطلاعات بیشتری را نشان می‌دهد که به دلیل وابستگی سرعت پردازش به میزان تولید است. با افزایش میزان تولید، زمان پردازش اطلاعات نیز افزایش می‌یابد. در دیگر مقالات توضیح و تشریح زنجیره‌های تأمین مجازی (ماتسودا و همکاران، ۲۰۱۹؛ دا کروز کاریا و همکاران، ۲۰۱۶ و گوناسکران و نگایی، ۲۰۰۷) بیان شده است. در حالی که در این پژوهش، علاوه بر کاربردی کردن زنجیره تأمین مجازی با به‌کارگیری IoT، مدل‌سازی و بهینه‌سازی زنجیره در چند دوره بررسی شده است. با توجه به پیشرفت تکنولوژی در دنیای رقابتی امروز و همچنین لزوم واکنش سریع به تغییرات تقاضا و بازار و برای باقی ماندن در فضای رقابتی، به مدیران صنایع مختلف پیشنهاد می‌شود فعالیت تولیدی خود را به سمت مجازی‌سازی و بهره‌مندی از مزایای آن سوق دهند و از این مدل در نمونه‌های دنیای واقعی استفاده کنند. درواقع استفاده از تجهیزات اینترنت اشیا در زنجیره تأمین و به اشتراک گذاری اطلاعات برای همه اعضا، کارایی عملکرد سازمان‌ها را افزایش می‌دهد.

در ادامه، رفتار مدل ریاضی در تعیین پاسخ بهینه درباره تغییرات پارامترهای مسئله بررسی می‌شود.

۶-۱- تحلیل حساسیت

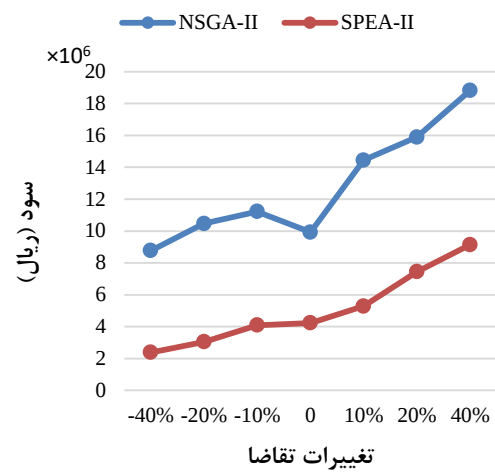
با توجه به تغییرات مداوم در قیمت محصولات و تقاضای مشتریان و به منظور تعیین اثر تغییرات این پارامترها در مدل ریاضی ارائه شده و بررسی اعتبار خارجی مدل، تجزیه و تحلیل حساسیت در این بخش انجام می‌شود. هدف اصلی، ارزیابی آثار تغییرات پارامترهای قیمت محصولات و تقاضای مشتریان بر دو تابع سود کل زنجیره تأمین

مجازی و سرعت پردازش اطلاعات است. به این منظور، افزایش و کاهش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصدی قیمت و تقاضا بررسی شده است.



شکل ۷- نمودار اثر تغییرات تقاضا بر سرعت پردازش اطلاعات زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته

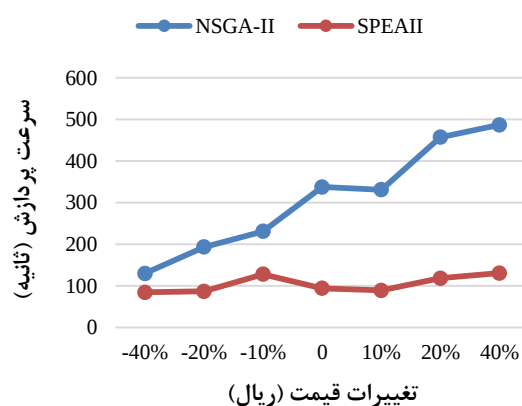
Fig. 7 - Graph of the effect of demand changes on the processing speed of closed-loop virtual supply chain information



شکل ۶- نمودار اثر تغییرات تقاضا بر سود زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته

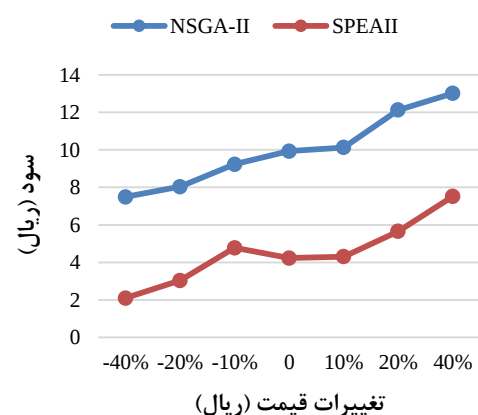
Fig. 6 - Graph of the effect of demand changes on profit of closed-loop virtual supply chain

مطابق شکل ۶ در هر دو الگوریتم با افزایش میزان تقاضا، سود زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته افزایش می‌یابد. درواقع تقاضای بیشتر به تولید بیشتر محصولات و افزایش تولید به افزایش سود کل زنجیره تأمین مجازی منجر می‌شود. همچنین زمان پردازش اطلاعات نیز با افزایش میزان تولید افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده سرعت کمتر پردازش اطلاعات است.



شکل ۹- نمودار اثر تغییرات قیمت محصولات بر سرعت پردازش اطلاعات

Fig. 9 - Graph of the effect of product price changes on information processing speed



شکل ۸- نمودار اثر تغییرات قیمت محصولات بر سود

Fig. 8 - Graph of the effect of product price changes on profit

تغییرات قیمت محصولات نیز اثر مستقیم بر سود زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته دارد و با افزایش قیمت فروش محصولات، میزان تولید محصولات و سود زنجیره افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تولید، سرعت پردازش اطلاعات نیز بزرگ‌تر می‌شود و این به معنی افزایش زمان تأخیر در زنجیره تأمین مجازی، به علت ثبت داده‌ها در سیستم IoT است. در تمامی حالات، الگوریتم NSGA-II سود بیشتری را شناسایی می‌کند که تأییدکننده عملکرد بهتر این الگوریتم است.

۷- نتیجه‌گیری

جهانی‌شدن رو به رشد بازار، افزایش رقابت جهانی و ویژگی‌های محصولات پیچیده، همگی به کاربرد فناوری‌ها، روش‌ها و فلسفه‌های جدید تولید منجر می‌شود. با توجه به تغییرات تکنولوژی و پیشرفت دنیای مجازی و گسترش کاربرد اینترنت، توجه به زنجیره تأمین مجازی بسیار ضرورت دارد. هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک مدل مؤثر از سیستم زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته، مبتنی بر خدمات IoT چندمحصولی برای چند دوره است و بهینه‌سازی عملکرد پردازش زنجیره تأمین مجازی حلقه بسته ارائه شده است. به این منظور دو تابع سود و سرعت پردازش، با توجه به هزینه‌های مجازی‌سازی در نظر گرفته شده است. یک مثال عددی برای اثبات کاربرد و اعتبار مدل ارائه شده و با استفاده از الگوریتم‌های NSGA-II و SPEA-II بررسی و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد مدل پیشنهادی، استراتژی‌های مؤثری برای دستیابی به برنامه‌ریزی تولید، بازتولید و توزیع محصول و بازیافت قطعات ارائه می‌دهد و همچنین در این مدل، با شناسایی محصولات بازیافت‌شدنی به کمک IoT، به کاهش هزینه‌های خرید مواد اولیه و قطعات، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و افزایش سود زنجیره تأمین مجازی منجر می‌شود. دو تابع سود و سرعت پردازش با میزان تولید رابطه مستقیم دارند و با افزایش میزان تولید هر دو افزایش می‌یابند. درواقع با افزایش تولید، زمان تأخیر افزایش می‌یابد که این به معنی کاهش سرعت پردازش است. به‌کارگیری فناوری‌های اطلاعات پیشرفته IoT در صنعت تولید در دنیای واقعی، داده‌های محصولات مختلف و زمان پایان عمر محصولات را در دسترس مدیران صنایع قرار می‌دهد. مجازی‌سازی زنجیره‌های تأمین با استفاده از IoT نه تنها برای مدیریت بهتر اطلاعات تولید، برای دیگر جنبه‌های سیستم تولید مانند بهبود کارایی نیز بسیار اهمیت دارد.

در زنجیره تأمین مجازی، در صورت استفاده کارآمد از اشتراک اطلاعات، تولیدکنندگان هزینه‌های زنجیره تأمین را کاهش می‌دهند. اشتراک یکپارچه داده‌ها به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد تا استراتژی‌های مناسبی را به کار گیرند و به این ترتیب، سودآوری زنجیره تأمین مجازی افزایش یابد. استفاده از اینترنت اشیا به ارتباطات و ردیابی مواد و محصولات با دقت بالا و بدون مشکل، از جمله خطای انسانی، کمبود نیروی کار، بودجه محدود، آب‌وهوای نامساعد و دیگر عوامل محیطی کمک می‌کند. سازمان‌ها، حجم زیادی از داده‌ها را در سیستم اطلاعاتی خود جمع‌آوری می‌کنند، داده‌های خام بدون تجزیه و تحلیل مناسب معنی چندانی نخواهد داشت. به‌روزرسانی و تجزیه و تحلیل صحیح داده‌ها در زمان واقعی، به مدیران کمک می‌کند تا عملیات را در یک زنجیره تأمین مجازی ردیابی و کنترل کنند و به آنها کمک می‌کند کنترل بهتری بر کل زنجیره تأمین داشته باشند. به دیگر پژوهشگران پیشنهاد می‌شود بهینه‌سازی را با در نظر گرفتن دیگر ابعاد مجازی‌سازی انجام دهند و نبود قطعیت را در پژوهش

خود در نظر بگیرند. همچنین بررسی دیگر تکنولوژی‌های فناوری اطلاعات، برای مجازی‌سازی زنجیره تأمین به دیگر محققان پیشنهاد می‌شود.

محدودیت این پژوهش، تأیید روش و مدل ارائه‌شده با استفاده از داده‌های فرضی (مثال عددی) به جای داده‌های موردی واقعی است. با این حال، این امر بر ارزش نظری و عملی این پژوهش اثر نمی‌گذارد. علاوه بر این، در فرآیند تحقق زنجیره تأمین مجازی، مجازی‌سازی همچنان با چالش‌های زیادی مانند آماده‌سازی زیرساخت‌های فناوری اطلاعات شرکت‌ها مواجه است. علاوه بر چالش‌های اجرایی فنی، پیاده‌سازی سازمانی موضوعی مهم است. مجازی‌سازی اثر زیادی بر سازمان زنجیره تأمین دارد و انتظار می‌رود که به مدل‌های کسب‌وکار جدید مانند سازمان‌دهندگان مجازی تخصصی و تجارت محلی به جهانی توسط شرکت‌های کوچک و متوسط، بدون معامله‌گران به عنوان واسطه‌های آفلاین منجر شود.

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, 614-628.
- Aminpour, S., Irajpour, A., Yazdani, M., & Mohtashami, A. (2020). The Design of a Multi-directional Network Chain Model Offering a Closed Loop in the Automotive Industry by Providing Energy and Time Efficiency Programs. *Industrial Management Journal*, 12(2), 319-343. (in Persian)
- Asefi, H., Jolai, F., Rabiee, M., & Araghi, M. T. (2014). A hybrid NSGA-II and VNS for solving a bi-objective no-wait flexible flowshop scheduling problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75(5-8), 1017-1033 .
- Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2017). Internet of things and supply chain management: a literature review. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 4719-4742.
- Bhuniya, S., Pareek, S. and Sarkar, B. (2021), A supply chain model with service level constraints and strategies under uncertainty, *Alexandria Engineering Journal*, 60(6), 6035-6052.
- Bruno, G., (2020). A Virtual Supply Chain Architecture to Grant Product Transparency in Agribusiness, in: *Supply Chain and Logistics Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. IGI Global, 89-107.
- Da Cruz Caria, P., Hermans, M., Degen, D., Janssen, S., & Sweerts, L. (2016). *Virtual Supply Chain Management at Cisco: advantages and future developments*.
- Ding, X., & Wu, J. (2019). Study on Energy Consumption Optimization Scheduling for Internet of Things. *IEEE Access*, 7, 70574-70583. doi:10.1109/access.2019.2919769
- Dutta, P., Choi, T.-M., Somani, S. and Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 1-33.
- Dweekat, A. J., & Park, J. (2016). *Internet of Things-enabled supply chain performance measurement model*. Paper presented at the 2016 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA).
- Fang, C., Liu, X., Pardalos, P. M., & Pei, J. (2015). Optimization for a three-stage production system in the Internet of Things: procurement, production and product recovery, and acquisition. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(5-8), 689-710.
- Gunasekaran, A., & Ngai, E. W. T. (2007). Virtual supply-chain management. *Production Planning & Control*, 15(6), 584-595.
- Hashemi, S., & sotoudeh, s. (2020). Provide a framework for enhancing the security of IoT-based smart homes using the IoT-A reference architecture. *Journal of Information and Communication Technology*, 35(10), 27-42. (in Persian)

- He, L., Xue, M., & Gu, B. (2020). Internet-of-things enabled supply chain planning and coordination with big data services: Certain theoretic implications. *Journal of Management Science and Engineering*, 5(1), 1-22.
- Helo, P., Shamsuzzoha, A., & Sandhu, M. (2016). *Cloud-based Virtual Supply Chain*. Paper presented at the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Detroit, USA.
- Huang, X. (2020). Quality of service optimization in wireless transmission of industrial Internet of Things for intelligent manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(3), 1007-1016. doi:10.1007/s00170-019-04288-8
- Janatyan, N., Zandieh, M., Alem Tabriz, A., & Rabieh, M. (2019). Optimizing Sustainable Pharmaceutical Distribution Network Model with Evolutionary Multi-objective Algorithms (Case Study: Darupakhsh Company). *Journal of Production and Operations Management*, 10(1), 133-153. (in Persian)
- Jennifer, S. R. (2020). A Novel Information Processing in IoT Based Real Time Health Care Monitoring System. *Journal of Electronics and Informatics*, 2(3), 188-196.
- Jing, Q., Vasilakos, A. V., Wan, J., Lu, J., & Qiu, D. (2014). Security of the Internet of Things: perspectives and challenges. *Wireless Networks*, 20(8), 2481-2501.
- Kulińska, E., & Kulińska, K. (2019). General data protection regulation and virtual supply chains. *Studia Ekonomiczne*, 383, 31-40 .
- Li, Q., Dou, R., Chen, F., & Nan, G. (2014). QoS-oriented Web service composition approach based on multi-population genetic algorithm for Internet of things. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 7(sup2), 26-34.
- Liu, X., & Sun, Y. (2011). Information Flow Management of Vendor-Managed Inventory System in Automobile Parts Inbound Logistics Based on Internet of Things. *JSW*, 6(7), 1374-1380 .
- Lokshina, I. V., Greguš, M., & Thomas, W. L. (2019). Application of Integrated Building Information Modeling, IoT and Blockchain Technologies in System Design of a Smart Building. *Procedia Computer Science*, 160, 497-502 .
- Lotfi, Z., Mukhtar, M., Sahran, S., & Taei Zadeh, A. (2013). *Information sharing in supply chain management*. Paper presented at the The 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics.
- Long, Q., (2014). An agent-based distributed computational experiment framework for virtual supply chain network development. *Expert Syst. Appl.* 41, 4094–4112.
- Ma, Z., Xiao, M., Xiao, Y., Pang, Z., Poor, H. V., & Vucetic, B. (2019). High-Reliability and Low-Latency Wireless Communication for Internet of Things: Challenges, Fundamentals, and Enabling Technologies. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 7946-7970.
- Manthou, V., Vlachopoulou, M., Folinas, D., (2004). Virtual e-Chain (VeC) model for supply chain collaboration. *Int. J. Prod. Econ.* 87, 241–250.
- Matsuda, M., Nishi, T., Hasegawa, M., & Matsumoto, S. (2019). Virtualization of a supply chain from the manufacturing enterprise view using e-catalogues. *Procedia CIRP*, 81, 932-937.
- Matsuda, M., Nishi, T., Hasegawa, M., & Terunuma, T. (2020). Construction of a virtual supply chain using enterprise e-catalogues. *Procedia CIRP*, 93, 688-693.
- Ming, Z., & Yan, M. (2012). *A modeling and computational method for QoS in IOT*. Paper presented at the 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering.
- Mirghaderi, S. D., & Modiri, M. (2021). Application of meta-heuristic algorithm for multi-objective optimization of sustainable supply chain uncertainty. *Sādhana*, 46(1), 1-23 .
- Marinagi, C., Trivellas, P., & Reklitis, P. (2015). Information Quality and Supply Chain Performance: The Mediating Role of Information Sharing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 175, 473-479.
- Nishi ,T. ,Matsuda ,M. ,Hasegawa ,M. ,Alizadeh ,R. ,Liu ,Z. و ، Terunuma ,T. (2020). Automatic Construction of Virtual Supply Chain as Multi-Agent System Using Enterprise E-Catalogues. *International Journal of Automation Technology* ,14(5) ,713-722.

- Park, K. C., & Shin, D.-H. (2016). Security assessment framework for IoT service. *Telecommunication Systems*, 64(1), 193-209.
- Pourhamidi, M., & Mohajerani, P. (2007). *A comprehensive review of the integrated virtual supply chain model with an analysis of several case studies*. Paper presented at the First International Conference on Supply Chain Management and Information Systems, Tehran. (in Persian)
- Prasanth, A., & Jayachitra, S. (2020). A novel multi-objective optimization strategy for enhancing quality of service in IoT-enabled WSN applications. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 1-16 .
- Rezaee, L., & Babazadeh, R. (2020). Investigating the relationships between the influencing indicators of blockchain in the food industry. *Journal of Production and Operations Management*, 11(3), 95-116. (in Persian)
- Sahebjamnia, N., Fathollahi-Fard, A. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2018). Sustainable tire closed-loop supply chain network design: Hybrid metaheuristic algorithms for large-scale networks. *Journal of Cleaner Production*, 196, 273-296.
- Samdantsoodol, A., Cang, S., Yu, H., Eardley, A., & Buyantsogt, A. (2017). Predicting the relationships between virtual enterprises and agility in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 84, 58-73.
- sarsht, R. H., & Fsar, A. (2009). The Impact of Information Sharing on Competitive Strategies and the Performance of Supply Chain. *Journal of Information Technology Management*, 1(1), 37-48. (in Persian)
- Scott, A. H. S., & Mula, J. M. (2009). *Contextual Factors Associated with Information Systems in a Virtual Supply Chain*. Paper presented at the 2009 Fourth International Conference on Cooperation and Promotion of Information Resources in Science and Technology.
- Shafiei Nikabadi ,M., Mirshahi, N., & Ataei, N. (2015). *The effect of information security management on the integration of organizational processes in the supply chain of small and medium enterprises*. Paper presented at the The Second National Conference on Applied Research in Management and Accounting, Tehran. (in Persian)
- Shamsuzzoha, A., & Helo, P. (2017). Virtual supply chain for networked business: perspective of collaborative bill-of-materials, scheduling and process monitoring for developing innovative product. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(6), 595-610.
- Shaoshuai, F., Wenxiao, S., Nan, W., & Yan, L. (2011). MODM-Based Evaluation Model of Service Quality in the Internet of Things. *Procedia Environmental Sciences*, 11, 63-69.
- Smith, K. J., & Dhillon, G. (2019). Supply Chain Virtualization: Facilitating Agent Trust Utilizing Blockchain Technology. In *Revisiting Supply Chain Risk* (pp. 299-311).
- Soleimani ,H. ,Seyyed-Esfahani ,M.و , Shirazi ,M. A. (2013). Designing and planning a multi-echelon multi-period multi-product closed-loop supply chain utilizing genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* ,68(1-4) ,917-931.
- Taghva, M. R., Jafarian, A., & Shafiei Nikabadi, M. (2012). The Role of Information Security Management Systems in Supply Chain Performance Improvement. *IranDoc*, 27(1), 463-482 .(in Persian)
- Venckauskas, A., Stuikys, V., Damasevicius, R., & Jusas, N. (2016). Modelling of Internet of Things units for estimating security-energy-performance relationships for quality of service and environment awareness. *Security and Communication Networks*, 9(16), 3324-3339.
- Verdouw, C. N., Beulens, A. J. M., & van der Vorst, J. G. A. J. (2013). Virtualisation of floricultural supply chains: A review from an Internet of Things perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99, 160-175.
- Verdouw, C. N., Wolfert, J., Beulens, A. J. M., & Rialland, A. (2016). Virtualization of food supply chains with the internet of things. *Journal of Food Engineering*, 176, 128-136.
- Wang, P. (2009). QoS-aware web services selection with intuitionistic fuzzy set under consumer's vague perception. *Expert Systems with Applications*, 36(3, Part 1), 4460-4466.
- Wang ,W. Y. C.و , Chan ,H. K. (2010). Virtual organization for supply chain integration: Two cases

- in the textile and fashion retailing industry. *International Journal of Production Economics* , 127(2) ,333-342.
- Xin, J., Cui, Z., Zhang, S., He, T., Li, C., & Huang, H. (2014). Constructing Topic Models of Internet of Things for Information Processing. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-11.
- Yadav, J., & Misra, M. (2019). *An overview of food supply chain virtualization and granular traceability using blockchain technology*.
- Yan, R. (2017). Optimization approach for increasing revenue of perishable product supply chain with the Internet of Things. *Industrial Management & Data Systems*, 117(4), 729-741.
- Zitzler, E., Laumanns, M., & Thiele, L. (2001). SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm. *TIK-report*, 103 .

¹ Supply Chain (SC)

² Smith & Dhillon

³ Dutta

⁴ Bhuniya

⁵ Samdantsoodol

⁶ Liu & Sun

⁷ Kulińska

⁸ Internet of Things (IoT)

⁹ Prasanth & Jayachitra

¹⁰ Dweekat & Park

¹¹ Park & Shin

¹² Ding & Wu

¹³ Ma

¹⁴ Nishi

¹⁵ Wang

¹⁶ Matsuda

¹⁷ He

¹⁸ Smart connected products

¹⁹ Jennifer

²⁰ Yadav & Misra

²¹ Matsuda

²² Yan

²³ Venckauskas

²⁴ Verdouw

²⁵ Fang

²⁶ Li

²⁷ Long

²⁸ Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA-II)

²⁹ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)

³⁰ Manthou

³¹ Long

³² Bruno

³³ Scott & Mula

³⁴ Shamsuzzoha & Helo

³⁵ Helo, Shamsuzzoha, & Sandhu

³⁶ Kulińska

³⁷ Lotfi

³⁸ da Cruz Caria

³⁹ Gunasekaran & Ngai

⁴⁰ Ben-Daya, Hassini, & Bahrour

⁴¹ Abdel-Basset, Manogaran, & Mohamed

⁴² He, Xue, & Gu

⁴³ Radio Frequency Identification (RFID)

⁴⁴ Marinagi, Trivellas, & Reklitis

⁴⁵ Xin

⁴⁶ Shaoshuai

⁴⁷ Wang

⁴⁸ Ming & Yan

⁴⁹ Lokshinas

⁵⁰ Jing

⁵¹ Mirghaderi & Modiri

⁵² Sahebjamnia

⁵³ Soleimani