Ind. Manag. Persp. 2025, 15(2), 36-73; doi: 10.48308/JIMP.15.2.36

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Modeling Quality and Waste Management Using System Dynamics in the Internet of Things (IoT)

Aazam Modares*
Nasser Motahari Farimani**
Kimia Abdari***

Extended Abstract

Introduction: The impact of the Internet of Things (IoT) on product quality, due to the complexities of production processes and the multitude of influencing factors, requires thorough and comprehensive investigation. IoT technology enables organizations to monitor their processes with high precision and obtain real-time and accurate information on the status of equipment and products. This study was designed to examine the effects of IoT on reducing waste and improving equipment performance in various industries. In this regard, it identifies key variables influencing production processes and models their behavior.

Methods: To analyze the behavior of key variables, the system dynamics method was employed. This method makes it possible to simulate variable changes over time and examine the complex relationships among them. Since numerous variables affect product quality, mathematical modeling methods do not appear suitable. Therefore, using simulation and complex systems analysis methods—which can examine nonlinear relationships and interactions between variables—provides a more effective solution. After developing a causal loop diagram based on key variables influencing product quality, waste, and cost, a stock-and-flow diagram was drawn, and model validation was carried out using sensitivity and boundary condition tests. Following the analysis of results, improvement scenarios were presented and evaluated.

Received: Dec. 10, 2024; Revised: Mar. 07, 2025; Accepted: Apr. 17, 2025; Published Online: Jun. 01, 2025.

* Ph.D., Department of Industrial Management, Faculty of Economics & Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
** Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics & Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Corresponding Author: n.motahari@um.ac.ir
*** MSc Student, Department of Industrial Management, Faculty of Economics & Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Ind. Manag. Persp. 2025, 15(2), 36-73; doi: 10.48308/JIMP.15.2.36

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Results and discution: The validity of the simulated model in this study was confirmed through sensitivity and boundary condition tests. The findings indicate that product waste, after reaching a peak at about 20 months, gradually decreases. This gradual decline may result from improvements in production processes, learning and experience in waste management, or the implementation of preventive measures. The reduced risk of equipment failure and quality control costs also reflects improved system performance. Equipment failure risk is initially high but decreases rapidly. Quality control costs also approach zero by the end of the period. Demand and labor costs show exponential growth, indicating the need for effective planning and management to meet this demand. This increase also demonstrates the direct relationship between demand, workforce requirements, and their related costs. The rising costs may stem from hiring specialized labor and training personnel to gain necessary skills. The results also showed that installation and implementation costs rise exponentially, reaching their maximum at the end of the period. This may be due to the growing need for equipment and infrastructure related to technology usage. In addition, the adoption rate increases over time.

Conclusion: The importance of this research lies in emphasizing the role of modern technologies, especially the Internet of Things, in optimizing processes and reducing costs. The results of this study can help managers and decision-makers in industries make better technology investment decisions and improve system quality and efficiency. This research can also serve as a basis for further studies on IoT applications in various industries and contribute to the development of effective solutions for performance improvement and waste reduction.

Keywords: Internet of Things; System Dynamics; Quality; Cost Management; Technology Adoption.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

How to Cite: Modares, Aazam; Motahari Farimani, Nasser; Abdari, Kimia (2025). Modeling Quality and Waste Management Using System Dynamics in the Internet of Things (IoT). *Ind. Manag. Persp.*, 15(2), 36-73 *(In Persian)*.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۲، صص ۳۶– ۷۳، doi: 10.48308/JIMP.15.2.36

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

مدل‌سازی کیفیت و مدیریت ضایعات با استفاده از پویایی شناسی سیستم در اینترنت اشیا

اعظم مدرس*
ناصر مطهری فریمانی**
کیمیا آبداری***

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف: تأثیرگذاری اینترنت اشیا بر کیفیت محصول به دلیل پیچیدگی‌های فرآیندهای تولیدی و تعدد عوامل تأثیرگذار، نیازمند بررسی‌های دقیق و جامعی است. فناوری اینترنت اشیا به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا فرآیندهای مختلف خود را با دقت بالا پایش کنند و اطلاعات لحظه‌ای و دقیق از وضعیت تجهیزات و محصولات به‌دست آورند. این مطالعه با هدف بررسی تأثیرات اینترنت اشیا برکاهش ضایعات و بهبود عملکرد تجهیزات در صنایع مختلف طراحی شده است و در این راستا به شناسایی متغیرهای کلیدی تاثیرگذار بر فرآیندهای تولیدی و مدل‌سازی رفتار آن‌ها پرداخته است.

روش‌ها: برای تحلیل رفتار متغیرهای کلیدی، از روش پویایی‌شناسی سیستم استفاده شده است. روش پویایی‌شناسی سیستم این امکان را فراهم می‌کند تا تغییرات متغیرها را در طول زمان شبیه‌سازی کنیم و روابط پیچیده بین آن‌ها را بررسی کنیم. از آنجا که متغیرهای بسیار زیادی بر کیفیت محصول تأثیرگذارند، استفاده از روش‌های مدل‌سازی ریاضی مناسب به نظر نمی‌رسد و به همین دلیل، بهره‌گیری از روش‌های شبیه‌سازی و تحلیل سیستم‌های پیچیده که قادر به بررسی روابط غیرخطی و تعاملات بین متغیرها هستند، راهکار مؤثرتری خواهد بود. پس از تشکیل نمودار علی حلقوی مبتنی بر متغیرهای کلیدی تاثیرگذار بر کیفیت محصول، ضایعات و هزینه، نمودار انباشت و جریان رسم شد و اعتبارسنجی مدل نیز با آزمون حساسیت و شرایط حدی صورت گرفت. پس از تحلیل نتایج نیز سناریوهای بهبود ارائه و ارزیابی شدند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۸، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱.

* دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
** دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
نویسنده مسئول: n.motahari@um.ac.ir
*** دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۲، صص ۳۶– ۷۳، doi: 10.48308/JIMP.15.2.36

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

یافته‌ها : اعتبار مدل شبیه‌سازی‌شده در این تحقیق پس پیاده‌سازی آزمون حساسیت و آزمون شرایط حدی تایید شد. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهند که ضایعات محصولات پس از رسیدن به یک نقطه اوج در حدود ۲۰ ماه، به تدریج کاهش می‌یابند این روند تدریجی می‌تواند حاصل از بهبود فرآیندهای تولید، یادگیری و تجربه در مدیریت ضایعات، یا پیاده‌سازی تدابیر پیشگیرانه باشد. کاهش خطر خرابی تجهیزات و هزینه‌های کنترل کیفیت نیز بهبود عملکرد سیستم را نشان می‌دهد .خطر خرابی تجهیزات ابتدا بالا بوده اما به سرعت کاهش می‌یابد. هزینه‌های کنترل کیفیت نیز در انتهای دوره به صفر میل می‌کند. افزایش تقاضا و هزینه‌های نیروی انسانی نیز به‌صورت نمایی مشاهده می‌شود که بیانگر نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت مؤثر برای پاسخگویی به این تقاضا است. همچنین این افزایش نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین تقاضا و نیاز به نیروی انسانی و در نتیجه هزینه‌های مربوط به این دو می‌باشد. افزایش هزینه‌ها می‌تواند ناشی از هزینه‌های مربوط به جذب نیروی کار متخصص و هزینه‌های آموزش نیروی انسانی برای کسب مهارت‌های مورد نیاز باشد. نتایج نشان داد که هزینه‌های نصب و اجرا افزایش تصاعدی داشته و در پایان دوره به حداکثر مقدار خود می‌رسند. این امر می‌تواند به دلیل افزایش تجهیزات و زیرساخت‌های مرتبط با استفاده از فناوری باشد. همچنین نرخ پذیرش نیز با گذر زمان افزایش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری اهمیت این تحقیق در تأکید بر نقش فناوری‌های نوین، به ویژه اینترنت اشیا، در بهینه‌سازی فرآیندها و کاهش هزینه‌ها است. نتایج این مطالعه می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیرندگان صنایع کمک کند تا با درک بهتر تأثیرات اینترنت اشیا، سرمایه‌گذاری‌های بهتری در زمینه فناوری انجام دهند و به بهبود کیفیت و کارایی سیستم‌ها دست یابند. این تحقیق همچنین می‌تواند مبنای تحقیقاتی بیشتر در زمینه استفاده از اینترنت اشیا در صنایع مختلف باشد و به توسعه راهکارهای مؤثر برای بهبود عملکرد و کاهش ضایعات کمک کند.

کلیدواژه‌ها: اینترنت اشیا؛ پویایی‌شناسی سیستم؛ کیفیت؛ مدیریت هزینه؛ پذیرش فناوری.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناددهی: مدرس، اعظم؛ مطهری فریمانی، ناصر؛ آبداری، کیمیا (۱۴۰۴). مدل‌سازی کیفیت و مدیریت ضایعات با استفاده از پویایی شناسی سیستم در اینترنت اشیا. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۵(۲)، ۳۶-۷۳.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

تکنولوژی اینترنت اشیا در سال‌های اخیر به سرعت در صنایع مختلف گسترش یافته و با اتصال دستگاه‌ها و تجهیزات به شبکه‌های داده، امکان ارتباط و تبادل اطلاعات را در زمان واقعی فراهم کرده است [۱۳]. این فناوری به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا فرآیندهای مختلف خود را با دقت بالا پایش کنند و اطلاعات لحظه‌ای و دقیق از وضعیت تجهیزات و محصولات به‌دست آورند. این اطلاعات می‌تواند به بهبود عملکرد و کارایی فرآیندهای تولیدی کمک کند و نقش مهمی در کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری داشته باشد [۱۵، ۴۳]. از سوی دیگر، این داده‌ها امکان تحلیل و پیش‌بینی وضعیت آینده را فراهم می‌آورند که این ویژگی‌ها می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر کیفیت محصول، زمان تحویل، هزینه‌های تولید و بهره‌وری سازمان داشته باشد [۱۷]. کیفیت محصول به‌عنوان یکی از برجسته‌ترین متغیرهای کلیدی عملکرد در صنعت تولید، تأثیر مستقیمی بر رضایت مشتریان و در نتیجه رقابت‌پذیری بازار دارد. اینترنت اشیا با فراهم کردن داده‌های دقیق و آنی از فرآیندهای تولید، به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که همواره کیفیت محصولات را در سطحی مطلوب نگه‌دارند. برای مثال، سنسورها و دستگاه‌های متصل به اینترنت اشیا می‌توانند تغییرات در دما، فشار یا سایر شرایط محیطی تولید را به‌طور لحظه‌ای ثبت کرده و از بروز مشکلات پیش‌ساز مانند نقص در مواد اولیه یا تغییرات ناگهانی در عملکرد دستگاه‌ها جلوگیری کنند. این امکان پیش‌بینی و کنترل کیفیت در مراحل مختلف تولید، کاهش هزینه‌های ناشی از تولید محصولات معیوب و بهبود رضایت مشتریان را به‌دنبال خواهد داشت [۲۰].

به همین دلیل، بهبود کیفیت محصول همواره یکی از اهداف استراتژیک شرکت‌ها و سازمان‌ها بوده است. در این میان، اینترنت اشیا با ایجاد دسترسی به داده‌های دقیق و آنی، این پتانسیل را دارد که کیفیت محصول را به طور قابل توجهی ارتقاء دهد. این فناوری می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند که پیش از بروز نقص‌ها و مشکلات، آن‌ها را شناسایی و برطرف کنند و از تولید محصولات با کیفیت پایین جلوگیری نمایند [۱، ۵]. هزینه‌های تولید یکی دیگر از عواملی است که می‌تواند از طریق فناوری اینترنت اشیا به میزان چشمگیری کاهش یابد. با استفاده از این فناوری، امکان پایش دقیق و آنی موجودی‌ها، وضعیت مواد اولیه و عملکرد ماشین‌آلات وجود دارد. این داده‌ها به‌طور دقیق‌تری به سازمان‌ها این امکان را می‌دهند که نیازمندی‌های واقعی خود را پیش‌بینی کرده و بر اساس آن‌ها برنامه‌ریزی کنند. به این ترتیب، از خرید اضافی مواد اولیه جلوگیری می‌شود و همچنین فرآیندهای تولید به‌طور بهینه‌تر و با هزینه کمتر انجام می‌شود [۱۲].

اما تأثیرگذاری اینترنت اشیا بر کیفیت محصول به دلیل پیچیدگی‌های فرآیندهای تولیدی و تعدد عوامل تأثیرگذار، نیازمند بررسی‌های دقیق و جامعی است. عواملی مانند شرایط عملیاتی، پایداری فرآیندها، نظارت بر تجهیزات و مواد اولیه، و حتی عوامل محیطی می‌توانند بر کیفیت محصول اثرگذار باشند [۲۵]. در چنین شرایطی، اینترنت اشیا با ارائه اطلاعات لحظه‌ای از این عوامل، به عنوان یک راهکار کارآمد در کاهش نوسانات کیفیت و بهبود مستمر فرآیندهای تولیدی مطرح می‌شود. به طور خاص، استفاده از اینترنت اشیا در پایش و تحلیل شرایط تولید و مواد اولیه، کمک می‌کند تا عوامل منفی پیش از بروز تأثیرات آن‌ها شناسایی و کنترل شوند [۱۲]. هرچند تاکنون مطالعاتی به بررسی تأثیر اینترنت اشیا بر جنبه‌های مختلفی نظیر کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری پرداخته‌اند، اما تحقیقات کمی به بررسی تأثیرات این فناوری بر کیفیت محصول پرداخته‌اند. همچنین، کمتر پژوهشی این تأثیرات را از منظر کمی و با رویکردهای مدلسازی بررسی کرده است. این مطالعه با هدف پر کردن این خلأ، از روش پویایی‌شناسی سیستم بهره می‌گیرد تا به‌طور جامع و دقیق به بررسی تأثیرات اینترنت اشیا بر کیفیت محصول بپردازد. این روش‌ها کمک می‌کنند تا نه تنها تأثیرات مختلف این فناوری بر کیفیت محصول شناسایی شود، بلکه میزان این تأثیرات نیز به صورت کمی تعیین گردد.

پویایی‌شناسی سیستم با ترسیم نمودارهای علی حلقوی و انباشت-جریان، به تحلیل چرخه‌های بازخوردی کمک می‌کند که می‌توانند در شبیه‌سازی و مدل‌سازی تأثیرات بلندمدت اینترنت اشیا بر کیفیت محصول و بهره‌وری سازمان مفید واقع شوند. به این ترتیب، سازمان‌ها می‌توانند از این اطلاعات برای شبیه‌سازی تغییرات پیش‌بینی شده در فرآیندهای تولیدی خود استفاده کرده و استراتژی‌های بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌ها را تدوین کنند [۸]. نمودارهای علی حلقوی به‌طور خاص نشان می‌دهند که چگونه تغییرات در یک متغیر می‌تواند به تغییرات زنجیره‌ای در سایر متغیرها منجر شود و به این ترتیب، نقشه‌ای از تأثیرات متقابل میان عوامل مؤثر بر کیفیت محصول ارائه می‌شود. به این ترتیب، با استفاده

از پویایی‌شناسی سیستم می‌توان به مدل جامعی برای بررسی تأثیرات اینترنت اشیا بر کیفیت محصول دست یافت که نه تنها روابط میان عوامل را به تصویر می‌کشد، بلکه میزان دقیق تأثیرگذاری هر یک را نیز مشخص می‌کند. به این ترتیب، از طریق درکی عمیق‌تر از سازوکارهای داخلی فرآیندهای تولیدی، سازمان‌ها می‌توانند راهکارهای بهتری برای بهبود کیفیت محصولات خود توسعه دهند و از بروز مشکلات احتمالی جلوگیری کنند [۳۰].

در حقیقت، پرسش اصلی در این پژوهش این است که اینترنت اشیا چگونه می‌تواند کیفیت محصول را بهبود بخشد و چه متغیرهایی در این میان نقش اساسی دارند. برای پاسخ به این پرسش، ابتدا متغیرهای تأثیرگذار بر کیفیت محصول از طریق تحلیل سیستماتیک شناسایی شده و سپس روابط متقابل آن‌ها در قالب نمودارهای علی حلقوی و انباشت-جریان مدل‌سازی می‌شود. این پژوهش تلاش دارد تا از طریق مدلی، به تصویری جامع و دقیق از تأثیرات اینترنت اشیا بر کیفیت محصول دست یابد. این مدل می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا بهتر از پتانسیل‌های اینترنت اشیا در بهبود کیفیت محصول استفاده کنند و استراتژی‌های مؤثرتری برای ارتقای کیفیت به‌کار گیرند. با استفاده از این مدل، می‌توان نه تنها از داده‌های اینترنت اشیا برای شناسایی مشکلات استفاده کرد، بلکه این داده‌ها را برای پیش‌بینی تغییرات آتی و تنظیم بهینه‌تر فرآیندهای تولیدی به‌کار برد.

در نهایت، نتایج این پژوهش می‌تواند برای مدیران و تصمیم‌گیران در صنایع مختلف ارزشمند باشد؛ چرا که با درک بهتر از تأثیرات اینترنت اشیا بر کیفیت محصول، می‌توانند استراتژی‌های مؤثرتری برای پیاده‌سازی این فناوری در فرآیندهای تولیدی خود تدوین کنند و از مزایای این فناوری برای بهبود کیفیت، کاهش هزینه‌ها، و افزایش بهره‌وری استفاده کنند. این نتایج به‌ویژه برای شرکت‌هایی که در بازار رقابتی فعالیت می‌کنند، اهمیت بالایی دارد؛ چرا که کیفیت بالا می‌تواند به عنوان مزیتی رقابتی عمل کند و رضایت و وفاداری مشتریان را به همراه داشته باشد. پیش‌بینی می‌شود که استفاده از اینترنت اشیا در آینده به‌طور گسترده‌تری در صنایع مختلف رواج پیدا کند و با بهبود فناوری‌های مرتبط و کاهش هزینه‌های اجرای آن، تأثیرات بیشتری بر کیفیت محصولات بگذارد. به همین دلیل، مطالعاتی مانند این پژوهش می‌توانند به ایجاد زیرساخت‌های لازم برای پذیرش و پیاده‌سازی اینترنت اشیا در صنایع مختلف کمک کرده و از بروز مشکلات ناشی از اجرای نادرست این فناوری جلوگیری کنند. این پژوهش همچنین می‌تواند الهام‌بخش سایر مطالعات آینده باشد و زمینه‌ساز تحقیقات بیشتری در خصوص تأثیرات اینترنت اشیا بر سایر جنبه‌های تولید و فرآیندهای سازمانی شود. مهمترین نوآوری های تحقیق حاضر به شرح زیر هستند:

ارائه مدلی جامع برای تحلیل تأثیر اینترنت اشیا بر کیفیت محصول: این مقاله یک مدل پویایی‌شناسی سیستم ارائه می‌دهد که تأثیرات اینترنت اشیا را بر کیفیت محصول به صورت ساختاری و کمی بررسی می‌کند. با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم، این مقاله به تحلیل روابط متقابل میان متغیرهای تأثیرگذار پرداخته و وابستگی‌ها و بازخوردهای موجود را شفاف‌سازی می‌کند.

مدل‌سازی ساختاری تأثیرات با استفاده از نمودارهای علی حلقوی و انباشت-جریان: این مقاله از ابزارهای نمودارهای علی حلقوی و انباشت-جریان برای مدل‌سازی روابط پیچیده میان متغیرها استفاده می‌کند و به درک بهتری از تأثیرات اینترنت اشیا بر کیفیت محصول دست می‌یابد. این مدل‌سازی به تحلیل ساختاری و دینامیک فرآیندهای تأثیرگذار کمک می‌کند.

توسعه رویکردی نوین برای بهبود کیفیت محصول با کمک داده‌های اینترنت اشیا: نتایج این پژوهش به صنایع کمک می‌کند تا از داده‌های اینترنت اشیا برای بهبود کیفیت محصولات خود بهره‌برداری کنند. این رویکرد به پیش‌بینی تغییرات آتی و تنظیم بهینه فرآیندها بر اساس داده‌های لحظه‌ای اینترنت اشیا کمک می‌کند.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

اینترنت اشیا. اینترنت اشیا به شبکه‌ای از دستگاه‌ها و اشیاء اطلاق می‌شود که به اینترنت متصل هستند و قادر به جمع‌آوری، تبادل و تحلیل داده‌ها می‌باشند [۲۶، ۲۹]. این تکنولوژی به دستگاه‌ها اجازه می‌دهد تا اطلاعات را به صورت خودکار به یکدیگر ارسال و دریافت کنند که منجر به بهبود کارایی و تصمیم‌گیری هوشمند در سیستم‌ها می‌شود. ایده اینترنت اشیا از اوایل دهه ۱۹۹۰ شکل گرفت و با پیشرفت فناوری‌های

ارتباطی و کاهش هزینه‌های مرتبط با سنسورها و تجهیزات، امکان اتصال و مدیریت این اشیاء در مقیاس وسیع‌تر فراهم شد [۲۲]. اجزای اصلی اینترنت اشیا شامل سنسورها و دستگاه‌ها، شبکه‌های ارتباطی و پلتفرم‌های مدیریت داده هستند. کاربردهای این فناوری در زمینه‌های مختلفی همچون صنعت، شهرهای هوشمند و کشاورزی هوشمند به چشم می‌خورد، که هر یک می‌تواند به افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی فرآیندها کمک کند [۴۷].

استفاده از اینترنت اشیا در مدیریت کیفیت می‌تواند به کاهش هزینه‌ها، افزایش کارایی و بهبود تصمیم‌گیری کمک کند. با جمع‌آوری و تحلیل داده‌های واقعی از سیستم‌های تولیدی و خدماتی، می‌توان به شناسایی و کاهش ضایعات و بهبود فرآیندهای کنترل کیفیت پرداخت [۳۱]. با این حال، اینترنت اشیا با چالش‌هایی مانند امنیت داده‌ها، حریم خصوصی و عدم استانداردسازی مواجه است [۲۴]. این چالش‌ها و نیاز به زیرساخت‌های قوی و پایدار برای پشتیبانی از این سیستم‌ها از جمله مسائلی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند. در نهایت، اینترنت اشیا به عنوان یک عامل کلیدی در تحول دیجیتال و بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌ها در ابعاد مختلف شناخته می‌شود [۴۴، ۴۵].

پویایی شناسی سیستم. پویایی‌شناسی سیستم به‌عنوان یک رویکرد تحلیلی، به مدیران و پژوهشگران این امکان را می‌دهد که تعاملات پیچیده بین اجزای مختلف یک سیستم را شبیه‌سازی و تحلیل کنند. با مدل‌سازی رفتار سیستم‌ها بر اساس روابط غیرخطی و تأثیرات متقابل متغیرها، این روش می‌تواند به شناسایی الگوهای رفتاری بلندمدت و پاسخ‌های سیستم به تغییرات در شرایط محیطی کمک کند. به‌خصوص در دنیای امروز که فناوری‌ها و شرایط بازار به‌سرعت در حال تغییر هستند، پویایی‌شناسی سیستم به سازمان‌ها این قابلیت را می‌دهد که با پیش‌بینی سناریوهای مختلف، استراتژی‌های بهتری برای مدیریت تغییرات و بهبود کیفیت اتخاذ کنند. همچنین، این رویکرد می‌تواند در فرآیندهای تصمیم‌گیری، به بهبود شفافیت و درک عمیق‌تری از دینامیک‌های سازمانی کمک کند [۷، ۴۰].

این توانایی برای شبیه‌سازی و تجزیه‌وتحلیل تعاملات و پویایی‌های داخلی، مدیران را قادر می‌سازد تا در شرایط عدم قطعیت، تصمیمات استراتژیک و مبتنی بر داده‌های دقیق‌تری اتخاذ کنند و در نهایت به بهبود عملکرد و کیفیت در سازمان‌ها و سیستم‌ها کمک کنند. به‌علاوه، پویایی‌شناسی سیستم به‌عنوان ابزاری مؤثر در شناسایی نقاط قوت و ضعف یک سیستم عمل می‌کند و به شناسایی عوامل کلیدی تأثیرگذار بر عملکرد کمک می‌کند. با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و مشاهده نتایج آن‌ها، مدیران می‌توانند راهکارهای بهتری برای بهینه‌سازی فرآیندها و منابع خود پیدا کنند. در نهایت، این رویکرد به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا به‌صورت جامع‌تری به تحلیل داده‌ها و شناسایی الگوهای رفتاری بپردازند و به این ترتیب، عملکرد خود را در مواجهه با چالش‌های پیچیده بهبود بخشند [۳۲].

این رویکرد همچنین در زمینه‌های مختلفی از جمله بهداشت و درمان، تولید و صنایع، مدیریت پروژه، و حتی سیاست‌گذاری عمومی به‌کار گرفته می‌شود. در هر یک از این زمینه‌ها، پویایی‌شناسی سیستم می‌تواند به سازمان‌ها در مدیریت بهتر منابع، بهینه‌سازی عملکرد، و ارتقاء کیفیت کمک کند [۳۶]. از طریق تحلیل و شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده، مدیران قادر خواهند بود راهبردهایی را طراحی کنند که نه‌تنها به بهبود عملکرد موجود کمک کند بلکه به رشد پایدار و موفقیت طولانی‌مدت سازمان‌ها نیز منجر شود. به‌طور کلی، پویایی‌شناسی سیستم به‌عنوان یک ابزار تحلیلی قدرتمند، نقش مهمی در فهم و بهبود پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌های مختلف ایفا می‌کند و به مدیران این امکان را می‌دهد که با تصمیم‌گیری آگاهانه، به بهینه‌سازی عملکرد خود بپردازند [۱۹].

مروری بر تحقیقات پیشین در پیشینه تحقیق، مطالعات داخلی اغلب به بررسی عوامل تاثیرگذار در به‌کارگیری اینترنت اشیا و کاربردهای آن در صنعت‌های مختلف و یا راهکارهایی برای بهبود استفاده از آن پرداخته‌اند. رونقی و حسینی (۱۳۹۷) به شناسایی کاربردهای متعدد اینترنت اشیا در حوزه سلامت و اهمیت هرکدام پرداختند. آن‌ها پس از شناسایی ۱۲ مورد از کاربردهای اینترنت اشیا با استفاده از مطالعات پیشین با استفاده از نظر ۷ خبره در حوزه فناوری اطلاعات و مدیران بیمارستان‌ها، رتبه‌بندی عوامل با استفاده از ترکیب تحلیل سلسله مراتبی[1] با مجموعه فازی نوع دو پرداختند [۳۹]. باستان و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها عوامل مؤثر بر پذیرش موبایل بانک توسط مشتریان بانک را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها پس از رسم نمودار انباشت - جریان، چند سیاست نیز براساس نتایج به دست آمده طراحی کردند

1. Analytic Hierarchy Process (AHP)

که شامل ادامه وضع موجود، افزایش میزان تبلیغات، و افزایش خدمات موبایل بانک بودند و به مقایسه نتایج سناریوها پرداختند [۹]. جلوخانی‌نیارکی و جوانروح علی‌آباد (۱۳۹۸) به بررسی کاربردهای اینترنت اشیا در بهبود صنعت گاو شیری پرداختند. آن‌ها به طراحی سیستمی برای پایش دقیق گاو شیری مبتنی بر اینترنت اشیا پرداختند و علاوه‌بر ارائه کاربردهای آن در یک صنعت گاوداری، ملاحظات اقتصادی در طراحی این سیستم را نیز در نظر گرفتند. پژوهش آن‌ها نشان داد که استفاده از یک سیستم پایش، امکان مدیریت بیماری‌ها را فراهم می‌کند و شیوع بیماری را کاهش داده و در نتیجه هزینه‌های سالانه را کاهش می‌دهد [۲۳].

حسین‌پور و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از نظر خبرگان حوزه درمان و اینترنت اشیا، به شناسایی کاربردهای اینترنت اشیا در مدیریت کیفیت بیمارستانی پرداختند و با استفاده از تکنیک دلفی، مهم‌ترین آن‌ها شناسایی و برای روش مدل‌سازی تفسیری ساختاری استفاده کردند [۲۱]. باستان و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی پذیرش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به عنوان یکی از فناوری‌های نوین پرداختند. آن‌ها با استفاده از نظریه داده‌بنیاد، کلیدی‌ترین متغیرها را شناسایی کرده و مدل مفهومی آن را استخراج کردند. پس از مدل‌سازی با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم‌ها و اعتبارسنجی مدل، سیاست‌های بهبود براساس نقاط اهرمی شامل نیروی متخصص، زیرساخت و آگاهی و تبلیغات ایجاد و با یکدیگر مقایسه کردند [۱۰].

محمدی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی اثر اینترنت اشیا بر توسعه و آموزش منابع انسانی در سازمان پرداختند. آن‌ها داده‌های پژوهش خود را با استفاده از پرسشنامه جمع‌آوری کردند و پس از بررسی روایی و پایایی پرسشنامه و با روش مدلیابی معادلات ساختاری به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که اینترنت اشیا موجب بهبود کیفیت ارتباطات و اطلاعات می‌شود و در نتیجه می‌تواند در توسعه منابع انسانی تاثیرگذار باشد [۳۳]. احدیانی و همکاران (۱۴۰۱) با روش تحلیل مضمون به بررسی پیامدهای کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران پرداختند. آن‌ها با مصاحبه با ۱۸ مدیر و متخصص در زمینه اینترنت اشیا و صنعت هوایی و کدگذاری این داده‌ها در نرم‌افزار MAXQDA2020، عوامل سازمانی و زیرساختی موثر در به‌کارگیری اینترنت اشیا و پیامدهای آن شامل پیامدهای ملی، سازمانی و محیطی را شناسایی کردند [۲]. یوسفی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیق خود به دنبال معرفی قابلیت‌های متعدد اینترنت اشیا در حوزه مدیریت منابع انسانی بوده‌اند. آن‌ها نیز با انجام مصاحبه با ۹ تن از متخصصان حوزه‌های مرتبط به منابع انسانی و اینترنت اشیا و با روش تحلیل مضمون، کاربردهای اینترنت اشیا در فرآیندهای اصلی مدیریت منابع انسانی شامل آموزش، استخدام، ارزیابی عملکرد، جبران خدمات، نگهداشت و پایان خدمت را شناسایی و معرفی کرده‌اند [۵۰]. راسخی و بابائی (۱۴۰۳) یک الگوریتم مسیریابی جدید مبتنی بر خوشه‌بندی توزیع‌شده و تاخیر تکراری برای بهبود کیفیت سرویس اینترنت اشیا را پیشنهاد دادند. رویکرد پیشنهادی آن‌ها مسیری را که تاخیر کمتری دارد را برای انتقال انتخاب می‌کند. آن‌ها عملکرد رویکرد خود را با رویکردهای مطالعات پیشین از نظر مصرف انرژی و نرخ گم‌شدن بسته‌ها مقایسه کردند و کارایی رویکرد خود را اثبات کردند [۳۷].

در پیشینه خارجی نیز مطالعاتی برای بررسی به‌کارگیری اینترنت اشیا و معرفی کاربردهای آن در صنایع گوناگون ارائه شده است. تنگ[1] و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود به بررسی دیدگاه مدیران شرکت‌ها نسبت به عملکرد اینترنت اشیا در شرکتشان پس از پذیرش آن پرداختند. آن‌ها شرکت‌هایی که بالاترین درآمد مالی در آمریکا را داشته‌اند را انتخاب و با بررسی اخبار اعلامی آن‌ها درمورد اینترنت اشیا، تایید کردند که این شرکت‌ها از اینترنت اشیا استفاده کرده‌اند. با جمع‌آوری داده‌های مالی این شرکت‌ها از طریق یک پایگاه داده، ارتباط پیاده‌سازی اینترنت اشیا در شرکت با کارایی آن در بحث عملکرد مالی، بهره‌وری و ارزش سهم بازار را با با روش کمی تحلیل کردند [۴۶]. نگی[2] و همکاران (۲۰۱۸) برای شناسایی تاثیری که صنعت ۴.۰ و تکنولوژی‌های آن روی کارخانه‌های مجارستان چه تاثیری داشته و چه مشکلاتی برای استفاده از آن داشته‌اند، از پرسشنامه و مصاحبه با متخصصان استفاده کردند [۳۵]. لی[3] و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تحقیقات پیشین عوامل موثر بر اینترنت اشیا را شناسایی کرده در شش دسته معرفی و برای ارزیابی این عوامل از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده کردند [۲۷]. تو[4] (۲۰۱۸) با

1. Tang
2. Nagy
3. Ly
4. Tu

استفاده از مصاحبه با مدیران تایوانی، به شناسایی عوامل تاثیرگذار بر به‌کارگیری اینترنت اشیا در لجستیک و زنجیره تامین پرداخت. او پس از مشخص کردن عوامل تاثیرگذار برای تست فرضیه‌های خود و تحلیل داده‌ها از روش کمترین مربعات جزئی[1] استفاده کرد. او ثابت کرد که اعتماد به فناوری به‌طور غیر مستقیم بر میزان پذیرش تکنولوژی تاثیرگذار است [۴۸]. احمد و همکاران (۲۰۱۸) برای بالابردن امکان شناسایی خرابی‌ها به طوری دقیق و موثرتر، سیستمی با استفاده از سامانه فیزیکی - سایبری[2] و اینترنت اشیا صنعتی برای پیش‌بینی خرابی‌ها و بهبود فرآیندهای تولید ارائه دادند. آن‌ها از رویکرد آماری مبتنی بر واقعیت استفاده کردند و به بررسی روابط بین عوامل و علل خرابی‌ها پرداختند [۳].

مصطفی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود به طور خلاصه مزایای به‌کارگیری اینترنت اشیا در زنجیره تامین را معرفی کردند. پس از آن اهمیت انبار را در برطرف ساختن انتظارت مشتری روشن ساخته و به ارائه چارچوبی برای استفاده از اینترنت اشیا در انبار پرداختند و سعی داشتند تاثیرات اقتصادی و اجتماعی صنعت ۴.۰ و اینترنت اشیا را بررسی کنند. چارچوب پیشنهادی آن‌ها با هدف کاهش دخالت نیروی انسانی مزایایی شامل افزایش کارایی، کاهش حوادث، کاهش تعداد کارگران، کاهش دزدی و بهبود عملکرد کلی شرکت‌های زنجیره تامین را در بر داشت [۳۴]. دوانتی و سینگ[3] (۲۰۱۹) تاثیر استفاده از اینترنت اشیا بر تعمیر و نگهداری مبتنی بر وضعیت را بررسی کردند. آن‌ها از روش هزینه‌یابی برمبنای فعالیت[4] و مدل‌سازی ریاضی برای آنالیز هزینه‌های نگهداری و تعمیرات استفاده کردند و بررسی کردند که سیستم در شرایط عادی و در شرایطی که از سیستم‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت مبتنی بر اینترنت اشیا استفاده کند، چه تاثیری خواهد داشت و نتایج آن‌ها نشان داد که سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا موجب هزینه‌های کمتری خواهد شد [۱۴]. اوک[5] و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه پیشینه تحقیق، مزایا و معایب به‌کارگیری اینترنت اشیا را معرفی و کدگذاری کردند. همچنین داده‌های خود را از طریق ۱۵۳ پرسشنامه جمع‌آوری کردند و تحلیل اطلاعات را با روش‌های آماری توصیفی و استنباطی انجام دادند. آن‌ها ۱۹ تاثیر مثبت و منفی به‌کارگیری اینترنت اشیا بر صنعت ساخت‌وساز را در تحقیق خود براساس نظر متخصصان صنعت معرفی کردند [۴۹].

اسپنوزا[6] و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی شواهد استفاده از اینترنت اشیا پرداختند و ابتدا درصد هزینه فناوری اطلاعات را که صرف اینترنت اشیا می‌شود را محاسبه کردند. آن‌ها از روش حسابداری رشد برای ارزیابی تأثیر احتمالی اینترنت اشیا بر بهره‌وری استفاده کردند و به تحلیل تاثیر اقتصادی اینترنت اشیا بر صنایع در اروپا پرداختند [۱۸]. رتنا[7] (۲۰۲۰) با استفاده از تکنیک پرسشنامه و نظرسنجی از ۲۷۸ نفر، به بررسی تاثیر استفاده از اینترنت اشیا بر رضایت مشتریان در صنعت خرده‌فروشی پرداخت. او با استفاده از نرم‌افزار SPSS به آزمایش فرضیات خود پرداخت و نتیجه گرفت که اینترنت اشیا تاثیر مثبتی بر رضایت، نگرش و دیدگاه مشتریان این صنعت دارد [۳۸]. احمد و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تاثیر اینترنت اشیا بر دستیابی به رضایت مشتری در صنعت هتل‌داری مصر پرداختند و از روش آزمون فرضیه استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از پرسشنامه به جمع‌آوری داده پرداختند و تاثیر هزینه و امنیت اینترنت اشیا بر رضایت مشتری را نیز بررسی کردند که نتایج آن‌ها نشان از معناداری رابطه بین رضایت مشتری و این عوامل داشت [۴]. روزخوش و همکاران (۲۰۲۲) نرخ پذیرش بلاکچین در زنجیره تامین لوازم خانگی در ایران را مورد بررسی قرار دادند و از پویایی شناسی سیستم‌ها برای مدل‌سازی روابط غیرخطی استفاده کردند و مدل را برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ اجرا کردند. رفتار نرخ پذیرش بلاکچین با استفاده از شبکه پرسپترون چندلایه و رگرسیون برداری پیش‌بینی کردند و با داده‌های واقعی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲ مقایسه کردند تا عملکرد این دو روش را مقایسه کنند. همچنین سیاست‌هایی نیز برای افزایش نرخ پذیرش ارائه دادند [۴۱]. باستان و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از نظریه داده‌بنیاد، مدل مفهومی پذیرش فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را ارائه کرده و با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها سیاست‌های افزایش نرخ پذیرش این فناوری در ایران را بررسی کردند [۱۱].

1. Partial Least Squares
2. Cyber Physical Systems (CPS)
3. Dewanti & Singgih
4. Activity Based Costing
5. Oke
6. Espinoza
7. Ratna

دینگ و همکاران (۲۰۲۳) ارزیابی کردند که فناوری اینترنت اشیا چگونه می‌تواند بخش لجستیک چین را تبدیل به بخشی کارآمدتر و پایدارتر کند. چارچوب تحلیل آن‌ها مبتنی بر جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بود که با استفاده از وزن‌دهی آنتروپی زمانی ارائه شد. پس از آن یک مدل ارتباطی خاکستری برای تحلیل اثر همبستگی این عوامل ارائه شد [۱۷]. الخطیب[1] (۲۰۲۳) در تحقیق خود به بررسی کاربرد و تاثیر به‌کارگیری تکنولوژی‌های صنعت ۴.۰ خصوصا اینترنت اشیا در عملکرد پایدار شرکت‌های تولید دارو پرداخت. او تاثیر غیر مستقیم شفافیت زنجیره تامین را بر رابطه بین استفاده از اینترنت اشیا بر عملکرد پایدار را نیز در تحقیق خود در نظر گرفت. او داده‌های مورد نیاز خود را از طریق ۳۸۰ پرسشنامه به دست آورد و از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر کوواریانس برای آنالیز روابط استفاده کرد. نتایج نشان از تاثیر مثبت اینترنت اشیا بر عملکرد پایدار داشت [۶].

دینگ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود دو ساختار زنجیره تامین ارائه کردند که ساختار اول با استفاده از اینترنت اشیا و ساختار دوم بدون استفاده از آن بود و روش ترکیبی پویایی‌شناسی و شبیه‌سازی عامل بنیان را برای مقایسه این دو ساختار به کار بردند. نتایج نشان دادند که زنجیره تامین مبتنی بر اینترنت اشیا، کربن دی اکسید کمتری تولید می‌کند همچنین سود کلی آن نیز نسبت به زنجیره تامین بدون اینترنت اشیا کمتر است [۱۶]. مقصودی و نظافتی (۲۰۲۳) به شناسایی عوامل کلیدی تاثیرگذار بر اجرای هوش تجاری پرداختند و روابط متقابل این عوامل را با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها مورد بررسی قراردادند. آن‌ها هر دو استراتژی پیاده‌سازی هوش تجاری شامل رویکرد سنتی و رویکرد سلف سرویس[2] را شبیه‌سازی کرده و میزان پذیرش در سازمان‌ها را در هر دو رویکرد مقایسه کردند و در نهایت برای اعتبارسنجی نتایج اولیه نیز چند سناریو طراحی نمودند [۲۸].

ساسنلی و پاچکو[3] (۲۰۲۴) برای بررسی تاثیر اینترنت اشیا بر کیفیت ارزش درک‌شده مشتری و وفاداری آن‌ها در شرکت‌هایی که سیستم‌های محصول – خدمت هوشمند دارند از یک روش یکپارچه استفاده کردند. آن‌ها روش خود را با دو ماتریس ارائه کردند. ماتریس اول تحت عنوان تعیین‌کننده‌های کیفیت اینترنت اشیا ارائه شد که با استفاده از ۱۱ عامل تعیین‌کننده کیفیت و دسته‌بندی کارکردهای اینترنت اشیا در ۶ دسته تشکیل شده بود و ماتریس دوم نیز ماتریس مشارکت مشتری بود که تعامل مشتری را در مراحل مختلف چرخه حیات شرکت ارزیابی می‌کرد. آن‌ها برای تایید روش خود از ۱۴ مورد مطالعاتی استفاده کردند [۳۹].

جدول ۱، خلاصه‌ای از تحقیقات پیشین را ارائه می‌دهد .

جدول ۱. مروری بر تحقیقات پیشین

مطالعه	روش	هدف
رونقی و حسینی (۱۳۹۷)	مقایسات زوجی و تحلیل سلسله مراتبی و فازی نوع دو	شناسایی و رتبه‌بندی موارد کاربرد اینترنت اشیا در حوزه سلامت
باستان و همکاران (۱۳۹۷)	رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها	بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش موبایل بانک توسط مشتریان بانک
جلوخانی‌نیارکی و جوانروح علی‌آباد (۱۳۹۸)	تحلیل اقتصادی	طراحی یک سیستم پایش براساس اینترنت اشیا و ارزیابی اقتصادی پیامدهای آن
حسین‌پور و همکاران (۱۳۹۹)	روش دلفی و روش مدل‌سازی تفسیری ساختاری	شناسایی و اولویت‌بندی کاربردهای فناورانه اینترنت اشیا در مدیریت کیفیت بیمارستانی
باستان و همکاران (۱۳۹۹)	نظریه داده بنیاد و رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها	بررسی میزان پذیرش نوآوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان
محمدی و همکاران (۱۴۰۱)	مدل‌یابی معادلات ساختاری	بررسی معنی‌داری رابطه پیاده‌سازی اینترنت اشیا با کیفیت اطلاعات و کیفیت ارتباطات و توسعه و آموزش منابع انسانی
احدیانی و همکاران (۱۴۰۱)	تحلیل مضمون	بررسی عوامل موثر در به‌کارگیری اینترنت اشیا و کاربردهای آن در صنعت هوایی ایران
یوسفی و همکاران (۱۴۰۲)	تحلیل مضمون	بررسی کاربردهای اینترنت اشیا در مدیریت منابع انسانی

1. Al-Khatib
2. Self-Service BI
3. Sassanelli, C., & Pacheco

مطالعه	روش	هدف
راسخی و بابائی (۱۴۰۳)	ارائه یک الگوریتم خوشه‌بندی چندگانه	بهبود مسیریابی و هدایت بسته‌ها و کاهش مصرف انرژی در استفاده از اینترنت اشیا
تنگ و همکاران (۲۰۱۸)	روش کمی برای تحلیل داده‌ها و بررسی فرضیه‌ها	تاثیر پیاده‌سازی اینترنت اشیا در عملکرد شرکت با تمرکز بر عملکرد مالی
نگی و همکاران (۲۰۱۸)	پرسشنامه و مصاحبه با متخصصان	شناسایی تاثیر صنعت ۴/۰ و اینترنت اشیا بر شرکت‌های مجارستان و مشکلات به‌کارگیری آن‌ها
لی و همکاران (۲۰۱۸)	مجموعه‌های فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی	شناسایی عوامل تاثیرگذار بر اینترنت اشیا برای دستیابی به ترکیبی برای عملکرد موثر آن
تو (۲۰۱۸)	مصاحبه و روش کمترین مربعات جزئی برای تست فرضیه‌ها	شناسایی عوامل تاثیرگذار بر به‌کارگیری اینترنت اشیا در لجستیک و زنجیره تامین
احمد و همکاران (۲۰۱۸)	رویکرد آماری مبتنی بر واقعیت	ارائه سیستم مبتنی بر سامانه فیزیکی - سایبری و اینترنت اشیا صنعتی برای پیش‌بینی خرابی‌ها
مصطفی و همکاران (۲۰۱۹)	مرور ادبیات و ارائه یک چارچوب نظری	بررسی تاثیرات اجتماعی و اقتصادی استفاده از اینترنت اشیا در انبار
دوانتی و سینگ (۲۰۱۹)	آنالیز هزینه‌ها با روش هزینه‌یابی برمبنای فعالیت و مدل‌سازی ریاضی	بررسی میزان اثربخشی استفاده از نگه‌داری و تعمیرات مبتنی بر شرایط مبتنی بر اینترنت اشیا
اوک و همکاران (۲۰۲۰)	پرسشنامه و روش‌های آماری و توصیفی	شناسایی متغیرها و تاثیرات اینترنت اشیا بر صنعت ساخت‌وساز از دیدگاه متخصصان
اسپنوزا و همکاران (۲۰۲۰)	روش حسابداری رشد	تحلیل تاثیر اینترنت اشیا از جنبه اقتصادی در اروپا
رتنا (۲۰۲۰)	پرسشنامه و تست فرضیه	بررسی تاثیر اینترنت اشیا بر رضایت و نگرش مشتریان در صنعت خرده‌فروشی
احمد و همکاران (۲۰۲۲)	پرسشنامه و آزمون فرضیه	بررسی تاثیر کاربرد، هزینه و امنیت اینترنت اشیا در رضایت مشتریان در صنعت هتل‌داری مصر
روزخوش و همکاران (۲۰۲۲)	رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها و یادگیری ماشین	پیش‌بینی نرخ پذیرش بلاک‌چین در ایران
باستان و همکاران (۲۰۲۲)	نظریه داده‌بنیاد و رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها	ارائه مدل مفهومی پذیرش فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران به همراه سیاست‌های افزایش نرخ پذیرش
دینگ و همکاران (۲۰۲۳)	ارائه چارچوب تحلیلی با استفاده از وزن‌دهی آنتروپی زمانی و یک مدل ارتباطی خاکستری برای تحلیل اثر همبستگی (مدل ریاضی)	بررسی تاثیر اینترنت اشیا بر پایداری بخش لجستیک چین
الخطیب (۲۰۲۳)	پرسشنامه و روش مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر کوواریانس	بررسی کاربرد و تاثیر به‌کارگیری تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰ خصوصا اینترنت اشیا در عملکرد پایدار
دینگ و همکاران (۲۰۲۳)	روش ترکیبی سیستم داینامیک و شبیه‌سازی عامل بنیان (حدود ۲۰ متغیر)	مقایسه عملکرد زنجیره تامینی مبتنی بر اینترنت اشیا و زنجیره تامینی بدون اینترنت اشیا براساس میزان سوددهی، تولید کربن و سهم بازار
مقصودی و نظافتی (۲۰۲۳)	رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها	بررسی تفاوت نرخ پذیرش هوش تجاری در استراتژی‌های پیاده‌سازی آن
ساسنلی و پاچکو (۲۰۲۴)	ترکیب دو ماتریس و ارزیابی روش با استفاده از ۱۴ مورد مطالعاتی	بررسی تاثیر اینترنت اشیا بر کیفیت ارزش درک‌شده مشتری و وفاداری آن‌ها در سیستم‌های محصول-خدمت هوشمند
مطالعه حاضر	روش پویایی‌شناسی سیستم (بیشتر از ۱۶۰ متغیر)	ارائه مدلی جامع برای تحلیل تأثیر اینترنت اشیا بر کیفیت، هزینه‌ها و ضایعات محصولات

مطالعه تحقیقات داخلی تحقیق نشان داد که در اکثر مطالعات به بررسی و شناسایی کاربردهای اینترنت اشیا ربصنایع مختلف پرداخته شده و تعداد کمی از تحقیقات نیز به ارائه رویکردی برای بهبود عملکرد اینترنت اشیا پرداخته اند. برخی نیز تاثیر اینترنت اشیا برجنبه‌های خاصی از صنعت را بررسی کرده‌اند و اکثرا از روش‌های کیفی بهره گرفته‌اند. بنابراین جای پژوهشی که به طور جامع به تحلیل تاثیر اینترنت اشیا بر عملکرد صنایع از جنبه‌های مختلف و با روشی غیرکیفی و ساختاریافته بپردازد، خالی است. پیشینه خارجی تحقیق نیز نشان می‌دهد که روش‌های متفاوتی برای بررسی تاثیر اینترنت اشیا بر کیفیت صنایع مختلف ارائه شده‌اند و تاثیرات متفاوتی که استفاده ازین فناوری بر صنایع گذاشته‌است

را بررسی کرده‌اند. برخی از تحقیقات نیز با طراحی یک شبکه اینترنت اشیا در مطالعه خود و اجرای آن در یک مورد مطالعاتی تاثیرات به‌کارگیری این تکنولوژی را بررسی کرده‌اند. اما تحقیقی که به طور جامع به بررسی تاثیر اینترنت اشیا بر عملکرد صنایع از جنبه‌های مختلف به‌خصوص تاثیر آن را بر بهبود کیفیت محصول، کاهش هزینه‌ها و ضایعات بپردازد، انجام نشده است. تحقیقات پیشین به ندرت به استفاده از روش‌های تحلیل ریاضی پرداخته‌اند و اغلب براساس روش‌های کیفی و یا تحلیل آماری و توصیفی هستند. بنابراین تحقیق حاضر علاوه بر ارائه تحلیلی جامع در رابطه با تاثیر اینترنت اشیا بر جنبه‌های مختلف صنعت، از روش پویایی شناسی سیستم استفاده کرده است تا جای خالی این خلأ تحقیقاتی را پر کند.

یکی از شکاف‌های اصلی در تحقیق، نبود تحلیل جامع و ساختاریافته از تأثیرات اینترنت اشیا بر کیفیت محصول است. در حالی که اکثر تحقیقات پیشین به بررسی تأثیرات اینترنت اشیا در جنبه‌های خاص مانند کاهش هزینه‌ها یا افزایش بهره‌وری پرداخته‌اند، تأثیرات پیچیده‌تر آن بر کیفیت محصول در فرآیندهای تولیدی به‌ویژه در محیط‌های پویای تولید کمتر بررسی شده است. به‌طور خاص، درک روابط غیرخطی و بازخوردی میان متغیرها، که می‌تواند تأثیرات زیادی بر کیفیت محصول بگذارد، هنوز در تحقیقات قبلی به‌طور کامل پوشش داده نشده است. این مسئله پیچیدگی‌هایی دارد که روش‌های سنتی نمی‌توانند به خوبی آن را مدل‌سازی کنند. از جمله این پیچیدگی‌ها می‌توان به پذیرش و استقرار اینترنت اشیا در سیستم‌های تولیدی اشاره کرد که نیاز به تحلیل دقیق‌تری دارد. پذیرش این فناوری ممکن است تحت تأثیر عوامل زیادی قرار بگیرد که در روش‌های معمول نادیده گرفته می‌شود، مانند زیرساخت‌ها، هزینه‌های آموزش و شرایط محیطی این می‌تواند منجر به درک نادرستی از ابعاد چگونگی پذیرش و استقرار شود که در نهایت به تصمیمات اشتباه و عدم بهره‌برداری بهینه از پتانسیل‌های اینترنت اشیا منتهی می‌شود.

روش‌شناسی تحقیق حاضر با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم و مدل‌سازی روابط غیرخطی به تحلیل تأثیرات اینترنت اشیا پرداخته است. در مقایسه با روش‌های دیگر که به‌طور معمول از روابط خطی و ساده برای تحلیل استفاده می‌کنند، این روش قادر است پیچیدگی‌ها و بازخوردهای درونی سیستم‌های تولیدی را مدل‌سازی کند. در روش‌های دیگر، اغلب روابط غیرخطی بین متغیرها نادیده گرفته می‌شود یا به‌صورت خطی مدل می‌شوند، که این می‌تواند مشکلات قابل توجهی ایجاد کند:

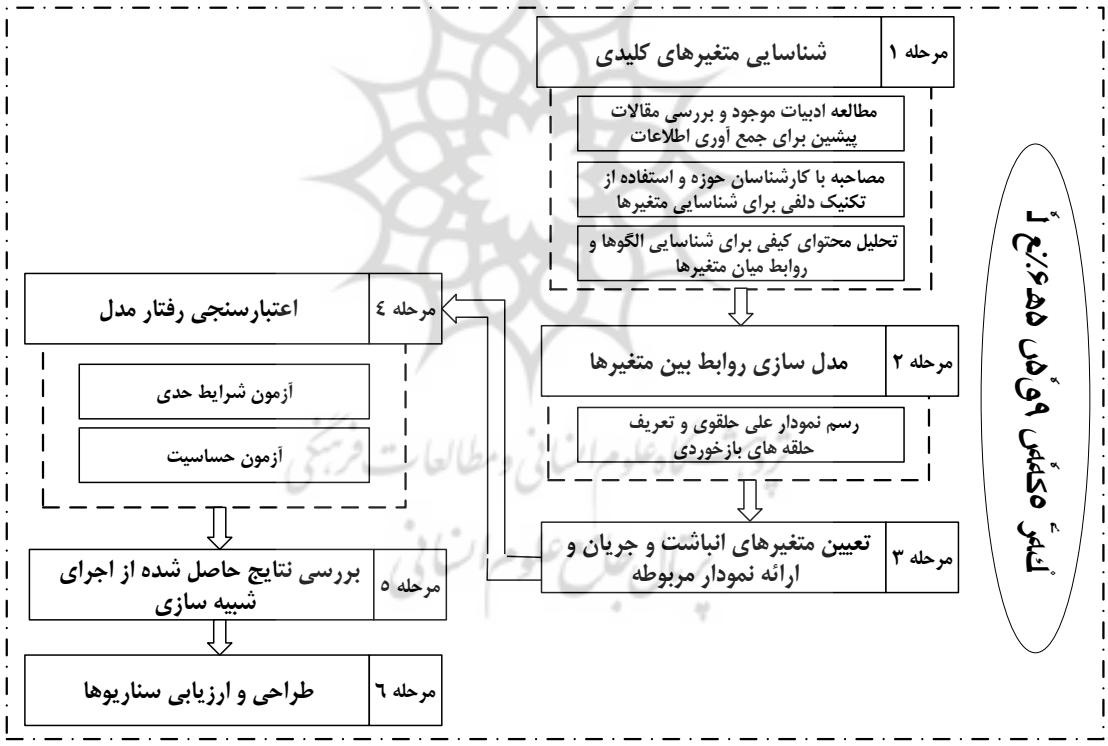
- درک ناقص از پیچیدگی‌های تعاملات: در روش‌های سنتی که روابط غیرخطی را لحاظ نمی‌کنند، تعاملات پیچیده میان متغیرها به‌درستی مدل‌سازی نمی‌شود. این به این معناست که نتایج به‌دست‌آمده ممکن است نتایج واقعی را منعکس نکنند، چرا که در واقعیت، متغیرها به‌طور متقابل و پیچیده بر هم تأثیر می‌گذارند.
- نادیده گرفتن هزینه‌ها و عوامل مهم: در بسیاری از روش‌های سنتی، هزینه‌ها و فاکتورهای جانبی که می‌توانند تأثیر زیادی بر استقرار فناوری اینترنت اشیا داشته باشند، ممکن است نادیده گرفته شوند. به‌عنوان مثال، هزینه‌های مربوط به آموزش کارکنان، سخت‌افزار و نرم‌افزار، و حتی تغییرات در ساختار سازمانی می‌تواند در تحلیل‌های ساده لحاظ نشود و این به اشتباه در برآوردهای نهایی تاثیرگذار است.
- آثار جانبی تصمیمات: همچنین، درک صحیحی از آثار جانبی تصمیمات در پی پذیرش اینترنت اشیا در سیستم‌های تولیدی ایجاد نمی‌شود. برای مثال، یک تصمیم در مورد به‌کارگیری اینترنت اشیا ممکن است منجر به تغییرات ناخواسته در فرآیندهای تولیدی یا حتی به ایجاد مشکلات جدید در زنجیره تأمین شود. این آثار جانبی می‌توانند به‌ویژه در مدل‌های پیچیده و پویا، که تأثیرات بلندمدت و غیرمستقیم را مدل می‌کنند، بهتر شبیه‌سازی شوند.

بنابراین، شکاف اصلی تحقیق در اینجا نه تنها نوآوری در روش بلکه عدم توجه به پیچیدگی‌ها و روابط غیرخطی در مدل‌های پیشین است که به درک نادرست و تصمیم‌گیری‌های ناصحیح منجر می‌شود. مدل‌های ساده نمی‌توانند به‌درستی این پیچیدگی‌ها را شبیه‌سازی کرده و در نتیجه قادر به شبیه‌سازی دقیق‌تر تأثیرات اینترنت اشیا بر کیفیت محصول نبوده‌اند. این شکاف‌ها از طریق استفاده از روش‌های پویایی‌شناسی

سیستم و مدل‌سازی روابط غیرخطی پوشش داده می‌شوند که به درک بهتر تأثیرات این فناوری کمک می‌کند و به تصمیم‌گیرندگان ابزارهای دقیق‌تری برای تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش تأثیر اینترنت اشیا بر کیفیت، هزینه‌ها و ضایعات محصول، با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم مورد بررسی قرار گرفته‌است در مرحله اول، با جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف و نظرات کارشناسان، متغیرهای مؤثر بر کیفیت محصول شناسایی می‌شوند. سپس با استفاده از نمودارهای علی حلقوی و انباشت-جریان، روابط بین این متغیرها مدل‌سازی می‌شود تا تعاملات دینامیکی و چرخه‌های بازخورد میان متغیرهای اینترنت اشیا و کیفیت محصول تحلیل گردد. در مرحله بعد، مدل پویایی‌شناسی سیستم شبیه‌سازی می‌شود تا تأثیرات متغیرهای کلیدی در سناریوهای مختلف بررسی شود. این شبیه‌سازی‌ها به شناسایی نقاط حساس سیستم کمک می‌کنند و امکان پیش‌بینی تأثیرات بلندمدت و کوتاه‌مدت اینترنت اشیا بر کیفیت محصول را فراهم می‌آورند در نهایت، نتایج شبیه‌سازی‌ها باید تفسیر شده و به ارائه پیشنهاداتی برای بهبود کیفیت محصول منجر شوند. اعتبارسنجی مدل پویایی‌شناسی سیستم نیز انجام می‌شود تا اطمینان حاصل شود که نتایج به‌دست‌آمده قابل اعتماد و کاربردی هستند. این روش‌شناسی به‌طور جامع و دقیق تأثیر اینترنت اشیا بر کیفیت محصول را بررسی کرده و نتایج کاربردی و مفیدی برای صنایع مختلف ارائه می‌دهد. شکل ۱ مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱. مراحل تحقیق

شرح مسئله. فناوری اینترنت اشیا یکی از نوآوری‌های کلیدی در تحول دیجیتال محسوب می‌شود که با ایجاد ارتباط میان دستگاه‌ها، تجهیزات و سیستم‌ها، امکان پایش لحظه‌ای و خودکار فرآیندها را فراهم می‌کند. این فناوری با استفاده از حسگرها، ارتباطات بی‌سیم و پردازش داده‌های بلادرنگ، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا عملکرد تجهیزات و محصولات خود را در هر زمان و مکان تحت نظارت داشته باشند. در حالی که کاربردهای اینترنت اشیا در صنایع مختلف، از تولید و حمل‌ونقل گرفته تا بهداشت و مدیریت شهری، به‌طور چشمگیری در حال گسترش است،

بسیاری از جنبه‌های اقتصادی و عملیاتی آن همچنان ناشناخته باقی مانده است. یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های اینترنت اشیا، امکان جمع‌آوری و تحلیل آنی داده‌ها است که به سازمان‌ها کمک می‌کند تصمیمات آگاهانه‌تر و مبتنی بر داده اتخاذ کنند. این ویژگی نه‌تنها موجب بهینه‌سازی عملکرد سازمان‌ها می‌شود، بلکه احتمال وقوع خطاها را کاهش داده و از هدررفت منابع جلوگیری می‌کند. برای مثال، پایش لحظه‌ای داده‌ها می‌تواند نقص‌های احتمالی در خطوط تولید را پیش از بروز مشکلات بزرگ‌تر شناسایی کرده و از افزایش ضایعات جلوگیری کند.

با این وجود، علی‌رغم مزایای بالقوه این فناوری، هنوز بسیاری از جنبه‌های اثرگذاری آن به‌طور دقیق بررسی نشده است. یکی از پرسش‌های کلیدی این است که اینترنت اشیا تا چه اندازه بر بهبود کیفیت محصولات تأثیر دارد؟ از آنجا که کیفیت محصول یکی از عوامل کلیدی در رضایت مشتریان است و رضایت مشتریان، مهم‌ترین عامل در بقای سازمان‌ها محسوب می‌شود، بررسی تأثیرات اینترنت اشیا بر این حوزه اهمیت ویژه‌ای دارد. این فناوری می‌تواند از طریق پایش دقیق فرآیندهای تولید، نظارت بر شرایط محیطی و بهینه‌سازی عملیات، کیفیت محصولات را افزایش دهد. اما این پرسش مطرح است که چه مدت‌زمانی لازم است تا این تأثیرات به‌طور ملموس در کیفیت محصول نمایان شوند؟

علاوه بر کیفیت، مدیریت ضایعات نیز یکی دیگر از موضوعات مهم در صنایع تولیدی است. میزان ضایعات در فرآیندهای تولیدی تأثیر مستقیمی بر کارایی عملیاتی، هزینه‌های تولید و پایداری زیست‌محیطی سازمان‌ها دارد. اینترنت اشیا این قابلیت را دارد که از طریق شناسایی زودهنگام مشکلات تولید، کاهش مواد معیوب و بهینه‌سازی فرآیندها، میزان ضایعات را کاهش دهد. با این حال، هنوز مشخص نیست که تا چه میزان این فناوری می‌تواند بر کاهش ضایعات اثرگذار باشد و چه مدت‌زمانی لازم است تا این تأثیرات مشهود شوند.

در نهایت، یکی از چالش‌های مهم در پیاده‌سازی اینترنت اشیا، تأثیر آن بر هزینه‌های عملیاتی سازمان‌ها است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که این فناوری با بهبود بهره‌وری، کاهش نیاز به نیروی انسانی و افزایش دقت در فرآیندها، هزینه‌های کلی سازمان را کاهش می‌دهد. با این حال، اجرای این فناوری مستلزم سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی است که ممکن است در کوتاه‌مدت هزینه‌های سازمان را افزایش دهد. بنابراین، باید بررسی نمود که آیا اینترنت اشیا موجب کاهش یا افزایش هزینه‌های عملیاتی سازمان‌ها می‌شود و چه عواملی در تعیین این تأثیرات نقش دارند؟

بنابراین، پژوهش حاضر در راستای بررسی رفتار این متغیرها به‌طور همزمان و در تعامل با یکدیگر و با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها تدوین شده است تا به‌صورت جامع و دقیق به تأثیرات فناوری اینترنت اشیا در صنعت بپردازد.

فرضیه پویا. با توجه به مطالعات صورت گرفته در این زمینه، فرضیه پویا که مبنای مدل‌سازی رفتار سیستم است، بدین شرح می‌باشد: پذیرش فناوری اینترنت اشیا در یک فرآیند پویا و تکاملی انجام می‌شود. این فرآیند معمولاً مراحل مختلفی را طی می‌کند. ابتدا، پذیرش فناوری به دلیل هزینه‌های اولیه بالا، نیاز به آموزش و زیرساخت‌ها، و مقاومت سازمانی در برابر تغییر، به صورت کند و تدریجی پیش می‌رود. در این مرحله، تنها تعداد کمی از افراد یا سازمان‌ها به استفاده از این فناوری روی می‌آورند. اما با گذشت زمان و با افزایش تعداد تجهیزات و تنوع سنسورها، پذیرش فناوری سریع‌تر می‌شود. در این مرحله، بسیاری از سازمان‌ها و افراد برای بهره‌برداری از مزایای اینترنت اشیا وارد عمل می‌شوند و رشد پذیرش شتاب می‌گیرد. در نهایت، به دلیل محدودیت‌های عملیاتی و موانع خارجی (مانند محدودیت‌های قانونی، فرهنگی یا اقتصادی)، سرعت پذیرش کاهش می‌یابد و نرخ پذیرش به سمت یک وضعیت تعادلی پیش می‌رود.

در این سیستم، دو نوع اصلی حلقه بازخورد وجود دارند که تاثیرات مختلفی در فرآیند پذیرش فناوری اینترنت اشیا دارند. اول، حلقه‌های بازخورد مثبت که به افزایش پذیرش کمک می‌کنند. حلقه‌های بازخورد مثبت که مرتبط با افزایش سنسورها و تجهیزات هستند، نقشی اساسی در تسریع روند پذیرش فناوری ایفا می‌کنند. این حلقه‌ها به‌ویژه زمانی که تعداد سنسورها و تجهیزات در سیستم افزایش می‌یابد، تأثیرات قابل توجهی در رشد پذیرش فناوری دارند.

افزایش تعداد سنسورها و تجهیزات در یک سیستم اینترنت اشیا به طور مستقیم به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت خدمات منجر می‌شود. این مزایا باعث می‌شود که سازمان‌ها و کاربران بیشتری به پذیرش فناوری اینترنت اشیا تمایل پیدا کنند. این فرآیند به‌طور مداوم در یک حلقه بازخورد مثبت تکرار می‌شود، به‌طوری‌که پذیرش بیشتر باعث افزایش سرمایه‌گذاری و گسترش زیرساخت‌ها می‌شود، که خود

به افزایش تعداد سنسورها و تجهیزات جدید می‌انجامد. دوم، حلقه‌های بازخورد منفی هستند. افزایش هزینه‌های نصب و اجرای اینترنت اشیا می‌تواند تأثیر منفی بر کیفیت محصول و عملکرد سازمان داشته باشد. همچنین هرچه سازمان بیشتر به سیستم‌های خودکار اینترنت اشیا برای نظارت، کنترل و تصمیم‌گیری‌های فوری تکیه کند، توانایی و مهارت‌های کارکنان در تحلیل مشکلات و انجام اقدامات دستی کاهش می‌یابد. و این موارد می‌تواند در پذیرش فناوری تاثیرات متفاوتی داشته باشند.

شناسایی متغیرهای کلیدی. در مرحله اول بررسی تأثیر اینترنت اشیا بر کیفیت محصول، شناسایی متغیرهای کلیدی به عنوان یک مرحله حیاتی آغاز می‌شود. این فرآیند شامل جمع‌آوری اطلاعات اولیه از طریق مطالعه ادبیات موجود و بررسی مقالات علمی و گزارش‌های تحقیقاتی مرتبط است. با استفاده از این اطلاعات، الگوهای موفق در بهبود کیفیت محصول با کمک اینترنت اشیا شناسایی می‌شود. همچنین، برگزاری جلسات و مصاحبه‌ها با کارشناسان حوزه‌های مختلف مانند تولید و فناوری اطلاعات به شناسایی متغیرهای مؤثر کمک می‌کند. تکنیک دلفی نیز می‌تواند در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد تا به توافق جمعی در مورد متغیرهای کلیدی برسیم.

پس از جمع‌آوری نظرات و داده‌ها، تحلیل محتوای کیفی به شناسایی الگوها و روابط میان متغیرها کمک می‌کند. این تحلیل می‌تواند فهرستی از متغیرهای کلیدی را تشکیل دهد که شامل عواملی نظیر قابلیت نظارت لحظه‌ای، کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده، و هزینه‌های پیاده‌سازی باشد. در نهایت، برگزاری جلسه‌ای برای تأیید و اصلاح متغیرها با کارشناسان به شناسایی متغیرهای جدید و حذف متغیرهای غیرضروری کمک می‌کند. همچنین، تعیین اولویت متغیرها بر اساس اهمیت آن‌ها این امکان را می‌دهد که تمرکز بر روی متغیرهای تأثیرگذار و کلیدی باشد و بتوان در مراحل بعد مدل پویایی‌شناسی سیستم را پیاده‌سازی کرد. بنابراین ابتدا در جدول ۲ متغیرهای کلیدی شناسایی شده در تحقیق حاضر معرفی شده و در جدول ۳ متغیرهای درون‌زا (متغیرهایی که درون مدل هستند)، برون‌زا (متغیرهایی که بیرون مدل هستند) و متغیرهایی که در مدل مورد بررسی قرار نگرفته‌اند برای نشان دادن قلمرو و مرز مدل معرفی شده‌اند.

جدول ۲. متغیرهای کلیدی تحقیق حاضر

ردیف	متغیر	منبع	ردیف	متغیر	منبع
۱	تعداد و تنوع سنسورها	(الجادی[1] و همکاران، ۲۰۲۳)	۱۶	تقاضا	(جوآن، ۲۰۱۹)
۲	هزینه آموزش نیروی انسانی	(ساندریچ و جورچویچ[2]، ۲۰۱۸)	۱۷	رضایت مشتری	(بن‌دایا و همکاران، ۲۰۲۰)
۳	هزینه‌های نصب	(ساندریچ و جورچویچ، ۲۰۱۸)	۱۸	کنترل و نظارت از راه دور	(الجادی و همکاران، ۲۰۲۳)
۴	هزینه‌های امنیتی	(ساندریچ و جورچویچ، ۲۰۱۸)	۱۹	تنظیمات محیط	(جوآن، ۲۰۱۹)
۵	هزینه‌های پیاده‌سازی و نگهداری زیرساخت‌های اینترنت اشیا	(ساندریچ و جورچویچ، ۲۰۱۸)	۲۰	تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیا و مصرف انرژی	(الجادی و همکاران، ۲۰۲۳)
۶	هزینه‌های نظارت و کنترل کیفیت	(ساندریچ و جورچویچ، ۲۰۱۸)	۲۱	سرمایه‌گذاری بر استفاده از تکنولوژی اینترنت اشیا	(جوآن، ۲۰۱۹)
۷	هزینه‌های انرژی	(ساندریچ و جورچویچ، ۲۰۱۸)	۲۲	بهبود کیفیت و نگهداری	(بن‌دایا و همکاران، ۲۰۲۰)
۸	سطح آموزش کارکنان	(بن‌دایا[3] و همکاران، ۲۰۲۰)	۲۳	شناسایی به موقع مشکلات	(بن‌دایا و همکاران، ۲۰۲۰)
۹	بودجه بهبود کیفیت و آموزش	(بن‌دایا و همکاران، ۲۰۲۰)	۲۴	چرخه عمر تجهیزات	(جوآن، ۲۰۱۹)
۱۰	نیاز به امنیت در اینترنت اشیا	(جوآن[4]، ۲۰۱۹)	۲۵	کیفیت نهایی محصول	(جوآن، ۲۰۱۹)
۱۱	کیفیت زیرساخت‌ها	(بن‌دایا و همکاران، ۲۰۲۰)	۲۶	هزینه‌های غیرضروری و ضایعات	(ساندریچ و جورچویچ، ۲۰۱۸)
۱۲	وابستگی به اتوماسیون	(بن‌دایا و همکاران، ۲۰۲۰)	۲۷	شناسایی به‌موقع مشکلات	(بن‌دایا و همکاران، ۲۰۲۰)
۱۳	سرعت انتقال داده‌ها از سنسور	(الجادی و همکاران، ۲۰۲۳)	۲۸	سرعت پاسخ‌دهی در سیستم‌های اینترنت اشیا	(الجادی و همکاران، ۲۰۲۳)
۱۴	حجم داده‌ها	(الجادی و همکاران، ۲۰۲۳)	۲۹	تعداد و حجم سفارشات	(بن‌دایا و همکاران، ۲۰۲۰)
۱۵	دستیابی به موقع به داده‌ها	(الجادی و همکاران، ۲۰۲۳)	۳۰	کیفیت عملکرد سیستم	(الجادی و همکاران، ۲۰۲۳)

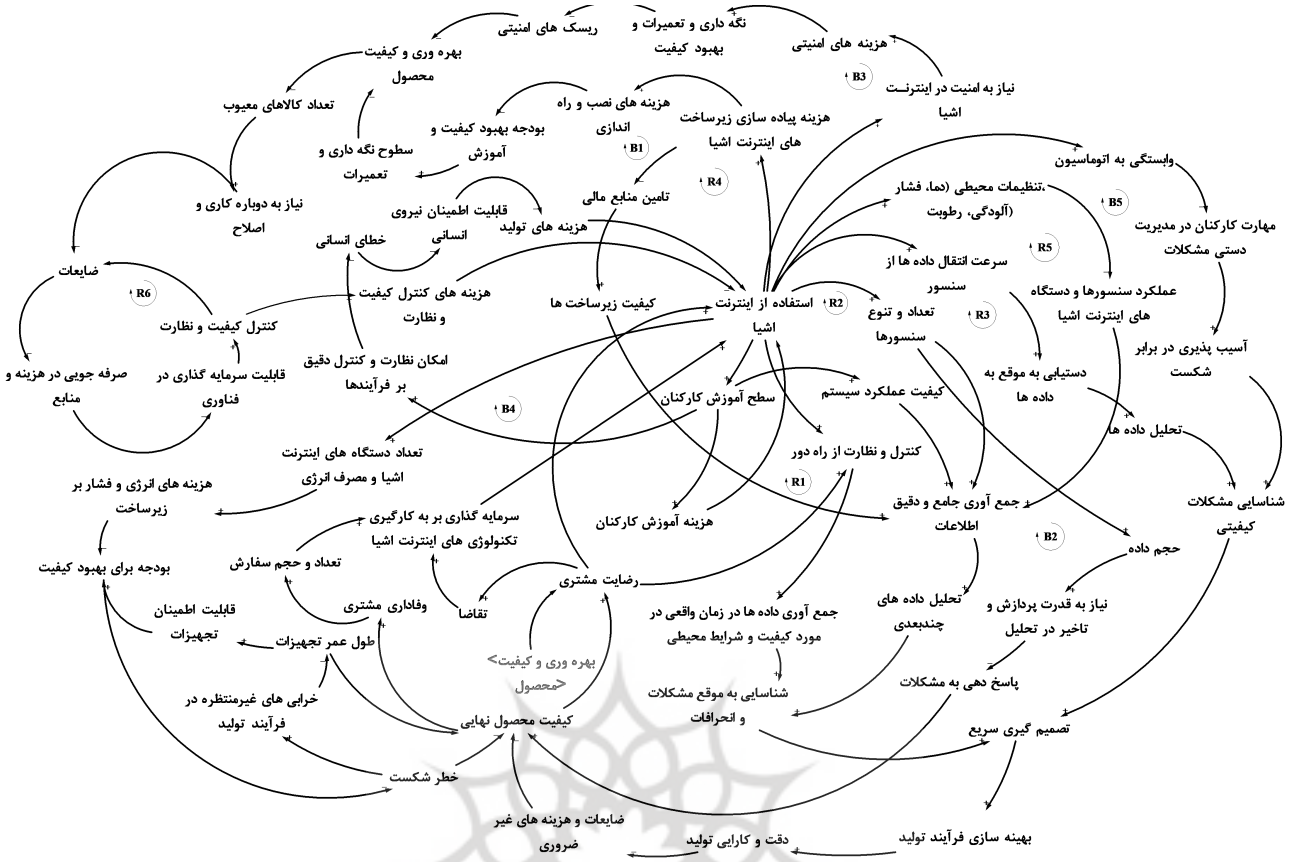
1. Aljaedi
2. Sandrić & Jurčević
3. Ben-Daya
4. Juan

جدول ۳. قلمرو مدل تحقیق حاضر

متغیر درون‌زا	متغیر برون‌زا	متغیرهایی که مدل شامل آن‌ها نیست
طول عمر تجهیزات	الزامات پردازش	نگرش عمومی نسبت به فناوری‌های نوین
رضایت مشتری	چگالی دستگاه‌های اینترنت اشیا	رسانه‌های جمعی
کنترل و نظارت از راه دور	سطح توانایی اپراتورها	تبلیغات
تعداد و تنوع سنسورها	طول عمر پایه تجهیز	قوانین و مقررات دولتی
سطح آموزش کارکنان	عوامل فردی موثر بر خطای نیروی انسانی	نگرانی‌های زیست محیطی
هزینه آموزش کارکنان	نیازمندی‌های مقیاس‌پذیری	تغییرات در ساختار شغلی نیروی انسانی
کیفیت محصول نهایی	قابلیت اطمینان نیروی انسانی	تعداد سازمان‌های مجری فناوری
ضایعات	سرمایه‌گذاری در اقدامات پیشگیرانه	میزان پذیرش فناوری توسط رقبا
استفاده از اینترنت اشیا	هزینه هر دستگاه	کیفیت اینترنت
هزینه کل پیاده‌سازی اینترنت اشیا	هزینه‌های ذخیره‌سازی	تفاوت‌های فرهنگی
نرخ پذیرش	کیفیت زیرساخت‌ها	مجوزها و استانداردهای دولتی
قابلیت اطمینان تجهیزات	وابستگی به اتوماسیون	...
خطای نیروی انسانی	...	
حجم داده‌ها و دستیابی به موقع به داده‌ها		
...		

مدل‌سازی روابط بین متغیرها. در این مرحله، روابط متغیرها به‌صورت حلقه‌های بازخوردی شبیه‌سازی می‌شوند که می‌توانند تقویت‌کننده (بازخورد مثبت) یا متعادل‌کننده (بازخورد منفی) باشند. حلقه‌های بازخورد مثبت به روندهای افزایشی منجر می‌شوند، در حالی که حلقه‌های بازخورد منفی سیستم را به سمت تعادل و پایداری سوق می‌دهند. این حلقه‌ها از طریق نمودارهای علت و معلولی و نمودارهای جریان و انباشت به نمایش درمی‌آیند تا تأثیرات تعاملات و وابستگی‌ها بر رفتار متغیرها و در نهایت، بر کل سیستم مشخص شود. به این ترتیب، پویایی‌شناسی سیستم می‌تواند به شبیه‌سازی دقیق‌تر و مدیریت بهینه سیستم‌ها در صنایع مختلف کمک کند. نمودار علی حلقوی در شکل ۲ نشان داده شده و توضیحات حلقه‌ها نیز در جدول ٤ ذکر شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲. نمودار علی حلقوی مربوط به پذیرش اینترنت اشیا

جدول ۴. توضیحات حلقه‌های نمودار علی حلقوی

نام حلقه	توضیحات
حلقه بازخوردی ۱ (R1)	قابلیت نظارت و کنترل از راه دور در اینترنت اشیا می‌تواند تأثیر بسزایی بر کیفیت محصول داشته باشد. این قابلیت ابتدا با فراهم کردن امکان نظارت مداوم بر شرایط تولید و کیفیت محصولات، داده‌های لحظه‌ای را از حسگرها جمع‌آوری می‌کند. این داده‌ها به تولیدکنندگان کمک می‌کند تا مشکلات و انحرافات را به‌سرعت شناسایی کنند. با شناسایی زودهنگام این مسائل، تصمیم‌گیری‌های سریع و اصلاحی ممکن می‌شود که به بهینه‌سازی فرآیند تولید منجر می‌گردد. در نتیجه، دقت و کارایی تولید افزایش می‌یابد و هدررفت و هزینه‌های غیرضروری کاهش می‌یابد. این بهبودها نهایتاً به کیفیت نهایی محصول کمک کرده و منجر به افزایش رضایت مشتری و وفاداری آنها می‌شود. در نهایت، این فرآیند می‌تواند به توسعه پایدار کسب‌وکار و افزایش سهم بازار منجر شود. به‌طور کلی، این حلقه علی معلولی نشان می‌دهد که چگونه نظارت و کنترل از راه دور می‌تواند کیفیت محصول را به‌طرزی مؤثر افزایش دهد.
حلقه بازخوردی ۲ (R2)	تعداد و تنوع حسگرها در سیستم‌های اینترنت اشیا تأثیر زیادی بر کیفیت محصول دارند، زیرا با افزایش تعداد حسگرها، داده‌های جامع‌تر و دقیق‌تری از فرآیند تولید جمع‌آوری می‌شود. این داده‌های متنوع امکان تحلیل بهتر و چندبعدی را فراهم می‌آورند و به شناسایی کامل‌تر مشکلات و انحرافات در کیفیت محصول منجر می‌شوند. با شناسایی سریع و دقیق مشکلات، تصمیم‌گیری‌های مؤثر و سریع‌تری صورت می‌گیرد که به بهینه‌سازی فرآیندهای تولید منجر می‌شود و در نهایت نوسانات و خطاهای تولید کاهش می‌یابد. این بهینه‌سازی‌ها کیفیت نهایی محصولات را افزایش می‌دهد و به تبع آن، رضایت مشتری و وفاداری آن‌ها را بهبود می‌بخشد و در نتیجه، جایگاه برند را تقویت کرده و سهم بازار را افزایش می‌دهد. بنابراین، این حلقه علی معلولی نشان‌دهنده تأثیر مثبت تعداد و تنوع حسگرها بر کیفیت محصولات و عملکرد کلی کسب‌وکار است
حلقه بازخوردی ۳ (R3)	سرعت پاسخ‌دهی در سیستم‌های اینترنت اشیا به‌طور مستقیم بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد و این تأثیرات در یک حلقه علی معلولی به‌خوبی نمایان است. افزایش سرعت انتقال داده‌ها از حسگرها منجر به دریافت به‌موقع داده‌ها می‌شود که امکان تحلیل سریع‌تر آن‌ها را فراهم می‌آورد. این تحلیل سریع به شناسایی سریع مشکلات کیفی کمک می‌کند و به دنبال آن، تصمیم‌گیری‌های مؤثر و اقدامات اصلاحی به‌موقع انجام می‌شود. این اقدامات می‌تواند اثرات منفی مشکلات کیفی را کاهش دهد و بهبود کیفیت نهایی محصول را به همراه داشته باشد. در نتیجه، محصولات با کیفیت بالاتر به بازار عرضه می‌شوند که به افزایش رضایت مشتری و وفاداری آن‌ها منجر می‌شود. این رضایت و وفاداری در نهایت می‌تواند به تقویت جایگاه برند و افزایش سهم بازار کمک کند. بنابراین، این حلقه نشان‌دهنده تأثیر مثبت سرعت پاسخ‌دهی بر کیفیت محصولات و عملکرد کلی کسب‌وکار است.
حلقه بازخوردی ۴ (R4)	هزینه‌های پیاده‌سازی و نگهداری زیرساخت‌های اینترنت اشیا به‌طور قابل توجهی بر کیفیت نهایی محصول تأثیر می‌گذارند و این تأثیرات را می‌توان در یک حلقه علی معلولی مشاهده کرد. هزینه‌های بالای پیاده‌سازی ممکن است منجر به محدودیت‌های مالی شود که تأثیر منفی بر کیفیت زیرساخت‌های اینترنت اشیا دارد.

نام حلقه	توضیحات
	کیفیت پایین زیرساخت‌ها به دقت و اعتبار داده‌های جمع‌آوری‌شده آسیب می‌زند و در نتیجه تحلیل داده‌ها و شناسایی مشکلات کیفی را مختل می‌کند. این شرایط می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های نامناسب در مورد بهبود کیفیت منجر شود و از اجرای مؤثر اقدامات اصلاحی جلوگیری کند. نهایتاً، این مسائل به کاهش کیفیت نهایی محصول منجر می‌شوند که در پی آن رضایت مشتری کاهش می‌یابد و بر شهرت برند و سهم بازار تأثیر منفی می‌گذارد. بنابراین، این حلقه نشان‌دهنده تأثیر منفی هزینه‌های پیاده‌سازی و نگهداری زیرساخت‌های اینترنت اشیا بر کیفیت نهایی محصول و عملکرد کلی کسب‌وکار است.
حلقه بازخوردی ۵ (R5)	تنظیمات محیطی، از جمله دما، رطوبت، فشار و آلودگی، تأثیرات قابل توجهی بر کیفیت محصولات در سیستم‌های اینترنت اشیا دارند. این متغیرها می‌توانند بر عملکرد حسگرها و دستگاه‌های اینترنت اشیا تأثیر بگذارند و منجر به تولید داده‌های نادرست شوند. کاهش دقت داده‌های جمع‌آوری‌شده، تحلیل کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد و امکان شناسایی مشکلات کیفی را کاهش می‌دهد. این امر به تصمیم‌گیری‌های نادرست در زمینه بهبود کیفیت منجر می‌شود و به تأخیر در اقدامات اصلاحی و کاهش کیفیت نهایی محصول می‌انجامد. در پی این مشکلات، رضایت مشتری کاهش یافته و وفاداری به برند آسیب می‌بیند که نهایتاً به شهرت برند و سهم بازار لطمه می‌زند. بنابراین، حلقه علی معلولی تأثیرات گسترده‌ای را از تنظیمات محیطی بر کیفیت محصولات و عملکرد کلی سیستم‌های اینترنت اشیا نشان می‌دهد.
حلقه بازخوردی ۶ (R6)	وقتی ضایعات کاهش می‌یابد، هزینه‌های تولید و مصرف منابع نیز کاهش پیدا می‌کند. این صرفه‌جویی مالی به سازمان اجازه می‌دهد که بودجه بیشتری برای ارتقاء فناوری‌ها و به‌کارگیری اینترنت اشیا اختصاص دهد. به‌علاوه، کاهش ضایعات باعث افزایش کارایی و بهینه‌سازی فرآیندها می‌شود که شرایط مناسبی برای پیاده‌سازی و گسترش اینترنت اشیا فراهم می‌آورد. با به‌کارگیری بیشتر اینترنت اشیا، سازمان می‌تواند نظارت دقیق‌تری بر فرآیندها داشته باشد و کیفیت را بهتر کنترل کند که به کاهش ضایعات بیشتر و بهبود مستمر چرخه تولید منجر می‌شود.
حلقه بازخوردی ۷ (B1)	افزایش هزینه‌های نصب و اجرای اینترنت اشیا می‌تواند تأثیر منفی بر کیفیت محصول و عملکرد سازمان داشته باشد. این هزینه‌ها اغلب فشار مالی بر منابع شرکت وارد کرده و ممکن است بودجه‌های لازم برای بخش‌های کلیدی مانند بهبود کیفیت محصول یا آموزش کارکنان را کاهش دهد. در نتیجه، کمبود بودجه در این حوزه‌ها می‌تواند منجر به کاهش سطح نگهداری، کاهش دقت در اجرای فرایندها، و افزایش نرخ خطاهای انسانی شود. این مسائل باعث افت کیفیت محصول شده و به‌طور غیرمستقیم رضایت مشتری و بهره‌وری سازمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، در یک حلقه منفی، افزایش هزینه‌های اینترنت اشیا نه تنها بهبود کیفیت را مختل می‌کند، بلکه حتی می‌تواند موجب کاهش آن شود.
حلقه بازخوردی ۸ (B2)	افزایش تعداد و تنوع حسگرهای اینترنت اشیا، اگرچه می‌تواند داده‌های جامع‌تری برای نظارت و بهبود کیفیت محصول فراهم کند، اما همچنین یک حلقه منفی بالقوه ایجاد می‌کند. با افزایش تعداد حسگرها، حجم داده‌های جمع‌آوری‌شده به‌شدت افزایش می‌یابد که نیازمند توان پردازشی و ظرفیت ذخیره‌سازی بیشتری است. این افزایش حجم داده‌ها، در صورت ناکافی بودن منابع یا عدم مدیریت صحیح، می‌تواند منجر به کندی در تحلیل داده‌ها و تأخیر در واکنش به مشکلات کیفی شود. در نتیجه، کندی در شناسایی و رفع مشکلات کیفی باعث کاهش دقت و بهنگام‌بودن اقدامات اصلاحی می‌شود و کیفیت نهایی محصول را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد.
حلقه بازخوردی ۹ (B3)	افزایش پیچیدگی‌های امنیتی در سیستم‌های اینترنت اشیا نیز می‌تواند یک حلقه منفی ایجاد کند که بر کیفیت محصول و عملکرد سازمان تأثیر منفی بگذارد. با افزایش استفاده از اینترنت اشیا، نیاز به اقدامات امنیتی قوی‌تر برای محافظت از داده‌ها و سیستم‌ها بیشتر می‌شود. پیاده‌سازی این تدابیر امنیتی هزینه‌بر و زمان‌بر است و به منابع تخصصی نیاز دارد. این هزینه‌ها ممکن است منابع مالی و انسانی سازمان را تحت فشار قرار دهد، به‌ویژه اگر بخش‌های دیگر مانند بهبود کیفیت یا نگهداری از دستگاه‌ها به دلیل افزایش بودجه امنیتی نادیده گرفته شوند. از سوی دیگر، در صورت ضعف در تدابیر امنیتی، خطر نفوذهای سایبری و دسترسی غیرمجاز به داده‌ها افزایش می‌یابد که می‌تواند باعث بروز اختلال در فرایندهای تولید و حتی آسیب به کیفیت محصول شود.
حلقه بازخوردی ۱۰ (B4)	افزایش حجم داده‌های تولیدشده توسط سیستم‌های اینترنت اشیا می‌تواند یک حلقه منفی ایجاد کند که در نهایت کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هرچه تعداد حسگرها و دستگاه‌های متصل به سیستم اینترنت اشیا بیشتر شود، حجم داده‌های تولیدشده به‌صورت تصاعدی افزایش می‌یابد. این حجم بالا از داده‌ها نیازمند ظرفیت ذخیره‌سازی بیشتر و توان پردازشی قوی‌تر است که هزینه‌ها و فشار بر زیرساخت‌های داده را افزایش می‌دهد. اگر سازمان نتواند به‌موقع زیرساخت‌های لازم را برای مدیریت این حجم داده‌ها ارتقا دهد، سرعت پردازش کاهش یافته و تأخیر در تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری‌ها به وجود می‌آید. این تأخیرها در واکنش به مشکلات و نیازهای کیفی می‌تواند منجر به کاهش کیفیت محصول نهایی و نارضایتی مشتریان شود.
حلقه بازخوردی ۱۱ (B5)	وابستگی بیش از حد به اتوماسیون اینترنت اشیا می‌تواند یک حلقه منفی ایجاد کند که به مرور زمان بر کیفیت محصول اثر منفی بگذارد. هرچه سازمان بیشتر به سیستم‌های خودکار اینترنت اشیا برای نظارت، کنترل و تصمیم‌گیری‌های فوری تکیه کند، توانایی و مهارت‌های کارکنان در تحلیل مشکلات و انجام اقدامات دستی کاهش می‌یابد. این کاهش مهارت‌ها باعث می‌شود که در صورت بروز خرابی یا قطع سیستم‌های اینترنت اشیا، کارکنان نتوانند به‌سرعت و به‌طور مؤثر مشکل را شناسایی و رفع کنند. این وابستگی به اتوماسیون، سازمان را در مواجهه با خرابی‌های ناگهانی آسیب‌پذیرتر می‌کند، که می‌تواند منجر به تأخیر در فرایند تولید و در نتیجه کاهش کیفیت محصول شود

تعیین متغیرهای انباشت و جریان و ارائه نمودار مرتبط با آن. پس از شناسایی عوامل و متغیرها و همچنین شکل‌بندی روابط علت و معلولی بین آن‌ها در قالب فرضیه پویا، نمودار انباشت و جریان مطابق شکل ۳ ترسیم گردید. نمودار انباشت و جریان برای نمایش جریان‌های فیزیکی یا اطلاعاتی در مدل پویایی‌های سیستم مفید است. متغیرها در نمودار انباشت و جریان به سه دسته تقسیم می‌شوند که شامل متغیرهای انباشت (حالت)، جریان (نرخ) و کمکی می‌باشد. متغیرهای انباشت و جریان از جمله پایه‌های اساسی پویایی شناسی سیستم هستند. متغیرهای انباشت وضعیت سیستم را نشان می‌دهند و با استفاده از متغیرهای جریان به دست می‌آیند این متغیرها به صورت مستطیلی نشان داده می‌شوند و

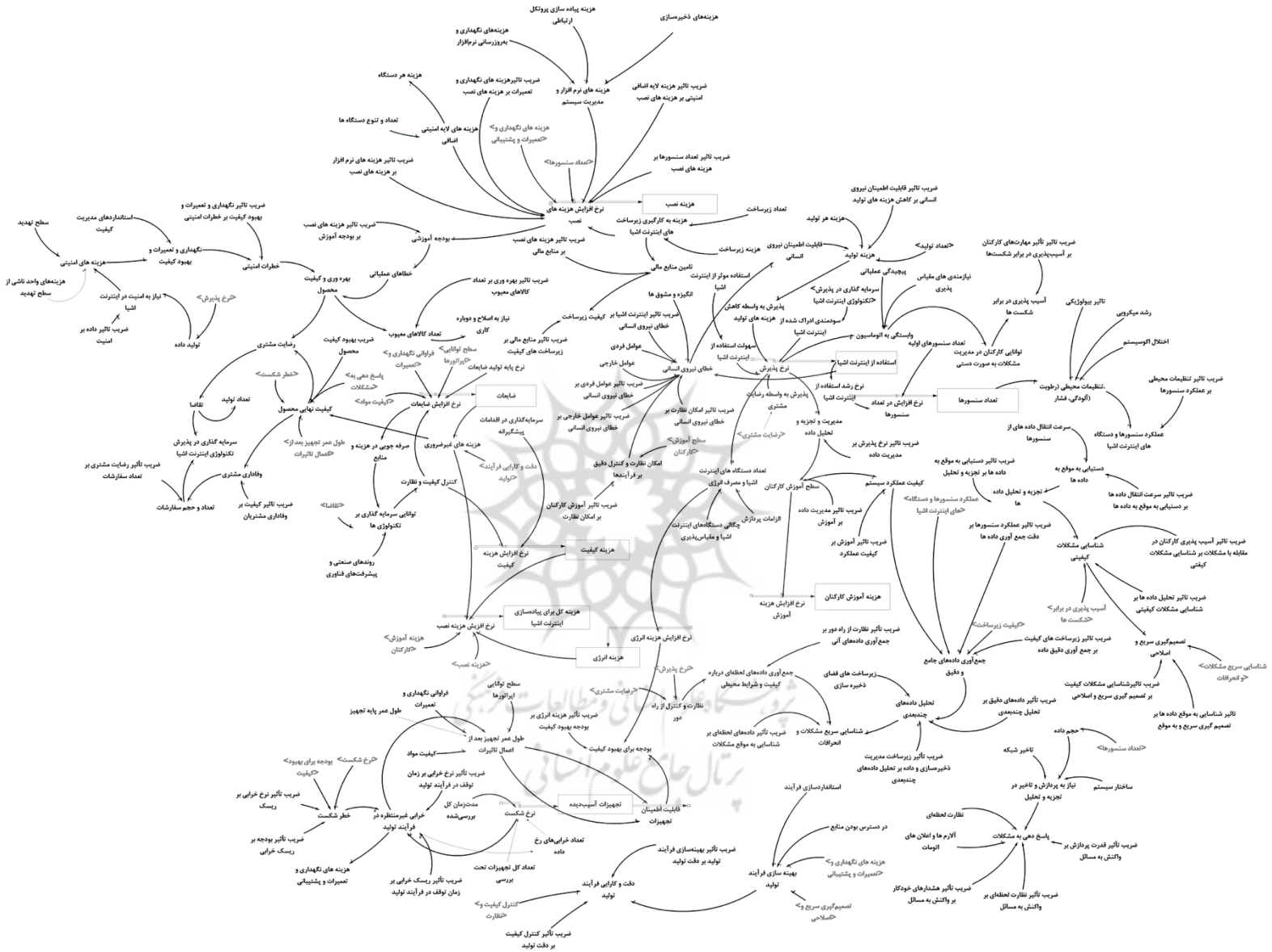
جریان‌های انباشته در آن سطح را بازنمایی می‌کنند. به عبارت دیگر، متغیرهای حالت از طریق انباشته کردن تفاوت بین جریان ورودی به یک فرآیند و جریان خروجی از آن، تاخیرها را ایجاد می‌کنند. همچنین وضعیت سیستم را مشخص کرده و اطلاعاتی را ایجاد می‌کنند که بر مبنای آن‌ها تصمیم‌گیری و اقدام می‌شود. متغیرهای جریان متغیرهایی هستند که به متغیر حالت وارد و یا خارج شده و باعث کاهش یا افزایش در آن‌ها شده و شدت جریان را نشان می‌دهند .این متغیرها در لحظه قابل اندازه‌گیری نیستند و باید در یک بازه زمانی مشخص اندازه‌گیری شوند. در انتهای هر فاصله زمانی، ارزش هر سطح مجدداً محاسبه می‌شود که به وسیله ارزش قبلی آن و نرخ‌های ورودی وخروجی به متغیر حالت در طول بازه‌ی زمانی تعیین می‌گردد. متغیرهای کمکی نیز برای راحتی در فهم مدل و وضوح بیشتر تعریف می‌شوند که می‌توان در هر زمان آن‌ها را حذف و جای آن‌ها به معادلات اضافه نمود. اما این کار تشریح و حتی اصلاح مدل را سخت می‌کند.

انباشت‌ها در این مدل (متغیرهای حالت) شامل استفاده از اینترنت اشیا، تعداد سنسورها، هزینه‌های کیفیت، هزینه‌های انرژی، هزینه‌های آموزش نیروی انسانی، هزینه اجرای اینترنت اشیا، هزینه‌های نصب و در نهایت تجهیزات معیوب هستند. متغیرهای کمکی زیادی نیز برای ترسیم نمودار انباشت-جریان مورد استفاده قرار گرفتند. تنظیمات محیطی، خطای نیروی انسانی، رضایت مشتری، سطح آموزش کارکنان، تعداد چرخه عمر تجهیزات، هزینه تولید و حجم داده نمونه‌هایی از متغیرهای کمکی هستند. همچنین تعدادی از متغیرهای ثابت در این پژوهش تأثیرگذار بر پذیرش اینترنت اشیا وجود دارند که مقادیر مرتبط با آن‌ها از خبرگان و کارشناسان بلاک‌چین و شرکت مربوطه گرفته شد. در تحقیق حاضر به‌منظور تعیین مقادیر متغیرهای ثابت و یا مقادیر اولیه برخی متغیرهای کیفی از پرسشنامه طیف پنج‌گانه لیکرت استفاده شده است. برای تعیین مقادیر برخی از متغیرهای کمی نیز از پرسشنامه‌های استاندارد و جمع‌آوری این اطلاعات از خبرگان در زمینه‌های تخصصی مختلف بکار گرفته شده و روایی و پایایی این پرسشنامه‌ها نیز تایید شده‌است. در پژوهش حاضر در بیشتر پرسشنامه‌ها که برای تعیین شاخص‌های کمی بکار گرفته شده‌اند از میانگین هندسی استفاده و در پرسشنامه‌های لیکرت از میانگین حسابی استفاده شده است (از آنجائیکه بر اساس نظر خبرگان پراکندگی زیادی بین داده‌ها در پرسشنامه لیکرت با طیف پنجگانه وجود نداشت، میانگین حسابی شاخص مرکزی مناسبی برای داده‌های این پرسشنامه در نظر گرفته شد). جدول ۵ معادلات مهم به کار رفته در نمودار انباشت - جریان را نشان می‌دهد وشکل ۳ نیز نمودار انباشت-جریان مربوط تاثیرگذاری اینترنت اشیا بر کیفیت را ارائه می‌کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۵. معادلات نمودار انباشت - جریان مدل تاثیرگذاری اینترنت اشیا بر کیفیت

ردیف	متغیر	فرمول
۱	نرخ پذیرش	(پذیرش به واسطه رضایت مشتری× پذیرش به واسطه سودمندی ادراک شده از اینترنت اشیا× پذیرش به واسطه سهولت استفاده از اینترنت اشیا)× ضریب ترکیب
۲	استفاده از اینترنت اشیا	**نرخ پذیرش** $\int$
۳	نرخ افزایش تعداد سنسورها	)نرخ رشد استفاده ازاینترنت اشیا × تعداد سنسورهای اولیه
٤	تعداد سنسورها	**نرخ افزایش تعداد سنسورها** $\int$
٥	کیفیت عملکرد سیستم	ضریب تاثیر آموزش بر کیفیت عملکرد×سطح آموزش کارکنان
٦	هزینه کیفیت	**نرخ افزایش هزینه کیفیت** $\int$
۷	هزینه های نرم افزار و مدیریت سیستم	هزینه پیاده سازی پروتکل ارتباطی+ هزینه‌های نگهداری و به‌روزرسانی نرم‌افزار +هزینه‌های ذخیره‌سازی
۸	نرخ افزایش هزینه های نصب	ضریب تاثیر هزینه های نرم افزار بر هزینه های نصب×هزینه های نرم افزار و مدیریت سیستم+تعداد سنسورها×ضریب تاثیر تعداد سنسورها بر هزینه های نصب+هزینه های لایه امنیتی اضافی×ضریب تاثیر هزینه لایه اضافی امنیتی بر هزینه های نصب
۹	تجهیزات آسیب دیده	**نرخ شکست تجهیزات — قابلیت اطمینان تجهیزات** $\int$
۱۰	نرخ شکست	$\frac{\textbf{تعداد خرابی رخ داده}}{\textbf{مدت زمان بررسی شده} \times \textbf{تعداد کل تجهیزات}}$
۱۱	خرابی غیرمنتظره در فرایند تولید	ضریب تأثیر نرخ خرابی بر زمان توقف در فرآیند تولید×نرخ شکست+ ضریب تأثیر ریسک خرابی بر زمان توقف در فرآیند تولید×خطرشکست
۱۲	دقت و کارایی فرایند تولید	ضریب تأثیر کنترل کیفیت بر دقت تولید×کنترل کیفیت و نظارت+ضریب تأثیر بهینه‌سازی فرآیند تولید بر دقت تولید×بهینه سازی فرایند تولید
۱۳	پاسخ دهی به مشکلات	آلارم ها و اعلان های اتومات×ضریب تأثیر هشدارهای خودکار بر واکنش به مسائل+نظارت لحظه‌ای×ضریب تأثیر نظارت لحظه‌ای بر واکنش به مسائل+ضریب تأثیر قدرت پردازش بر واکنش به مسائل×نیاز به پردازش و تاخیر در تجزیه و تحلیل
۱٤	هزینه آموزش کارکنان	**نرخ افزایش هزینه کا رکنان** $\int$
۱٥	هزینه کل برای پیاده سازی اینترنت اشیا	**نرخ افزایش هزینه نصب** $\int$
۱٦	نرخ افزایش هزینه نصب	هزینه های غیر ضروری+هزینه آموزش کارکنان+ هزینه نصب
۱۷	هزینه تولید	تعداد تولید× هزینه هر تولید-قابلیت اطمینان نیروی انسانی×ضریب تاثیر قابلیت اطمینان نیروی انسانی بر کاهش هزینه های تولید
۱۸	هزینه به کارگیری زیرساخت های اینترنت اشیا	هزینه هر زیر ساخت × تعداد زیرساخت
۱۹	خطای انسانی	ضریب تاثیر عوامل خارجی بر خطای نیروی انسانی ×عوامل خارجی+عوامل فردی× ضریب تاثیر عوامل فردی بر خطای نیروی انسانی
۲۰	طول عمر تجهیز پس از اعمال تأثیرات	(ضریب تأثیر فراوانی نگهداری و تعمیرات× وزن عامل نگهداری و تعمیرات+ ضریب کیفیت مواد×وزن کیفیت مواد+ ضریب سطح توانایی اپراتورها× وزن عامل توانایی اپراتور)×طول عمر پایه تجهیز
۲۱	ضایعات	**نرخ افزایش ضایعات** $\int$
۲۲	نرخ افزایش ضایعات	(۱-ضریب تأثیر فراوانی نگهداری و تعمیرات× وزن عامل نگهداری و تعمیرات+ ۱-ضریب کیفیت مواد×وزن کیفیت مواد+ ۱-ضریب سطح توانایی اپراتورها× وزن عامل توانایی اپراتور)×طول عمر پایه تجهیز



شکل ۳. نمودار انباشت - جریان مربوط به پذیرش اینترنت اشیا

خروجی‌های مدل با شبیه‌سازی روابط بین متغیرها در نرم‌افزار ونسیم در طول یک ۱۰۰ دوره بدست آمده است. تمام متغیرهای مدل بر اساس روابط متقابل آنها فرمول‌بندی شده‌اند. توابع ریاضی می‌توانند رفتار متغیرهای انباشت و جریان را توصیف کنند و تغییرات متغیرهای جریان در استنباط رفتار متغیرهای انباشت کمک می‌کند. برای فرموله کردن مدل، با بررسی ادبیات تحقیق فرمول متغیرها استخراج شد. سپس متناسب با سیستم مورد مطالعه و مصاحبه با خبرگان در بعضی از فرمول‌ها تغییراتی ایجاد و اصلاح شدند.

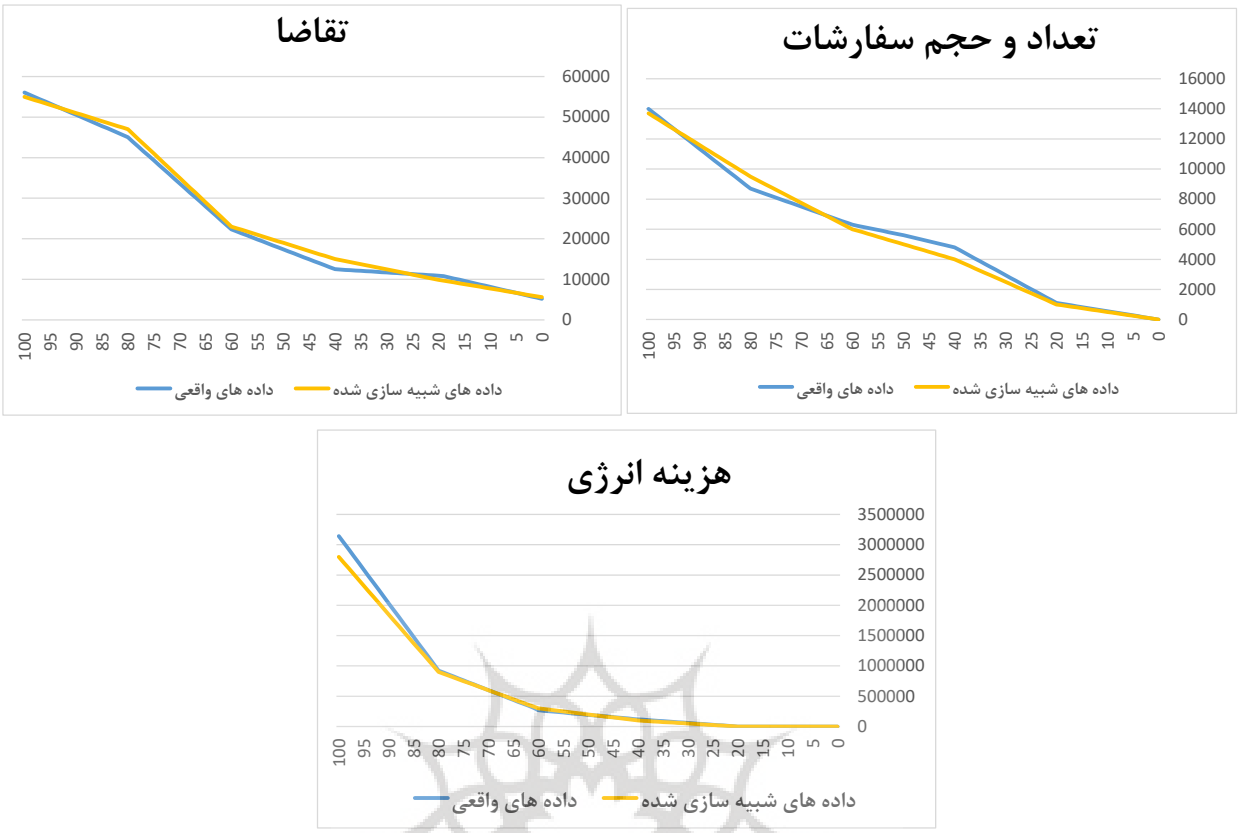
٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

اعتبار سنجی رفتار مدل. اعتبارسنجی رفتار مدل در روش پویایی‌شناسی سیستم مرحله‌ای حیاتی است که اطمینان حاصل می‌کند مدل، رفتار واقعی سیستم را به درستی شبیه‌سازی می‌کند و نتایج آن قابل اعتماد است. اعتبارسنجی مدل شامل مجموعه‌ای از آزمایش‌ها و روش‌ها است که نشان می‌دهند مدل توانایی پیش‌بینی رفتار سیستم در شرایط مختلف را دارد. این فرآیند شامل بررسی ساختار مدل، مقایسه خروجی‌های مدل با داده‌های واقعی و انجام تحلیل‌های حساسیت است.

یکی از روش‌های متداول اعتبارسنجی، مقایسه رفتار خروجی‌های مدل با داده‌های تاریخی است تا بررسی شود که آیا مدل می‌تواند الگوهای مشاهده‌شده در داده‌های واقعی را بازتولید کند یا خیر. در این پژوهش از داده‌های یک کارخانه سیمان برای اعتبارسنجی مدل توسعه‌یافته استفاده شده است. صنعت سیمان نقش مهمی در اقتصاد ایفا می‌کند که نه تنها شامل ایجاد شغل می‌شود، بلکه تولید مواد ساختمانی ضروری و حمایت از صنعت معدن را نیز در بر می‌گیرد. بنابراین، با توجه به حرکت جهان به سمت استفاده از اینترنت اشیا و بهره‌مندی از مزایای آن، صنعت سیمان باید متناسب با این تغییرات پیشرفت کند. این کارخانه با چالش‌هایی از قبیل افزایش هزینه‌های تولید، کاهش بهره‌وری و مشکلاتی در مدیریت زنجیره تأمین مواجه بوده است. ازین رو روش پیشنهادی این پژوهش در این کارخانه مورد بررسی قرار گرفت تا تاثیر پیاده‌سازی اینترنت اشیا بر کیفیت خروجی این کارخانه بررسی شود .برای اعتبارسنجی رفتار مدل در پژوهش حاضر، تست اعتبارسنجی بازتولید رفتار مدل، آزمون شرایط حدی و آزمون حساسیت انحام می‌شود .

بازتولید رفتار مدل بررسی می‌کند که مدل توانایی نشان دادن رفتاری مشابه با واقعیت را داراست یا خیر. این آزمون بازتولید الگوهای رفتاری متغیر و مدل را نیز مدنظر دارد. آزمون حساسیت نیز انجام می‌شود تا نشان دهد که تغییرات در متغیرهای ورودی چه تأثیری بر رفتار کلی مدل دارند. این آزمون به شناسایی متغیرهای بحرانی کمک می‌کند و از دقت مدل در شرایط مختلف اطمینان حاصل می‌شود. اعتبارسنجی موفقیت‌آمیز نشان می‌دهد که مدل پویایی‌شناسی سیستم می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل و بهینه‌سازی سیستم‌ها در دنیای واقعی مورد استفاده قرار گیرد. آزمون شرایط حدی یکی از روش‌های اعتبارسنجی در پویایی‌شناسی سیستم است که برای ارزیابی رفتار مدل در مواجهه با مقادیر حدی و غیرمعمول متغیرها به کار می‌رود. این آزمون بررسی می‌کند که آیا مدل در شرایط افراطی (مثل صفر یا مقدار بسیار زیاد) رفتار منطقی و پیش‌بینی‌شده‌ای دارد یا خیر. با استفاده از آزمون شرایط حدی، می‌توان اطمینان حاصل کرد که مدل تحت هر شرایطی، حتی غیرواقعی‌ترین سناریوها، به صورت قابل‌قبول و پایدار عمل می‌کند.

بازتولید رفتار مدل. این آزمون روشی برای اعتبارسنجی رفتار مدل بوده که بررسی می‌کند که مدل تا چه میزان مشابه با شرایط واقعی عمل می‌کند و می‌تواند رفتاری مانند سیستم واقعی شبیه‌سازی کند. این آزمون هدف دارد که خروجی‌های مدل شبیه‌سازی شده را با الگوهای مورد انتظار قیاس کند و از مطابقت آن اطمینان حاصل کند. در این پژوهش، پس از گردآوری داده‌های پیشین مربوط به متغیر یا متغیرهای کلیدی، مدل اجرا شده و خروجی آن با استفاده از روش‌های بصری با داده‌های واقعی مقایسه می‌شود. انجام این آزمون علاوه بر فراهم آوردن امکان بررسی و مقایسه روندها و الگوها میان داده‌های واقعی و خروجی مدل شبیه‌سازی‌شده، اعتبار مدل را افزایش داده و موجب می‌شود که از توانایی مدل برای شبیه‌سازی رفتار آینده سیستم اطمینان حاصل شود . این مطالعه به بررسی متغیرهای تقاضا، تعداد و حجم سفارشات و هزینه انرژی در ۱۰۰ دوره پرداخته است. شکل ۴ نتایج این مقایسه را نشان داده و این نمودارها بیان‌گر این است که رفتار داده‌های مدل شباهت زیادی به واقعیت داشته است.

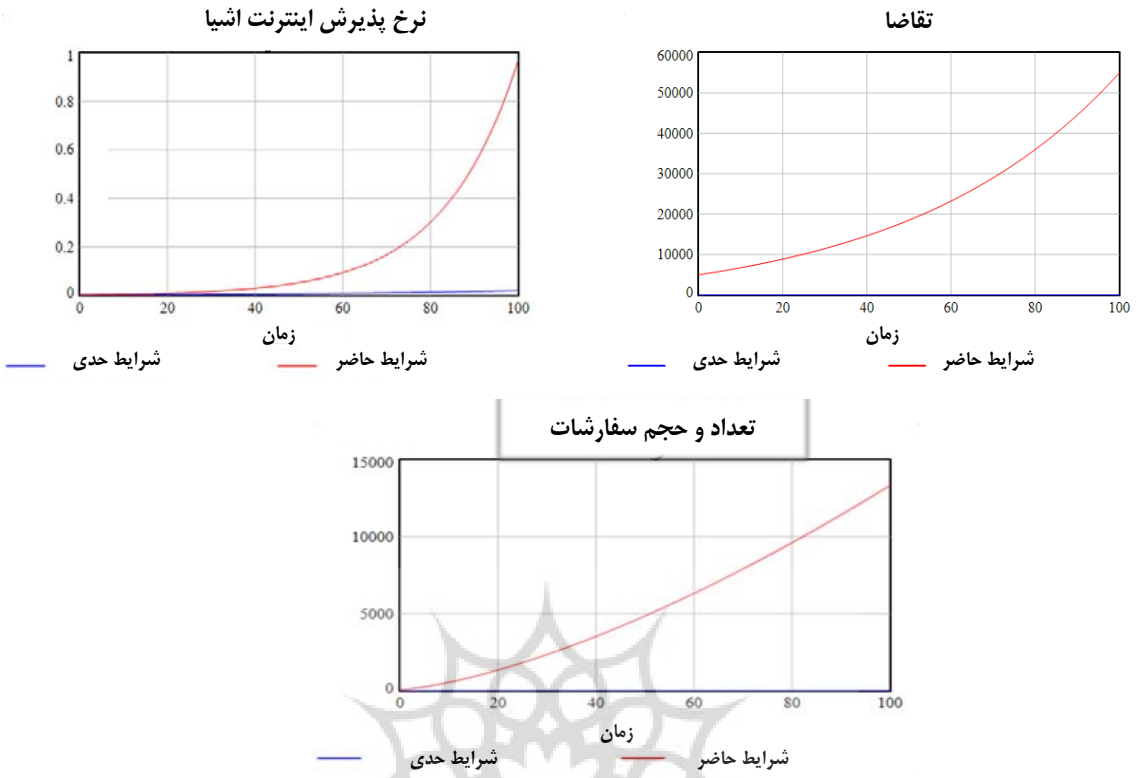


شکل ۴. نتایج آزمون بازتولید رفتار

همچنین پس از محاسبه میانگین درصد خطای مطلق[1] که یکی از روش‌های متداول محاسبه میزان خطا می‌باشد، مقدار خطای داده‌های شبیه‌سازی شده نسبت به داده‌های واقعی به ترتیب برای متغیرهای تعداد و حجم سفارشات، تقاضا و هزینه انرژی، ۹.۱۲٪، ۸.۱۳٪ و ۷.۱۹٪ است. این نسبت نشان‌دهنده این است که اعتبار مدل بیش از ۹۰٪ می‌باشد که میزان مطلوبی است.

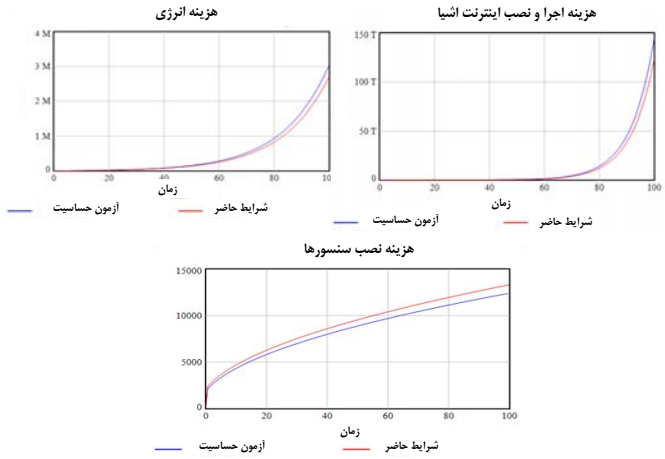
آزمون شرایط حدی. شرایط حدی مربوط به زمانی است که اگر شاخص‌های مدل به بیشترین و کمترین حد خود برسد تعادل مدل به هم نریزد و مشخص شود منطق درستی بر مدل حاکم است. این آزمون نشان می‌دهد که آیا سیستم رفتار قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهد یا خیر. در واقع مدل‌ها باید در سناریوهایی که ممکن است در واقعیت رخ ندهند، آزمون شوند و با وجود عدم وجود مشاهدات واقعی، رفتار سیستم باید به‌طور معقولی قابل پیش‌بینی باشد. این آزمون‌ها همراه با ارزیابی رفتار مدل، به عنوان ابزارهای ارزشمندی برای شناسایی نقاط ضعف مدل و ایجاد درک عمیق‌تر عمل می‌کنند. در این تحقیق، یک شرایط محدود خاص در نظر گرفته شده است، که در آن هزینه کل خطا در منابع انسانی به تقریب صفر کاهش می‌یابد. در این مطالعه، هنگامی که تقاضای کل به صفر می‌رسد، تولید به کمترین مقدار می‌رسد، سایر رفتار سیستم تحت این شرایط در شکل ۵ بررسی شده است.

1. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)



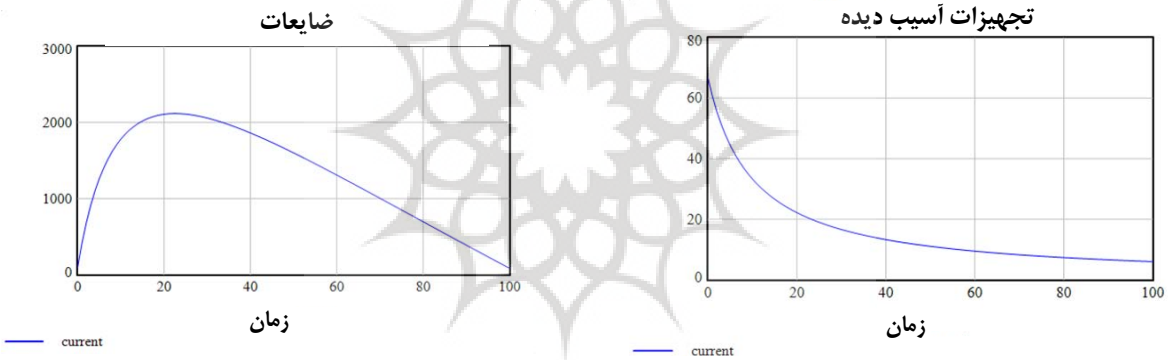
شکل ۵. نتایج حاصل از آزمون شرایط حدی

آزمون حساسیت. این آزمون بر خلاف آزمون حالت حدی، مربوط به زمانی است که تغییرات کوچک و قابل پیش‌بینی در پارامترهای مدل نباید تغییرات شدید و غیر قابل پیش‌بینی در رفتار مدل ایجاد کند. در این تحلیل با تغییر یک پارامتر یا متغیر در محدوده‌ای مشخص، تغییر رفتار مدل بررسی می‌شود تا حساسیت رفتار مدل نسبت به این پارامتر یا متغیر حساس مشخص شود. با توجه به آزمون حساسیت، تغییرات کوچک و قابل پیش‌بینی در پارامترهای مدل نباید باعث تغییرات شدید و پیش‌بینی‌نشدنی در رفتار مدل شوند. با انجام آزمون اعتبارسنجی مدل تحت شرایط معین، آزمون سازگاری ابعادی و آزمون حساسیت، مدل تأیید شده و نتایج آن از اعتبار کافی برخوردار هستند. شکل ٦ نتایج حاصل از آزمون حساسیت را نشان می‌دهند.



شکل ۶. نتایج حاصل از آزمون تحلیل حساسیت

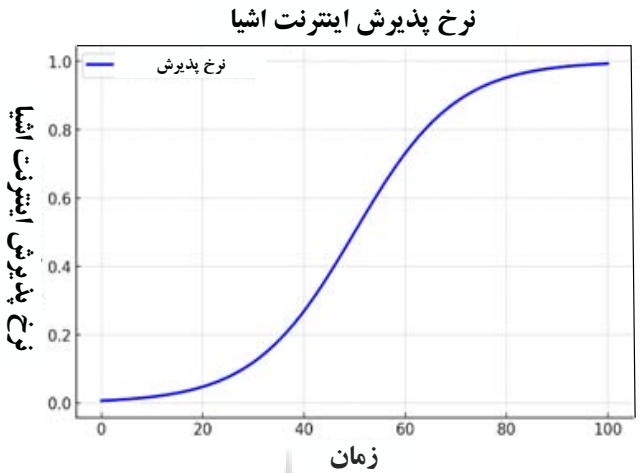
نتایج مرتبط با هزینه‌ها و نرخ پذیرش اینترنت اشیا از طریق رویکرد پویایی‌شناسی سیستم. با توجه به مدل شبیه‌سازی ارائه شده در این مطالعه، شبیه‌سازی رفتار متغیرهای ارائه شده در شکل‌های ۷ تا ۱۱ نشان داده شده است



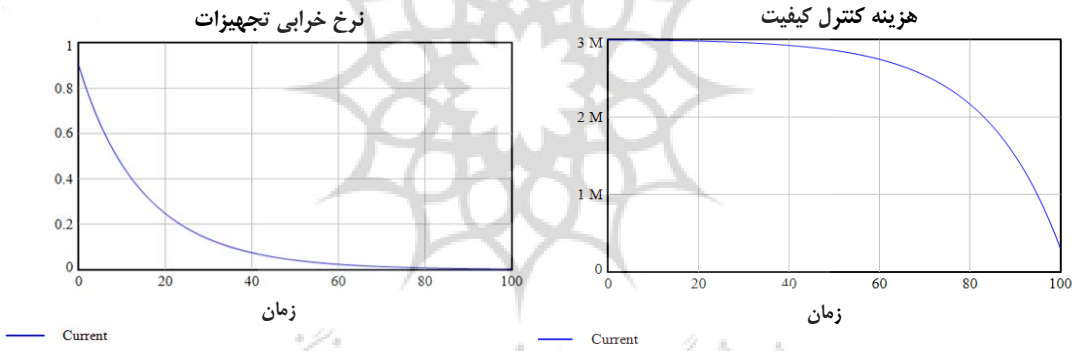
شکل ۷. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مربوط به تجهیزات خراب‌شده و ضایعات محصولات

دو نمودار در شکل ۷ نشان‌دهنده تغییرات در ضایعات محصولات و تجهیزات خراب شده در طول زمان (ماه) است. نمودار ضایعات نشان می‌دهد که ضایعات محصولات در ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به یک نقطه اوج در حدود ۲۰ ماه، به تدریج کاهش می‌یابد و به سمت صفر میل می‌کند. این روند می‌تواند ناشی از بهبود فرآیندهای تولید، یادگیری و تجربه در مدیریت ضایعات، یا پیاده‌سازی تدابیر پیشگیرانه باشد که منجر به کاهش تدریجی ضایعات در طول زمان می‌شود. این نمودار نشان‌دهنده روند کاهشی تجهیزات خراب شده است که در ماه‌های ابتدایی مقدار بالایی دارد و سپس به تدریج کاهش می‌یابد. این روند می‌تواند به دلیل اجرای برنامه‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه یا بهبود کیفیت و کارایی تجهیزات باشد که منجر به کاهش میزان خرابی‌ها در طول زمان می‌شود. به طور کلی، هر دو نمودار

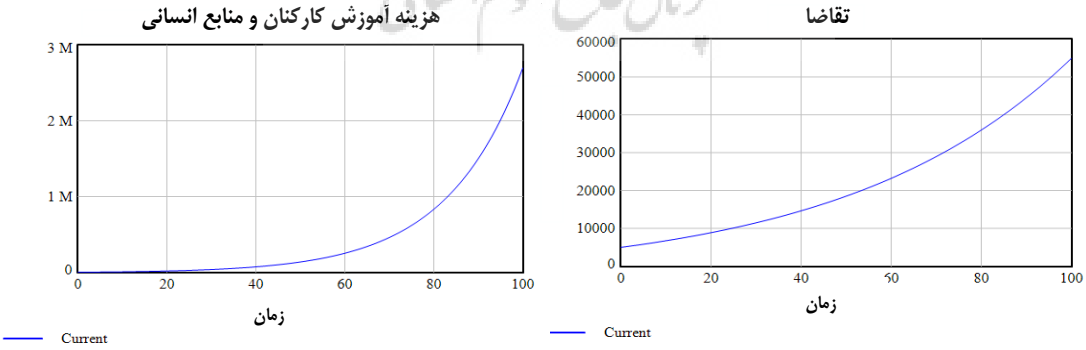
بهبود عملکرد سیستم را نشان می‌دهند؛ به‌ویژه در کاهش ضایعات محصولات و خرابی تجهیزات، که می‌تواند نتیجه سرمایه‌گذاری در نگهداری و بهینه‌سازی تجهیزات و فرآیندها باشد.



شکل ۸. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مربوط به نرخ پذیرش و هزینه اجرا و نصب اینترنت اشیا



شکل ۹. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مربوط به هزینه کنترل کیفیت و خطر خرابی تجهیزات



شکل ۱۰. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مربوط به تقاضا و هزینه آموزش نیروی انسانی

نمودار شکل ۸ نیز نشان‌دهنده نرخ پذیرش در طول زمان (روز) هستند. این نمودار روند پذیرش اینترنت اشیا را در یک مطالعه موردی برحسب زمان نشان می‌دهد. در این مطالعه، نرخ پذیرش بر اساس تعداد سنسورهای متصل به اینترنت اشیا تعریف شده است. همان‌طور که از منحنی مشاهده می‌شود، پذیرش اینترنت اشیا از یک روند لجستیک (S-شکل) پیروی می‌کند، که الگوی رایجی در فرایند انتشار فناوری‌های جدید است.

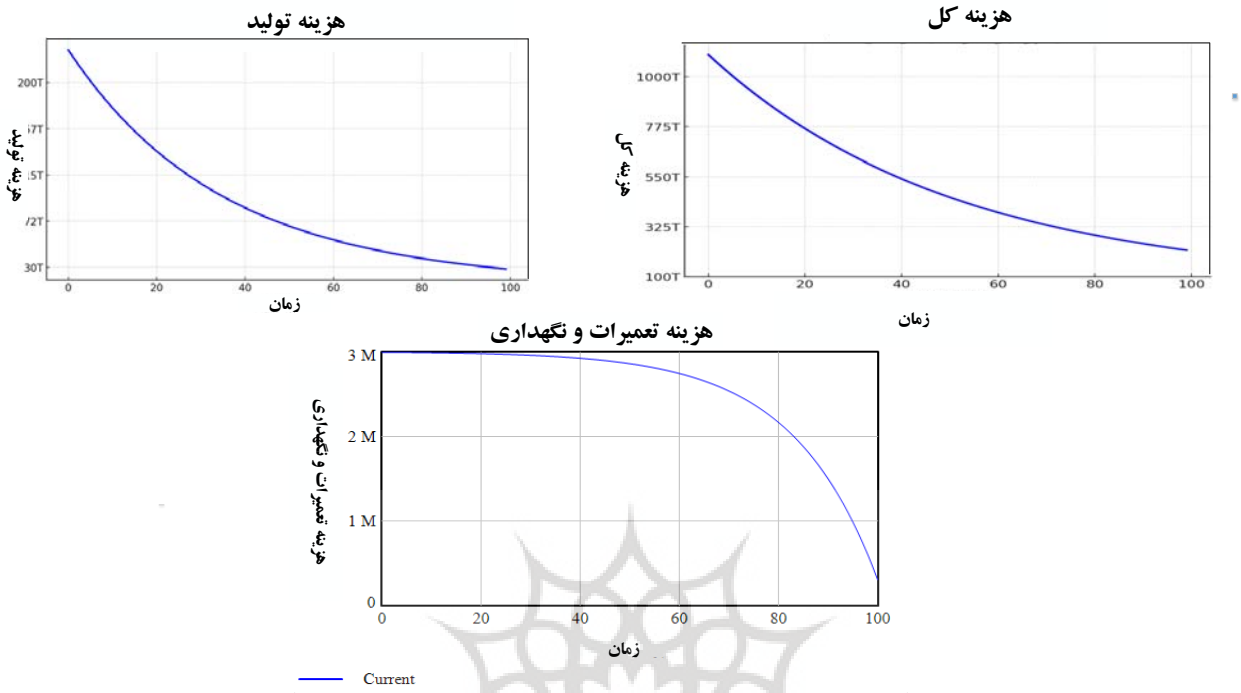
در مراحل اولیه (حدود ۰ تا ۲۰ واحد زمانی)، تعداد سنسورهای متصل بسیار کم است. این مرحله معمولاً به دوره معرفی فناوری مربوط می‌شود که در آن تنها تعداد محدودی از تجهیزات و دستگاه‌ها از اینترنت اشیا بهره می‌برند. در این دوره، هزینه بالا، محدودیت زیرساخت‌ها و نیاز به سازگاری فناوری‌ها ممکن است از دلایل رشد کند پذیرش باشند.

با گذشت زمان، در بازه ۲۰ تا ۸۰ واحد زمانی، تعداد سنسورهای متصل به اینترنت اشیا با سرعت زیادی افزایش می‌یابد. در این دوره، استفاده از تجهیزات بیشتری برای اتصال به اینترنت اشیا، بهبود زیرساخت‌ها و کاهش هزینه‌های فناوری منجر به گسترش سریع این سیستم می‌شود. هرچه تجهیزات و دستگاه‌های بیشتری به اینترنت اشیا متصل شوند، نرخ پذیرش نیز افزایش پیدا می‌کند.

در نهایت، در بازه ۸۰ تا ۱۰۰، نرخ رشد کاهش یافته و منحنی به حالت اشباع نزدیک می‌شود. این بدان معناست که بیشتر تجهیزات ممکن، به اینترنت اشیا متصل شده‌اند و ظرفیت گسترش آن در این محدوده به پایداری می‌رسد. در این مرحله، به جای تمرکز بر افزایش تعداد سنسورها، توجه بیشتری به بهینه‌سازی عملکرد، افزایش کارایی داده‌ها و مدیریت شبکه‌های اینترنت اشیا معطوف می‌شود.

دو نمودار شکل ۹، خطر خرابی تجهیزات و هزینه کنترل کیفیت را در بازه زمانی ۱۰۰ روزه نشان می‌دهند. نمودار سمت چپ نشان‌دهنده کاهش قابل توجه خطر خرابی تجهیزات در طول زمان است. در روزهای ابتدایی، خطر خرابی تجهیزات بالا است، اما به سرعت کاهش می‌یابد و پس از حدود ۲۰ روز به مقدار پایینی می‌رسد. این کاهش ممکن است به دلیل بهبود عملکرد سیستم‌ها، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه یا بهبود دانش و آگاهی کاربران باشد. این روند نشان می‌دهد که با گذشت زمان و انجام اقدامات مناسب، پایداری و عملکرد تجهیزات افزایش می‌یابد. نمودار سمت راست کاهش تدریجی هزینه‌های کنترل کیفیت را در طول زمان نشان می‌دهد. در ابتدا، هزینه کنترل کیفیت حدود ۳ میلیون دلار است، اما به مرور زمان کاهش یافته و در انتهای دوره به نزدیک صفر می‌رسد. این کاهش می‌تواند به دلیل بهبود فرآیندها، ارتقاء مهارت‌های کارمندان، افزایش کیفیت اولیه محصولات و کاهش نیاز به کنترل‌های پیوسته باشد. کاهش هزینه‌های کنترل کیفیت، نشان‌دهنده بهبود در کیفیت کلی تجهیزات و کارایی سیستم‌هاست. به طور کلی، هر دو نمودار نشان می‌دهند که با گذر زمان و اعمال مدیریت‌های لازم، خطرات خرابی و هزینه‌های مربوط به کنترل کیفیت به‌صورت مؤثری کاهش می‌یابند.

در نمودارهای ارئه شده در شکل ۱۰ که مربوط به افزایش تقاضا و هزینه‌های نیروی انسانی هستند، روندهای افزایشی مشاهده می‌شود که هر دو از اهمیت زیادی برخوردارند. این روندها نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین افزایش تقاضا و نیاز به نیروی انسانی بیشتر و در نتیجه افزایش هزینه‌های مرتبط با آن است. در این نمودار، تقاضا به‌تدریج افزایش یافته و در طول زمان به طور نمایی رشد می‌کند. این روند می‌تواند نشان‌دهنده افزایش محبوبیت محصولات یا خدمات شرکت، توسعه بازار، یا ارتقای آگاهی مشتریان نسبت به محصولات باشد. افزایش تقاضا می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی مانند تبلیغات، بهبود کیفیت محصولات، یا رفع نیازهای مشتریان به‌صورت مؤثر باشد. این افزایش تقاضا به طور طبیعی به نیروی انسانی و منابع بیشتری نیاز دارد تا بتواند پاسخگوی این حجم از تقاضا باشد. نمودار هزینه‌های نیروی انسانی نیز به‌طور مشابه به مرور زمان افزایش می‌یابد و به صورت نمایی رشد می‌کند. این افزایش هزینه‌ها ممکن است ناشی از نیاز به جذب نیروی کار بیشتر برای پاسخ به تقاضای رو به رشد باشد. همچنین، افزایش هزینه‌ها می‌تواند نتیجه افزایش حقوق و مزایا، آموزش نیروی انسانی برای بهبود کارایی و مهارت‌ها، و یا بهره‌گیری از نیروی متخصص برای مدیریت بهتر تقاضای رو به رشد باشد. به طور کلی، این دو نمودار نشان می‌دهند که با افزایش تقاضا، هزینه‌های نیروی انسانی نیز افزایش می‌یابد. این مسئله بیانگر نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد برای تأمین نیروی انسانی و کنترل هزینه‌ها است تا بتوان به شکلی پایدار به تقاضای رو به رشد پاسخ داد.



شکل ۱۱. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مربوط به رفتار هزینه‌ها

نمودارهای ارائه‌شده در شکل ۱۱ نشان‌دهنده روند کاهش هزینه‌ها در طول ۱۰۰ دوره زمانی هستند که هرکدام جنبه‌ای از هزینه‌های یک سیستم را نمایش می‌دهند.

در نمودار هزینه کل، مقدار اولیه هزینه در بالاترین سطح قرار دارد (بیش از ۱۰۰۰۰ واحد) و به تدریج با گذشت زمان کاهش می‌یابد. این روند نشان می‌دهد که در ابتدا هزینه‌های سرمایه‌گذاری، نصب، و زیرساختی قابل توجهی وجود دارد که با بهره‌برداری از سیستم و بهینه‌سازی فرآیندها کاهش پیدا می‌کند. کاهش هزینه در این نمودار به مرور زمان کندتر می‌شود که نشان‌دهنده یک نقطه اشباع در صرفه‌جویی‌های عملیاتی است. این روند معمولاً در پروژه‌های بزرگ مشاهده می‌شود که در مراحل اولیه نیاز به سرمایه‌گذاری سنگین دارند اما با گذشت زمان، هزینه‌های جاری آن‌ها کاهش می‌یابد.

نمودار هزینه تولید نیز روند مشابهی را نشان می‌دهد، با این تفاوت که دامنه تغییرات آن کمتر از هزینه کل است. هزینه تولید از حدود ۲۰۰ واحد شروع شده و به مرور کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش بهره‌وری، استفاده بهینه از منابع، کاهش هزینه‌های مواد اولیه و نیروی انسانی، یا بهبود فناوری‌های تولید باشد. شیب کاهش در این نمودار نیز در ابتدا تندتر بوده و به تدریج از شدت آن کاسته می‌شود، که نشان‌دهنده اثرات اولیه بهینه‌سازی فرآیندها و سپس رسیدن به یک حداقل نسبی در هزینه‌ها است.

در نمودار هزینه تعمیرات و نگهداری، هزینه‌های اولیه تقریباً ثابت باقی می‌مانند اما پس از گذشت یک دوره زمانی، روند کاهش پیدا می‌کند. مقدار اولیه در حدود ۳ میلیون بوده و به تدریج کاهش می‌یابد. این روند می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی باشد از جمله افزایش کارایی سیستم‌های نگهداری، کاهش خرابی‌ها، استفاده از تجهیزات با دوام‌تر، یا بهینه‌سازی فرآیندهای تعمیرات. در بسیاری از پروژه‌ها، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری در ابتدا بالا است اما با اتخاذ روش‌های پیشگیرانه و نگهداری هوشمند، این هزینه‌ها کاهش می‌یابد. به طور کلی، هر سه نمودار نشان‌دهنده روند نزولی هزینه‌ها در طول زمان هستند، که بیانگر بهینه‌سازی و کاهش هزینه‌های عملیاتی سیستم پس از گذر از

مراحل اولیه راه‌اندازی است. این روند معمولاً در پروژه‌های صنعتی، زیرساختی و فناوری‌های نوظهور دیده می‌شود، جایی که در ابتدا نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان برای توسعه، نصب، و راه‌اندازی وجود دارد، اما پس از مدتی، با بهره‌گیری از تجربه عملیاتی، بهینه‌سازی فرآیندها، و افزایش کارایی، هزینه‌های جاری به تدریج کاهش می‌یابد.

کاهش هزینه تولید و هزینه تعمیرات و نگهداری، به طور مستقیم بر کاهش هزینه کل تأثیر می‌گذارد. در ابتدا، سرمایه‌گذاری‌های لازم برای راه‌اندازی سیستم و استقرار زیرساخت‌ها باعث بالا رفتن هزینه‌های کل می‌شود، اما با گذشت زمان، سیستم به یک مرحله پایدار می‌رسد که در آن هزینه‌ها روند نزولی دارند. این کاهش می‌تواند ناشی از بهبود روش‌های تولید، استفاده از فناوری‌های کارآمدتر، افزایش طول عمر تجهیزات، و کاهش نیاز به تعمیرات اساسی باشد. در بسیاری از صنایع، به‌کارگیری استراتژی‌های نگهداری پیشگیرانه و تحلیل داده‌های عملیاتی نقش مهمی در کاهش هزینه‌های بلندمدت دارد، زیرا باعث جلوگیری از خرابی‌های ناگهانی و کاهش هزینه‌های اضطراری می‌شود.

همچنین، این روند نشان‌دهنده یک نقطه تعادل اقتصادی است که در آن سیستم به بهره‌وری بهینه دست پیدا می‌کند و هزینه‌های ثابت و متغیر به حداقل مقدار ممکن می‌رسند. در این مرحله، سازمان‌ها و صنایع می‌توانند منابع مالی خود را به بخش‌های دیگر مانند تحقیق و توسعه، ارتقای فناوری، یا بهبود کیفیت محصولات و خدمات اختصاص دهند. از این رو، تحلیل روند هزینه‌ها در چنین پروژه‌هایی برای برنامه‌ریزی استراتژیک و مدیریت منابع اهمیت زیادی دارد، زیرا به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا مسیر بهینه برای کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری را شناسایی کنند.

به طور کلی، این نمودارها تصویری از یک مسیر اقتصادی را ارائه می‌دهند که در آن، پس از سرمایه‌گذاری اولیه و گذر از دوره‌های پرهزینه، یک سیستم پایدارتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر شکل می‌گیرد. این موضوع نشان می‌دهد که در برنامه‌ریزی‌های کلان، لازم است علاوه بر هزینه‌های اولیه، روند کاهش هزینه‌ها در بلندمدت نیز مورد توجه قرار گیرد تا بتوان بهینه‌ترین مسیر مالی و عملیاتی را انتخاب کرد.

طراحی و ارزیابی سناریوها و سیاست‌های بهبود عملکرد سیستم. مدل‌های شبیه‌سازی یکی از ابزارهای اساسی برای تحلیل و ارزیابی سیاست‌های مدیریتی و بررسی تأثیر عدم‌قطعیت‌های مختلف بر عملکرد سیستم هستند. این مدل‌ها به مدیران و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کنند تا پیش از اجرای واقعی تغییرات، نتایج احتمالی آن‌ها را در محیطی کنترل‌شده بررسی کرده و بهینه‌ترین راهکار را انتخاب کنند. طراحی سناریو، یکی از روش‌های کلیدی در این فرآیند است که شامل ایجاد شرایط و فرضیات مختلف برای بررسی رفتار سیستم تحت تغییرات گوناگون می‌شود. به‌طور کلی، یک سناریو شامل مجموعه‌ای از مفروضات درباره آینده است که ممکن است تحت تأثیر عوامل داخلی و خارجی تغییر کند. در این راستا، علاوه بر طراحی سناریوها، تدوین سیاست‌های مدیریتی مناسب نیز حائز اهمیت است. سیاست‌های مدیریتی مجموعه‌ای از اقدامات اجرایی هستند که در پاسخ به سناریوهای ممکن اتخاذ می‌شوند تا عملکرد سیستم را بهبود بخشند و از بروز مشکلات ناشی از عدم‌قطعیت‌های محیطی جلوگیری کنند.

در این مطالعه، با هدف بررسی تأثیر فناوری اینترنت اشیا بر عملکرد سازمان، دو سناریوی کلیدی طراحی شده است که تأثیر میزان استفاده از اینترنت اشیا و بهبود کیفیت محصولات را بر شاخص‌های کلیدی عملکرد سازمان ارزیابی می‌کنند. این سناریوها امکان تحلیل دقیق‌تر تغییرات سیستم را در شرایط مختلف فراهم می‌کنند و به مدیران این امکان را می‌دهند که راهبردهای بهینه برای بهبود عملکرد سازمان را شناسایی کنند. علاوه بر این، سیاست‌هایی نیز برای هر سناریو تعریف شده‌اند تا نشان دهند که چگونه می‌توان با استفاده از راهکارهای مدیریتی، اثرات مثبت تغییرات پیشنهادی را افزایش داد.

تعریف و بررسی سناریوهای پیشنهادی. به منظور بررسی تأثیر استفاده از اینترنت اشیا و کیفیت محصولات بر عملکرد سیستم، دو سناریو در نظر گرفته شده است. در سناریوی اول، استفاده از اینترنت اشیا افزایش یافته است، اما کیفیت محصولات تغییری نکرده است. این سناریو برای بررسی این موضوع طراحی شده که تا چه میزان فناوری اینترنت اشیا می‌تواند به کاهش ضایعات، بهبود قابلیت اطمینان سیستم و

بهینه‌سازی فرآیندها کمک کند. در این سناریو، فرض بر این است که میزان استفاده از اینترنت اشیا در سازمان به میزان قابل‌توجهی افزایش یابد، اما کیفیت محصولات در همان سطح فعلی باقی بماند. این تغییر باعث بهبود نظارت بر فرآیندهای تولید، افزایش دقت در پیش‌بینی نیازهای تولید، و کاهش ضایعات خواهد شد. انتظار می‌رود که این سناریو منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی، بهبود مدیریت زنجیره تأمین، و افزایش قابلیت اطمینان سیستم شود.در مقابل، در سناریوی دوم، میزان استفاده از اینترنت اشیا ثابت باقی می‌ماند، اما ضریب بهبود کیفیت محصولات افزایش می‌یابد. هدف از این سناریو بررسی این نکته است که آیا بهبود کیفیت محصولات بدون افزایش فناوری‌های دیجیتال می‌تواند به نتایج مطلوب منجر شود یا خیر. در این سناریو، میزان استفاده از فناوری اینترنت اشیا ثابت نگه داشته شده، اما تمرکز بر بهبود کیفیت محصولات افزایش می‌یابد. هدف این سناریو، کاهش نرخ خرابی محصولات، افزایش رضایت مشتریان، و بهبود وفاداری مشتریان است. برای دستیابی به این هدف، سازمان اقدام به اصلاح فرآیندهای تولید، افزایش نظارت کیفی، و ارتقای استانداردهای کنترل کیفیت می‌کند. انتظار می‌رود که این سناریو منجر به افزایش درآمد سازمان، کاهش هزینه‌های بازگشت محصول، و افزایش سهم بازار شود. جدول ٦ مقدار متغیرهای کلیدی در هر سناریو را نشان می‌دهد.

جدول ٦. مقدار متغیرها در هر سناریو

نام سناریو	استفاده موثر از اینترنت اشیا	ضریب بهبود کیفیت محصولات
شرایط حاضر	۰/۷	۰/۵
سناریوی اول	۰/۹۵	۰/۵
سناریوی دوم	۰/۷	۰/۷۵

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، در سناریوی اول، میزان استفاده از اینترنت اشیا ٪۲۵ افزایش یافته است، در حالی که ضریب بهبود کیفیت محصولات ثابت باقی مانده است. این تغییرات می‌توانند به بهبود کارایی سیستم و کاهش میزان ضایعات کمک کنند. در مقابل، در سناریوی دوم، استفاده از اینترنت اشیا بدون تغییر باقی مانده، اما کیفیت محصولات ٪۲۵ افزایش یافته است که این امر می‌تواند تأثیر مثبتی بر سطح رضایت مشتریان و کاهش نرخ خرابی محصولات داشته باشد.

تعریف سیاست‌های مدیریتی برای بهبود عملکرد. در کنار طراحی سناریوها، لازم است سیاست‌هایی نیز برای افزایش کارایی سازمان در مواجهه با این شرایط تعریف شوند. این سیاست‌ها به سازمان‌ها کمک می‌کنند تا اثرات مثبت تغییرات را تقویت کنند و چالش‌های احتمالی را کاهش دهند سیاست‌های مدیریتی تعریف شده برای بهبود عملکرد سیستم در این تحقیق در جدول ۷ آمده است

جدول ۷. مقدار متغیرها در سیاست‌های مدیریتی

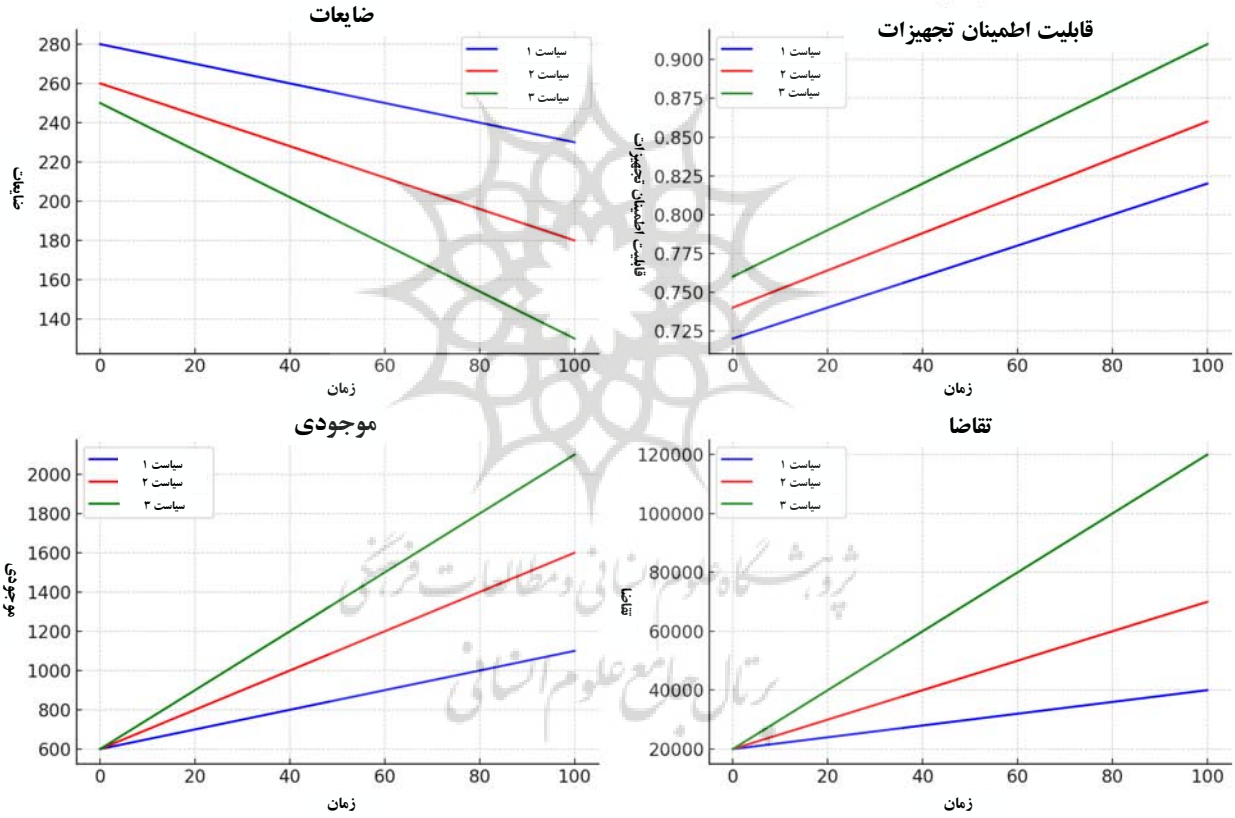
نام سیاست	توضیح	استفاده از اینترنت اشیا	ضریب بهبود کیفیت محصول
سیاست ۱	افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اینترنت اشیا برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم	۰/۹۵	۰/۵
سیاست ۲	توسعه راهکارهای بهبود کیفیت محصول از طریق بهینه‌سازی فرآیندهای تولید	۰/۷	۰/۷۵
سیاست ۳	ترکیب سیاست‌های ۱ و ۲ (استراتژی ترکیبی)	۰/۹۵	۰/۷۵

سیاست ۱: افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اینترنت اشیا: این سیاست بر توسعه و بهینه‌سازی زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات تمرکز دارد تا سازمان بتواند از مزایای اینترنت اشیا به طور کامل بهره‌مند شود. این اقدام شامل به‌روزرسانی سیستم‌های ارتباطی، استفاده از حسگرهای هوشمند و توسعه نرم‌افزارهای مدیریت داده است.

سیاست۲: بهبود فرآیندهای تولید برای افزایش کیفیت محصولات: در این سیاست، تمرکز بر بهینه‌سازی مراحل تولید، بهبود استانداردهای کنترل کیفیت، و استفاده از فناوری‌های نوین برای افزایش کیفیت نهایی محصولات است. این سیاست می‌تواند به کاهش هزینه‌های مرتبط با ضایعات و افزایش اعتماد مشتریان کمک کند.

سیاست ۳: استراتژی ترکیبی: هم‌افزایی سرمایه‌گذاری در اینترنت اشیا و ارتقای کیفیت محصول با ترکیب دو رویکرد کلیدی، یعنی افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اینترنت اشیا و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، به دنبال بهبود هم‌زمان کارایی سیستم و کیفیت محصول است. استفاده گسترده‌تر از اینترنت اشیا با مقدار ۰.۹۵ امکان نظارت دقیق‌تر، بهینه‌سازی عملیات، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش انعطاف‌پذیری را فراهم می‌آورد، درحالی‌که افزایش ضریب بهبود کیفیت محصول به ۰.۷۵ موجب ارتقای استانداردهای کیفی، کاهش ضایعات، و افزایش رضایت مشتریان می‌شود. این هم‌افزایی فناوری و بهینه‌سازی کیفیت، سازمان را قادر می‌سازد تا ضمن افزایش بهره‌وری، رقابت‌پذیری خود را در بازارهای داخلی و بین‌المللی تقویت کند.

شکل ۱۲ رفتار متغیرها در سناریوها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲. رفتار متغیرها در سیاست های مختلف

نمودارهای ارائه‌شده در شکل ۱۲ تأثیر سه سیاست مختلف را بر شاخص‌های کلیدی سیستم نشان می‌دهند. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که سیاست ۳ (استراتژی ترکیبی) در تمام ابعاد عملکرد بهتری نسبت به سیاست‌های دیگر داشته است. در نمودار ضایعات، مشاهده می‌شود که سیاست سوم (استراتژی ترکیبی) بیشترین میزان کاهش در ضایعات را نشان می‌دهد. این کاهش ناشی از به‌کارگیری فناوری‌های اینترنت اشیا برای نظارت دقیق بر فرآیندهای تولید و بهینه‌سازی آن‌ها است. سیاست دوم (بهبود فرآیندهای تولید) نیز به‌طور قابل‌توجهی میزان ضایعات را کاهش داده، اما اثر آن کمتر از سیاست ترکیبی است. در مقابل، سیاست اول (افزایش سرمایه‌گذاری در اینترنت اشیا)

به‌تنهایی تأثیر کمتری بر کاهش ضایعات داشته، چراکه بهبود کیفیت محصول به مداخلات مستقیم در فرآیند تولید نیاز دارد. در نمودار قابلیت اطمینان، سیاست سوم بالاترین رشد را در قابلیت اطمینان محصولات نشان می‌دهد. این افزایش بیانگر آن است که ترکیب اینترنت اشیا با بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، منجر به ارتقای استانداردهای کیفی و بهبود عملکرد محصولات شده است. سیاست دوم نیز تأثیر مثبتی بر قابلیت اطمینان داشته، اما سیاست اول به‌تنهایی افزایش کمتری را ایجاد کرده، زیرا صرف سرمایه‌گذاری در فناوری، بدون کنترل دقیق کیفیت، نمی‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر قابلیت اطمینان داشته باشد.

در نمودار موجودی، سیاست سوم بیشترین میزان رشد را نشان می‌دهد. این امر نشان می‌دهد که ترکیب اینترنت اشیا و بهبود فرآیندهای تولید، منجر به افزایش تولید و مدیریت بهتر موجودی شده است. سیاست اول نیز به‌واسطه بهینه‌سازی زنجیره تأمین، افزایش متوسطی در موجودی ایجاد کرده، درحالی‌که سیاست دوم تأثیر کمتری بر این متغیر داشته است. در نمودار تقاضا، سیاست سوم بیشترین میزان رشد را دارد، که نشان‌دهنده افزایش جذابیت محصولات برای مشتریان است. ترکیب فناوری و بهینه‌سازی کیفیت موجب شده که محصولات هم از نظر عملکرد و هم از نظر قابلیت اطمینان بهبود یابند، که این امر تقاضای بازار را افزایش داده است. سیاست دوم نیز موجب افزایش تقاضا شده، زیرا کیفیت بالاتر محصولات به جذب مشتریان بیشتر کمک کرده است. سیاست اول، با وجود سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناوری، کمترین اثر را بر رشد تقاضا داشته، زیرا به‌تنهایی تضمینی برای بهبود کیفیت محصول ارائه نمی‌دهد.

به‌طور کلی، سیاست سوم (استراتژی ترکیبی) به دلیل هم‌افزایی بین اینترنت اشیا و بهبود فرآیندهای تولید، تأثیرگذارترین سیاست در کاهش ضایعات، افزایش قابلیت اطمینان، بهبود مدیریت موجودی، و رشد تقاضا بوده است. این سیاست با ایجاد یک رویکرد جامع، سازمان را قادر می‌سازد تا ضمن کاهش هزینه‌های ناشی از ضایعات، محصولات باکیفیت‌تری ارائه داده و در نهایت، موقعیت رقابتی خود را در بازار بهبود بخشد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بحث این پژوهش تاثیر اینترنت اشیا را بر عملکرد صنایع از نظر کاهش ضایعات، بهبود کیفیت و مدیریت هزینه‌ها با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم بررسی کرده است. یکی از نقاط قوت این پژوهش، رویکرد پویایی‌شناسی سیستم است که امکان تحلیل رفتارهای پیچیده و بلندمدت سیستم‌های صنعتی را فراهم می‌آورد. این مدل‌سازی به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا تاثیرات اینترنت اشیا را نه تنها در کوتاه‌مدت بلکه در بلندمدت نیز ارزیابی کنند و بر اساس این ارزیابی، برنامه‌ریزی استراتژیک انجام دهند. برخلاف مدل‌های سنتی که معمولاً به تحلیل‌های استاتیک می‌پردازند، این رویکرد پویایی‌شناسی با در نظر گرفتن تغییرات زمانی، بینش عمیق‌تری از رفتار سیستم ارائه می‌دهد. در عین حال، این تحقیق محدودیت‌هایی نیز دارد که باید در نظر گرفته شود. یکی از محدودیت‌های این مدل‌سازی، پیچیدگی و دشواری جمع‌آوری داده‌های دقیق و جامع برای شبیه‌سازی است، خصوصاً در شرایطی که داده‌ها به‌صورت لحظه‌ای و در مقیاس بزرگ مورد نیاز هستند. همچنین، مدل‌سازی دینامیک سیستم‌ها نیازمند فرضیات خاصی است که ممکن است همیشه با واقعیت‌های عملیاتی مطابقت کامل نداشته باشند. به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آینده، می‌توان به گسترش این مدل به سایر صنایع و شرایط خاص اشاره کرد تا میزان تعمیم‌پذیری آن بررسی شود. به‌علاوه، استفاده از سناریوهای مختلف برای تحلیل دقیق‌تر تاثیرات اینترنت اشیا و ارزیابی ریسک‌های احتمالی می‌تواند به توسعه این مدل کمک کند.

یافته‌ها نشان می‌دهند که اینترنت اشیا می‌تواند به‌طور چشم‌گیری در بهبود کارایی و بهره‌وری صنایع نقش داشته باشد. به عنوان مثال، نتایج نشان دادند که استفاده از اینترنت اشیا در طول زمان به کاهش خرابی تجهیزات منجر می‌شود و روند کاهشی در نمودار خرابی‌ها نشان‌دهنده این است که اینترنت اشیا می‌تواند سیستم‌ها را با کاهش مکرر خرابی‌ها بهبود بخشد. علاوه بر این، کاهش ضایعات در چرخه تولید نیز نشان‌دهنده‌ی آن است که اینترنت اشیا می‌تواند به کاهش تلفات در فرآیند تولید کمک کند و بدین ترتیب تاثیر مستقیمی بر افزایش بازده و کاهش هزینه‌های غیرضروری داشته باشد. این تحقیق در مقایسه با مطالعات پیشین که عمدتاً تاثیرات اینترنت اشیا را تنها بر جنبه‌های

خاصی مانند بهره‌وری یا کاهش هزینه‌ها بررسی کرده بودند، با اتخاذ رویکردی جامع‌تر، بر هم‌زمانی و تعامل چندین پارامتر کلیدی عملکردی تمرکز کرده است. به طور خاص، تاکنون مطالعات کمی به این موضوع پرداخته‌اند که اینترنت اشیا چگونه می‌تواند بر جنبه‌های مختلف از جمله ضایعات، کیفیت و هزینه‌ها به صورت همزمان تاثیر بگذارد. این تحقیق با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم، به‌طور موثری روابط پیچیده و تعاملی بین این متغیرها را شبیه‌سازی کرده و دید جامعی از تاثیرات اینترنت اشیا فراهم کرده است.

نمودارهای مربوط به افزایش اولیه هزینه‌های پیاده‌سازی و نصب نشان می‌دهند که اینترنت اشیا در مراحل اولیه اجرای خود نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجهی دارد. با این حال، در میان‌مدت و بلندمدت، این هزینه‌ها کاهش یافته و با کاهش ضایعات، خرابی‌های کمتر، و بهبود کیفیت محصول، سرمایه‌گذاری اولیه توجیه‌پذیر می‌شود. این روند کاهشی در هزینه‌های بلندمدت، که ناشی از بهبود بهره‌وری و کاهش خرابی‌هاست، اهمیت استراتژیک اینترنت اشیا را برای صنایع نشان می‌دهد؛ به طوری که اجرای آن در بلندمدت می‌تواند به صرفه‌جویی اقتصادی منجر شود وسودآوری را افزایش دهد. در صنایعی که ضایعات و خرابی‌ها بخش عمده‌ای از هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند، این کاهش هزینه‌ها می‌تواند تاثیر چشم‌گیری بر بهبود سودآوری و کاهش هزینه‌های سربار داشته باشد. از سوی دیگر، تاثیر اینترنت اشیا بر کیفیت محصولات و خدمات نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. کاهش هزینه‌های کنترل کیفیت با گذشت زمان نشان‌دهنده این است که اینترنت اشیا می‌تواند به طور مستقیم در بهبود کیفیت محصولات نقش داشته باشد. به‌عبارت دیگر، از آنجا که داده‌ها و اطلاعات بیشتری در مورد فرآیندهای تولید و عملکرد تجهیزات جمع‌آوری می‌شود، مدیران و تیم‌های کنترل کیفیت قادر خواهند بود مشکلات کیفی را پیش از بروز خطاهای جدی شناسایی کنند و اقدامات اصلاحی لازم را انجام دهند. این امر نه‌تنها کیفیت محصول را بهبود می‌بخشد بلکه به کاهش هزینه‌های ناشی از نقص‌های تولید و بازگشت محصول نیز کمک می‌کند.

در تحلیل نتایج به‌دست آمده از سناریوها، واضح است که سیاست ۳ (استراتژی ترکیبی) در مقایسه با سایر سیاست‌ها عملکرد بهتری در تمامی شاخص‌های کلیدی سیستم داشته است. این استراتژی با ترکیب فناوری اینترنت اشیا و بهبود کیفیت محصول، توانسته است کاهش قابل توجهی در هزینه‌های عملیاتی ایجاد کند و در عین حال نرخ پذیرش فناوری، رشد تولید و افزایش درآمد را بهبود بخشیده است. این نکته اهمیت هم‌افزایی این دو عامل را نشان می‌دهد، زیرا به‌تنهایی هر یک از این سیاست‌ها قادر به دستیابی به نتایج مشابه نبوده‌اند. در مقایسه با سیاست ۱ که بر اینترنت اشیا تمرکز دارد، اگرچه در کاهش هزینه‌ها و افزایش پذیرش فناوری موفق بوده، اما نتایج ضعیف‌تری در رشد تولید و درآمد نشان داده است. همچنین، سیاست ۲ که تمرکز بیشتری بر بهبود کیفیت محصول دارد، به‌رغم اینکه در بعضی شاخص‌ها مثل رشد تولید بهبود یافته، اما در مقایسه با سیاست ۳ همچنان نتایج کمتری دارد. این نتایج تأکید می‌کنند که برای دستیابی به بهبود قابل‌توجه در سیستم، ترکیب استراتژی‌ها و استفاده از هم‌افزایی میان فناوری‌های نوین و بهبود کیفیت محصول می‌تواند منجر به نتایج بهتر و پایدارتر شود. بنابراین، پیاده‌سازی سیاست‌های ترکیبی می‌تواند در بلندمدت به افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم کمک کند.

با این حال، اجرای این استراتژی ترکیبی نیازمند سرمایه‌گذاری‌های اولیه در زیرساخت‌های فناوری و تولید است، که ممکن است چالش‌هایی را در پی داشته باشد. از این رو، لازم است در مطالعات آینده، میزان تأثیر این استراتژی‌ها در صنایع مختلف و مقیاس‌های بزرگ‌تر بررسی شود تا امکان به‌کارگیری این سیاست‌ها در شرایط مختلف نیز ارزیابی گردد. به این ترتیب، تحلیل دقیق‌تر و مقایسه نتایج مختلف به شفاف‌سازی و درک بهتر از مزایای استراتژی‌های ترکیبی کمک می‌کند و می‌تواند راهگشای پیاده‌سازی سیاست‌های موفق در عمل باشد. در مجموع، این مطالعه با ارائه یک رویکرد جامع و سیستماتیک به بررسی اثرات اینترنت اشیا پرداخته است و می‌تواند به عنوان مبنایی برای تحقیقات بیشتر و توسعه کاربردهای اینترنت اشیا در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این تحقیق برای سیاست‌گذاران و مدیران صنایع که به دنبال بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها هستند، می‌تواند کاربردی و ارزشمند باشد.

نتیجه‌گیری. این پژوهش به تحلیل تأثیر اینترنت اشیا بر عملکرد صنایع از جنبه‌های مختلف، از جمله کاهش ضایعات، بهبود کیفیت و مدیریت هزینه‌ها می‌پردازد. این تحقیق به‌ویژه بر اهمیت و توانمندی‌های اینترنت اشیا در ارتقاء بهره‌وری و کارایی صنایع تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه این فناوری می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کلیدی در بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی عمل کند. نتایج به‌دست‌آمده از

این تحقیق نشان می‌دهند که استفاده از اینترنت اشیا منجر به کاهش خرابی تجهیزات و بهبود فرآیندهای تولیدی می‌شود. به‌طور خاص، داده‌های گردآوری‌شده در این پژوهش نشان‌دهنده کاهش مکرر خرابی‌ها در طول زمان هستند که نشان‌دهنده تأثیر مثبت اینترنت اشیا بر عملکرد سیستم‌ها می‌باشد. این بهبود نه‌تنها باعث افزایش بهره‌وری می‌شود، بلکه به کاهش هزینه‌های مرتبط با خرابی و تعمیرات نیز کمک می‌کند. یکی دیگر از دستاوردهای کلیدی این پژوهش، تأکید بر کاهش ضایعات در چرخه تولید است. یافته‌ها نشان می‌دهند که با پیاده‌سازی اینترنت اشیا، صنایع می‌توانند تلفات در فرآیند تولید را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند. این کاهش ضایعات به‌نوبه خود منجر به افزایش بازده و کاهش هزینه‌های غیرضروری می‌شود که بهبود کیفیت و سودآوری را به همراه دارد. این تحقیق به‌نحوی جامع و کل‌نگر به بررسی تأثیرات اینترنت اشیا پرداخته است.

در مقایسه با مطالعات پیشین که معمولاً بر جنبه‌های خاصی از تاثیرات اینترنت اشیا تمرکز کرده‌اند، این تحقیق به هم‌زمانی و تعامل چندین پارامتر کلیدی عملکردی توجه کرده است. این رویکرد جامع به درک عمیق‌تری از تأثیرات و مزایای اینترنت اشیا کمک کرده و به پژوهشگران و مدیران صنایع دیدگاه تازه‌ای ارائه می‌دهد. نمودارهای مربوط به هزینه‌های اولیه پیاده‌سازی اینترنت اشیا نشان می‌دهند که اگرچه در مراحل اولیه، هزینه‌های بالایی برای نصب و راه‌اندازی این سیستم وجود دارد، اما در میان‌مدت و بلندمدت این هزینه‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این روند کاهشی ناشی از بهبود کیفیت و کاهش خرابی‌ها، نشان‌دهنده توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری اولیه در اینترنت اشیا است و می‌تواند به صرفه‌جویی اقتصادی و افزایش سودآوری منجر شود.

همچنین، تأثیر اینترنت اشیا بر کیفیت محصولات و خدمات نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که با جمع‌آوری داده‌های بیشتر از فرآیندهای تولید، مدیران می‌توانند مشکلات کیفی را قبل از بروز خطاهای جدی شناسایی کرده و اقدامات اصلاحی لازم را انجام دهند. این بهبود در کیفیت نه‌تنها هزینه‌های کنترل کیفیت را کاهش می‌دهد، بلکه منجر به کاهش نقص‌های تولید و بازگشت محصول نیز می‌شود. رویکرد پویایی‌شناسی سیستم که در این پژوهش به‌کار گرفته شده، یکی از نقاط قوت آن به شمار می‌آید. این مدل‌سازی امکان تحلیل رفتارهای پیچیده و بلندمدت سیستم‌های صنعتی را فراهم می‌آورد و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا تأثیرات اینترنت اشیا را در مدت زمان‌های مختلف ارزیابی کنند. این نوع تحلیل به‌ویژه در شرایطی که تغییرات زمانی اهمیت دارند، می‌تواند بینش عمیق‌تری از رفتار سیستم ارائه دهد. با این وجود، این تحقیق با محدودیت‌هایی نیز مواجه است. یکی از چالش‌های اصلی در مدل‌سازی دینامیک سیستم‌ها، پیچیدگی و دشواری جمع‌آوری داده‌های دقیق و جامع برای شبیه‌سازی است. به‌علاوه، فرضیات خاصی که در این مدل‌سازی به کار رفته، ممکن است همیشه با واقعیت‌های عملیاتی مطابقت نداشته باشند. این محدودیت‌ها باید در تحقیقات آینده در نظر گرفته شوند.

نتایج تحقیق نشان می‌دهند که سیاست ۳ (استراتژی ترکیبی) از نظر عملکرد در تمامی شاخص‌های کلیدی سیستم، از دیگر سیاست‌ها پیشی گرفته است. این استراتژی، که ترکیبی از سرمایه‌گذاری در فناوری اینترنت اشیا و بهبود کیفیت محصول است، نه تنها توانسته است هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد، بلکه به طور قابل توجهی نرخ پذیرش فناوری، رشد تولید و درآمد سیستم را افزایش داده است. در مقایسه با سیاست ۱ که تنها بر اینترنت اشیا تمرکز داشته و سیاست ۲ که بیشتر بر کیفیت محصول تأکید دارد، سیاست ۳ عملکرد جامع‌تری از خود نشان داده است و در تمامی ابعاد سیستم بهبودهایی ایجاد کرده است.

این نتایج تأکید می‌کنند که استراتژی‌های ترکیبی می‌توانند به‌طور مؤثری کارایی و بهره‌وری سیستم‌ها را بهبود بخشند. در حالی که سیاست‌های تک‌بعدی هرچند در بعضی شاخص‌ها مانند کاهش هزینه‌ها یا رشد تولید موفق عمل کرده‌اند، اما نتایج کلی آن‌ها در مقایسه با استراتژی ترکیبی کمتر مؤثر بوده است. به‌ویژه در ابعادی مانند پذیرش فناوری و افزایش درآمد، سیاست ترکیبی نتایج برجسته‌تری به همراه داشته است.

بنابراین، توصیه می‌شود که سازمان‌ها و تصمیم‌گیرندگان در راستای بهبود عملکرد سیستم‌های مشابه، استراتژی‌های ترکیبی را در اولویت قرار دهند. ترکیب فناوری‌های نوین با بهبودهای کیفی می‌تواند در بلندمدت منجر به نتایج پایدارتر و بهینه‌تری در تمامی ابعاد

عملکردی شود. این استراتژی می‌تواند به‌ویژه در شرایطی که منابع کافی برای پیاده‌سازی این فناوری‌ها در دسترس هستند، بسیار مؤثر باشد. در نهایت، با توجه به محدودیت‌های موجود در این مطالعه، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده، تأثیرات این استراتژی‌ها در صنایع مختلف و در مقیاس‌های بزرگ‌تر بررسی شوند تا میزان اثربخشی آن‌ها در شرایط گوناگون به‌طور دقیق‌تری ارزیابی گردد.

با توجه به اینکه تحقیق حاضر تأثیر اینترنت اشیا را بر کیفیت محصول در برخی صنایع خاص بررسی کرده است، گسترش مدل به دیگر صنایع مانند خودروسازی، کشاورزی و صنایع بهداشتی می‌تواند به تحلیل دقیق‌تر و تطبیقی تأثیرات اینترنت اشیا در محیط‌های مختلف کمک کند و به درک بهتری از نحوه کارکرد آن در صنایع مختلف دست یابد. همچنین، تحقیقات آتی می‌توانند با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین، مدل پویایی‌شناسی سیستم را تکمیل کنند. با تحلیل داده‌های وسیع و پیچیده‌ای که از دستگاه‌های متصل به اینترنت اشیا به‌دست می‌آید، می‌توان به پیش‌بینی دقیق‌تر مشکلات و بهینه‌سازی فرآیندهای تولیدی پرداخت. این ترکیب می‌تواند در بهبود دقت تصمیم‌گیری‌ها و پیش‌بینی‌های سازمانی مؤثر باشد.

از سوی دیگر، یکی دیگر از پیشنهادات برای تحقیقات آتی، بررسی تأثیرات بلندمدت پیاده‌سازی اینترنت اشیا بر پایداری سازمان‌ها است. تحقیقات در این حوزه می‌تواند به تحلیل اینکه چگونه اینترنت اشیا می‌تواند در طول زمان به بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌ها در سازمان‌ها کمک کند و نقش آن در استراتژی‌های پایداری سازمانی بررسی نماید. علاوه بر این، بررسی چالش‌های اجرایی پیاده‌سازی اینترنت اشیا در صنایع مختلف نیز می‌تواند بخشی از تحقیقات آتی باشد. مشکلاتی نظیر هزینه‌های بالا، زیرساخت‌های ناکافی، و مقاومت در برابر تغییرات می‌تواند مانع از پیاده‌سازی مؤثر این فناوری‌ها شود. همچنین، عواملی مانند نگرش عمومی نسبت به فناوری‌های نوین، رسانه‌های جمعی، تبلیغات، قوانین و مقررات دولتی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، تغییرات در ساختار شغلی نیروی انسانی، تعداد سازمان‌های مجری فناوری، میزان پذیرش فناوری توسط رقبا، کیفیت اینترنت، تفاوت‌های فرهنگی، و مجوزها و استانداردهای دولتی نیز می‌توانند در روند پذیرش و پیاده‌سازی اینترنت اشیا تأثیرگذار باشند. بنابراین، تحقیقات آتی می‌توانند راه‌حل‌هایی برای غلبه بر این چالش‌ها ارائه دهند و مسیر توسعه این فناوری راد ر صنایع مختلف هموار سازند.بنابراین، تحقیقات آتی می‌توانند راه‌حل‌هایی برای غلبه بر این چالش‌ها ارائه دهند.

در زمینه بهبود کیفیت محصول، تحقیقات آتی می‌توانند به تحلیل مقایسه‌ای مدل‌های مختلف برای بهبود کیفیت محصول در برابر مدل تحقیقاتی کنونی بپردازند. این مقایسه‌ها می‌توانند بینش‌های جدیدی درباره مزایا و معایب هر یک از مدل‌ها فراهم کنند و به صنایع کمک کنند تا بهترین رویکرد را برای بهبود کیفیت محصولات خود انتخاب کنند. در نهایت، توسعه مدل‌های یکپارچه برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری استراتژیک در سطح سازمانی، از دیگر پیشنهادات مهم است. این مدل‌ها می‌توانند به مدیران کمک کنند تا به‌طور همزمان به بهبود کیفیت محصول، کاهش هزینه‌ها، بهینه‌سازی فرآیندها و افزایش رضایت مشتریان بپردازند.

در پایان، تحقیقات آتی می‌توانند به شبیه‌سازی پیچیدگی‌های تعاملات میان اینترنت اشیا و سایر فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی، واقعیت افزوده و بلاک‌چین بپردازند. این شبیه‌سازی‌ها می‌توانند به تحلیل دقیق‌تری از تأثیرات این فناوری‌ها بر فرآیندهای تولیدی و کیفیت محصول کمک کنند و مدل‌هایی جامع‌تر و یکپارچه‌تر برای صنایع مختلف ارائه دهند.

تعارض منافع برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Aghazadeh, E., Alem Tabriz, A., & Shah Qalyan, K. (2023). Design and Explanation of a Hybrid IoT and UAV Model for Intelligent Monitoring of Industrial Equipment Performance with Edge Computing Approach (Case Study: Wind Turbines). Journal of Industrial Management Perspective, 13(4), 149-178. (in Persian).

2. Ahadiani, M., Masoudi, O., Malaek, S. M. B., & Majidi gahroudi, N. (2022). Modeling the safe and secure use of the Internet of Things in the management of Iran's aviation industry. *Emergency Management*, *11*(1), 163-175. (in Persian).
3. Ahmad, S., Badwelan, A., Ghaleb, A. M., Qamhan, A., Sharaf, M., Alatefi, M., & Moohialdin, A. (2018). Analyzing critical failures in a production process: Is industrial IoT the solution?. *Wireless Communications and Mobile Computing*, *2018*(1), 6951318.
4. Ahmed, M., Abdou, M. Y. K., & Elnagar, A. M. (2022). The impact of implementing the Internet of Things (IoT) on customer satisfaction: evidence from Egypt. *Journal of Association of Arab Universities for Tourism and Hospitality*, *22*(2), 365-380.
5. Aljaedi, A., Siddique, S., Satti, M. I., Alharbi, A. R., Alotaibi, M., & Usman, M. (2023). Underpinning Quality Assurance: Identifying Core Testing Strategies for Multiple Layers of Internet-of-Things-Based Applications. *Sustainability*, *15*(22), 15683.
6. Al-Khatib, A. W. (2023). The impact of industrial Internet of things on sustainable performance: the indirect effect of supply chain visibility. *Business Process Management Journal*, *29*(5), 1607-1629.
7. Atefi, M. R., Radfar, R., & Asgharizade, E. (2021). A System Dynamics Model for Balanced Performance Evaluation of A LARG Supply Chain. *Journal of Industrial Management Perspective*, *11*(4), 253-290. (in Persian).
8. Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2017). System dynamics. *Modelling and Simulation*, *274*.
9. Bastan, M., Abbasi, E. , Ahamadvand, A. and Ramazani K, R. (2018). A Simulation Model of Mobile Banking Acceptance by Bank Customers Using the System Dynamics Approach. *Industrial Management Studies, 16(*50), 257-284. (in Persian).
10. Bastan, M., Zarei, M. and Ahmadvand, A. M. (2020). Building Information Modeling Adoption Model in Iran. *Journal of Industrial Management Perspective, 10*(1), 9-39. (in Persian).
11. Bastan, M., Zarei, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2022). A new technology acceptance model: a mixed-method of grounded theory and system dynamics. *Kybernetes, 51*(1), 1-30.
12. Ben-Daya, M., Hassini, E., Bahroun, Z., & Banimfreg, B. H. (2020). The role of internet of things in food supply chain quality management: A review. *Quality management journal*, *28*(1), 17-40.
13. Bures, M., Cerny, T., & Ahmed, B. S. (2018, June). Internet of things: Current challenges in the quality assurance and testing methods. In *International conference on information science and applications* (pp. 625-634). Singapore: Springer Singapore.
14. Dewanti, D., & Singgih, M. L. (2019). Cost Analysis for IoT Based Condition Based Maintenance to Increase Productivity. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (5), 434-440.
15. Dias, R. M., Marques, G., & Bhoi, A. K. (2020, March). Internet of things for enhanced food safety and quality assurance: A literature review. In *International Conference on Emerging Trends and Advances in Electrical Engineering and Renewable Energy* (pp. 653-663). Singapore: Springer Nature Singapore.
16. Ding, S., Ward, H., Cucurachi, S., & Tukker, A. (2023). Revealing the hidden potentials of Internet of Things (IoT)-An integrated approach using agent-based modelling and system dynamics to assess sustainable supply chain performance. *Journal of Cleaner Production*, *421*, 138558.
17. Ding, S., Ward, H., & Tukker, A. (2023). How Internet of Things can influence the sustainability performance of logistics industries–A Chinese case study. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, *6*, 100094.
18. Espinoza, H., Kling, G., McGroarty, F., O'Mahony, M., & Ziouvelou, X. (2020). Estimating the impact of the Internet of Things on productivity in Europe. *Heliyon*, *6*(5).
19. Emroozi, V. B., Modares, A., & Roozkhosh, P. (2022). Presenting an efficient scenario to deal with the prevalence of COVID-19 disease using a system dynamics approach in Iran. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, *19*(3-4), 122-137.
20. Foidl, H., & Felderer, M. (2016). Data science challenges to improve quality assurance of Internet of Things applications. In *Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation: Discussion, Dissemination, Applications: 7th International Symposium, ISoLA 2016, Imperial, Corfu, Greece, October 10-14, 2016, Proceedings, Part II 7* (pp. 707-726). Springer International Publishing.
21. Hosseinpour, M., Krimi, H., Bakhsham, M., & Khodaei, A. (2021). Identify and Prioritize Internet of Things Technological Applications on Hospital Quality Management Using a Structural Interpretive Approach. *Journal of healthcare management, 4*(11), 45-56. (in Persian).
22. Jesse, J. (2019). Quality Assurance for Internet of Things (IoT) Applications: Approaches, Tools, and Challenges. *Revista de Inteligencia Artificial en Medicina*, *10*(1), 329-341.

23. Jelokhani-niaraki, S. & Javanrouh, A. (2020). Application of IoT technology to increase the productivity of dairy industry. *Animal Science and Technology, 8*(33), 25-40. (in Persian).
24. Juan, A. (2019). Quality Assurance for Internet of Things (IoT) Systems: Ensuring Security, Reliability, and Performance. *Revista de Inteligencia Artificial en Medicina*, *10*(1), 342-353.
25. Khodkari, H., Maghrebi, S., & Branch, R. (2016). Necessity of the integration Internet of Things and cloud services with quality of service assurance approach. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, *85*(1), 434-445.
26. Liu, Y., Han, W., Zhang, Y., Li, L., Wang, J., & Zheng, L. (2016). An Internet-of-Things solution for food safety and quality control: A pilot project in China. *Journal of Industrial Information Integration*, *3*, 1-7.
27. Ly, P. T. M., Lai, W. H., Hsu, C. W., & Shih, F. Y. (2018). Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change*, *136*, 1-13.
28. Maghsoudi, M., & Nezafati, N. (2023). Navigating the acceptance of implementing business intelligence in organizations: A system dynamics approach. *Telematics and Informatics Reports*, *11*, 100070.
29. Mahmud, S. H., Assan, L., & Islam, R. (2018). Potentials of internet of things (IoT) in Malaysian construction industry. *Annals of emerging technologies in computing (AETiC), Print ISSN*, 2516-0281.
30. Modares, A., Farimani, N. M., & Abdari, K. (2023). Evaluating the implementation cost of blockchain in organizations through system dynamics. *Journal of Systems Thinking in Practice*, *2*(4), 78-104.
31. Modares, A., Kazemi, M., Emroozi, V. B., & Roozkhosh, P. (2023). A new supply chain design to solve supplier selection based on internet of things and delivery reliability. *Journal of Industrial and Management Optimization*, *19*(11), 7993-8028.
32. Modares, A., Pooya, A., Emroozi, V. B., & Roozkhosh, P. (2024). Presenting a new model for evaluating the factors affecting equipment reliability using system dynamics. *Quality and Reliability Engineering International*.
33. Mohammadi, H., Zargar, M., Vakil Alroaia, Y. & Hematian, H. (2022). Investigating the Effect of Internet of Things on Human Resource Development and Training in the Organization (Case Study: State Airlines). *Journal of Managing Education in Organizations, 11*(1), 99-118. (in Persian).
34. Mostafa, N., Hamdy, W., & Alawady, H. (2019). Impacts of internet of things on supply chains: a framework for warehousing. Social sciences, 8(3), 84.
35. Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. (2018). The role and impact of Industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain—the case of Hungary. *Sustainability*, *10*(10), 3491.
36. Nazarian Jashnabadi, J., Pooya, A., & Bagheri, R. (2023). Provide a Model for Budget Policy in University-Community Communication Programs with a System Dynamics Approach (Case Study: Ferdowsi University of Mashhad). Journal of Industrial Management Perspective, 13(1), 9-40. (in Persian).
37. Rasekhi, F., & Babaie, S. (2024). A new multi-hop clustering algorithm based on iterative delay to enhance QoS for Internet of Things. *Signal and Data Processing, 21*(1), 3-14. (in Persian).
38. Ratna, V. V. (2020). Conceptualizing Internet of Things (IoT) model for improving customer experience in the retail industry. *International Journal of Management*, *11*(5).
39. Ronaghi, M., & Hosseini, F. (2018). Identifying and Ranking Internet of Things Services in Healthcare Sector. Journal of Health Administration, 21(73), 106-117. (in Persian).
40. Roozkhosh, P., Pooya, A., Modares, A., & Bafandegan Emroozi, V. (2024). Exploring the adoption and long-term effects of ChatGPT in a sustainable supply chain. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 1-37.
41. Roozkhosh, P., Pooya, A., & Agarwal, R. (2023). Blockchain acceptance rate prediction in the resilient supply chain with hybrid system dynamics and machine learning approach. *Operations Management Research, 16*(2), 705-725.
42. Sandrić, B., & Jurčević, M. (2018, April). Metrology and quality assurance in internet of things. In *2018 First International Colloquium on Smart Grid Metrology (SmaGriMet)* (pp. 1-6). IEEE.
43. Sassanelli, C., & Pacheco, D. A. D. J. (2024). The impact of the internet of things on the perceived quality and customer involvement of smart product-service systems. *Technological Forecasting and Social Change*, *198*, 122939.
44. Soori, M., Jough, F. K. G., Dastres, R., & Arezoo, B. (2024). Blockchains for Industrial Internet of Things in Sustainable Supply Chain Management of Industry 4.0, A Review. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 100026.
45. Taherizadeh, S., & Stankovski, V. (2017, July). Quality of Service Assurance for Internet of Things Time-Critical Cloud Applications: Experience with the Switch and Entice Projects. In *2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)* (pp. 289-294). IEEE.
46. Tang, C. P., Huang, T. C. K., & Wang, S. T. (2018). The impact of Internet of things implementation on firm performance. *Telematics and Informatics*, *35*(7), 2038-2053.

47. Togneri, R., Camponogara, G., Soininen, J. P., & Kamienski, C. (2019, November). Foundations of data quality assurance for IoT-based smart applications. In *2019 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)* (pp. 1-6). IEEE.
48. Tu, M. (2018). An exploratory study of Internet of Things (IoT) adoption intention in logistics and supply chain management: A mixed research approach. *The International Journal of Logistics Management*, *29*(1), 131-151.
49. Oke, A. E., Arowoiya, V. A., & Akomolafe, O. T. (2022). Influence of the Internet of Things' application on construction project performance. *International Journal of Construction Management*, *22*(13), 2517-2527.
50. Yousefi, D., Pirannejad, A., & Jamipour, M. (2023). Investigating the Susceptibility of Human Resource Management to the Internet of Things. *Journal of Public Administration*, *15*(2), 344-363. (in Persian).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی