

Digital Twin: Embracing the Fourth Industrial Revolution in Food Supply Chain Management (A Dynamic Analysis)

Hajar Soleymanizadeh¹, Seyed Mahmood Zanjirchi^{2*}, Habib Zare Ahmadabadi³, Seyed Habibollah Mirghafoori⁴

¹ PhD Student of Industrial Management, Faculty of Economics-Management and Accounting, Yazd, Iran

² Professor of Industrial Management Department, Faculty of Economics-Management and Accounting, Yazd, Iran

³ Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics-Management and Accounting, Yazd, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics-Management and Accounting, Yazd, Iran

Received: 31 August 2024, Revised: 01 November 2024, Accepted: 25 February 2025

Paper type: Research

Abstract

Today, the food supply chain is facing various challenges, including long supply chains, complexity, uncertainty, and food waste. With the advent of advanced technologies such as digital twins, these challenges can be addressed. The aim of this study is to investigate the causal relationships between the influencing factors and the results of implementing digital twins in the food supply chain using system dynamics. A descriptive-causal approach with an application-oriented goal was employed, involving a field study among food industry experts, managers, and specialists. Data was collected from various sources such as interviews, reports, documents, and databases. System dynamics was used to analyze the causal relationships between the implementation and application of digital twins in the food supply chain. Three scenarios were considered to provide solutions for the best possible use of digital twin technology in the food industry. The findings showed that an increase in the cost of upgrading internet speed and technology infrastructure, as well as an increase in the training rate of employees, are factors that influence the creation of digital twins. However, the quality of using digital twins in the early years is not optimal due to the lack of skills and knowledge of employees and their resistance to accepting this technology. By training employees and using experts in the field of digital twin technology, employee resistance can be reduced and their understanding of the benefits of using this technology can be increased. In addition, the results showed that the implementation of digital twins can improve product quality, increase consumer willingness to purchase, and reduce the total cost of the product in the long term.

Keywords: Supply Chain, Fourth Industry, Digital Twin, System Dynamics, Food Industry, Technology Deployment.

* Corresponding Author's email: zanjirchi@yazd.ac.ir

دوقلوی دیجیتال: تبلور انقلاب صنعتی چهارم در مدیریت زنجیره تأمین مواد غذایی (تحلیلی پویا)

هاجر سلیمانی‌زاده^۱، سید محمود زنجیرچی^{۲*}، حبیب زارع احمدآبادی^۳، سید حبیب‌الله میرغفوری^۴

^۱ دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد- مدیریت و حسابداری، یزد، ایران

^۲ استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد- مدیریت و حسابداری، یزد، ایران

^۳ دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد- مدیریت و حسابداری، یزد، ایران

^۴ دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد- مدیریت و حسابداری، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰ تاریخ بازبینی: ۱۴۰۳/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۷

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

امروزه زنجیره تأمین مواد غذایی با چالش‌های مختلفی از جمله طولانی بودن مسیر در زنجیره مواد غذایی، پیچیدگی، عدم قطعیت و ضایعات مواد غذایی مواجه است. با ظهور فناوری‌های پیشرفته، از جمله فناوری دوقلوی دیجیتال، می‌توان به این چالش‌ها پرداخت. هدف از این مطالعه بررسی روابط علت و معلولی بین عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی با استفاده از پویایی سیستم است. یک رویکرد توصیفی- علی با هدف کاربردی محور، شامل بررسی میدانی بین کارشناسان، مدیران و متخصصان صنایع غذایی به کار گرفته شد. داده‌ها از منابع مختلف از جمله مصاحبه، گزارش، اسناد و پایگاه‌های داده جمع‌آوری شده است. از پویایی سیستم برای تجزیه و تحلیل روابط علت و معلولی استقرار و کاربرد دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی استفاده شد. سه سناریو برای ارائه راهکارهایی برای بهترین استفاده ممکن از فناوری دوقلو دیجیتال در صنایع غذایی مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد افزایش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری و همچنین افزایش نرخ آموزش کارکنان از عوامل مؤثر در ایجاد دوقلوهای دیجیتال هستند. اما کیفیت استفاده از دوقلوهای دیجیتال در سال‌های اولیه به دلیل عدم مهارت و دانش کارکنان و مقاومت آن‌ها در پذیرش این فناوری مطلوب نیست. با آموزش کارکنان و استفاده از متخصصان در زمینه فناوری دوقلو دیجیتال، می‌توان مقاومت کارکنان را کاهش داد و درک آن‌ها از مزایای استفاده از این فناوری را افزایش داد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که پیاده‌سازی دوقلوهای دیجیتال می‌تواند کیفیت محصول را بهبود، تمایل مصرف‌کننده به خرید را افزایش و هزینه کل محصول را در بلندمدت کاهش دهد.

کلیدواژگان: زنجیره تأمین، صنعت چهارم، دوقلوی دیجیتال، پویایی سیستم، صنعت مواد غذایی، استقرار فناوری.

* رایانامه نویسنده مسؤول: zanjirchi@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه زنجیره تأمین مواد غذایی به سیستمی بسیار پیچیده و چندوجهی تبدیل شده است که مسیر طولی را از مزارع و کارخانه‌های تولیدی تا تبدیل به محصول نهایی طی می‌کند. این زنجیره دارای چندین مؤلفه به هم مرتبط است که هر یک وظیفه حیاتی را در تهیه، پردازش، توزیع و تحویل مواد غذایی بر عهده دارند [۱]. زنجیره تأمین مواد غذایی نقشی حیاتی در تضمین ایمنی، کیفیت و قابلیت ردیابی محصولات غذایی ایفا می‌کند. لذا مصرف‌کنندگان به طور فزاینده‌ای خواستار غذای ایمن، با کیفیت بالا و با منشأ مشخص هستند [۲]. این امر زنجیره تأمین مواد غذایی را تحت فشار قرار می‌دهد تا کارآمدتر، شفاف‌تر و پایدارتر عمل کند. از طرفی، پاسخگویی موثر به تقاضای مشتریان برای مواد غذایی باکیفیت بالا مستلزم یک زنجیره تأمین مواد غذایی با مدیریت دقیق است که به طور همزمان از بروز مشکلات و ضررهای بعدی جلوگیری می‌کند [۳].

علی‌رغم اهمیت زنجیره تأمین مواد غذایی و نقش آن در کیفیت محصولات نهایی، این زنجیره با مشکلات و چالش‌های متعددی مواجه است [۴]. یکی از این چالش‌ها، مسیر طولانی در زنجیره مواد غذایی از تأمین‌کننده به مصرف‌کننده نهایی است. این موضوع ردیابی منشأ غذا را برای مصرف‌کنندگان دشوار کرده و خطرات مربوط به ایمنی مواد غذایی را افزایش می‌دهد [۵]. اطمینان از ایمنی و کیفیت محصولات غذایی برای حفاظت از سلامت عمومی و حفظ اعتماد مصرف‌کننده ضروری است [۶]. همچنین، پیچیدگی و عدم قطعیت نیز به عنوان یک چالش مهم در مراحل مختلف مواد غذایی خود را نشان می‌دهد [۷]. این عدم قطعیت به دلیل ماهیت پیچیده و پراکنده زنجیره تأمین مواد غذایی و وجود بازیگران متعدد در سطوح مختلف (از تولیدکنندگان تا خرده‌فروشان)، به وجود می‌آید [۸]. فقدان کنترل کافی بر عملیات ذخیره‌سازی و حمل و نقل مواد غذایی در طول زنجیره، منجر به افزایش عدم قطعیت و بروز مشکلات متعددی می‌شود [۹]. ضایعات مواد غذایی یکی دیگر از موارد قابل توجه است [۱۰]. ناکارآمدی در جابجایی، ذخیره‌سازی و فقدان زیرساخت‌های مناسب برای فرآوری، حمل و نقل و نگهداری سرد از جمله دلایل اصلی این ضایعات به شمار می‌آیند [۱۱]. این امر می‌تواند منجر به ناپایداری زیست محیطی و اجتماعی، از جمله افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و استثمار نیروی کار شود. برای غلبه بر این چالش‌ها، شرکت‌های مواد غذایی به طور فزاینده‌ای به دنبال راه‌حل‌های نوآورانه هستند. فناوری‌های نوین صنعت ۴ می‌تواند جهت غلبه بر این چالش‌ها مورد استفاده قرار بگیرند [۱۲].

یکی از فناوری‌های نوظهوری که پتانسیل قابل توجهی برای تحول این صنعت دارد، دوقلوی دیجیتال است. رشد چشمگیر فناوری‌های فعال‌کننده صنعت ۴،۰ مانند حسگرها، اینترنت اشیا [۱۳]، محاسبات ابری، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، و واقعیت افزوده و مجازی، زمینه را برای پذیرش گسترده دوقلوی دیجیتال در طیف وسیعی از بخش‌های صنعتی فراهم کرده است [۱۴]. دوقلو دیجیتال یک کپی مجازی از یک شی فیزیکی، فرآیند یا سیستم است که می‌تواند برای نظارت و کنترل همتای واقعی خود استفاده شود [۱۵]. در زمینه صنعت مواد غذایی، یک دوقلو دیجیتالی می‌تواند برای نظارت بر ایمنی مواد غذایی از تأمین مواد اولیه تا توزیع محصولات نهایی استفاده شود [۱۶]. با شبیه‌سازی فرآیند تولید به صورت دیجیتال، شرکت‌ها می‌توانند بر طیف وسیعی از پارامترهای موثر بر ایمنی مواد غذایی نظارت و کنترل دقیق داشته باشند [۱۷]. با انجام شبیه‌سازی، می‌توان بر روی دما، رطوبت و سایر عوامل محیطی را که بر رشد باکتری‌ها یا سایر عوامل بیماری‌زا تأثیر می‌گذارند، نظارت کرد [۱۸]. همچنین می‌توان کیفیت مواد خام و محصولات نهایی را کنترل و از رعایت استانداردهای نظارتی و ایمن بودن برای مصرف اطمینان حاصل کرد [۱۹]. استفاده از دوقلوی دیجیتال در صنعت مواد غذایی تحت تأثیر تعدادی از عوامل هدایت می‌شود. یکی از محرک‌های اصلی نیاز به کارایی و بهره‌وری بیشتر در مواجهه با افزایش رقابت و تغییر تقاضای مصرف‌کنندگان است [۲۰]. فناوری دوقلوی دیجیتال نه تنها تصویری دقیق از زنجیره تأمین مواد غذایی ارائه می‌دهد، بلکه با ارائه داده‌های تاریخی و بی‌درنگ از موجودیت فیزیکی، به دینفعان مختلف، مانند تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان مواد غذایی، ابزاری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل سناریوها، مقایسه گزینه‌ها و پیش‌بینی اختلالات احتمالی در زنجیره تأمین را ارائه می‌دهد [۲۱]. با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف تولید و شناسایی تنگناها یا ناکارآمدی‌های احتمالی، شرکت‌ها می‌توانند عملیات خود را بهینه کرده و ضایعات را کاهش دهند [۲۲]. یکی دیگر از عوامل کلیدی نیاز به اطمینان به کیفیت مواد غذایی است. شرکت‌های مواد غذایی با ایجاد دوقلوهای دیجیتالی از فرآیندهای تولید خود و نظارت بر آن‌ها در زمان واقعی، می‌توانند مشکلات بالقوه کیفیت را شناسایی کرده و اقدامات اصلاحی را قبل از تبدیل شدن به یک مشکل انجام دهند [۲۳]. این امر به اطمینان از رعایت مقررات ایمنی مواد غذایی و محافظت از مصرف‌کنندگان در برابر بیماری‌های ناشی از غذا کمک می‌کند.

فناوری دوقلوی دیجیتال به طور گسترده در صنایع مختلفی مانند ساخت‌وساز [۲۴]؛ [۲۵]؛ [۲۶]، مراقبت‌های بهداشتی [۲۷]؛ [۲۸]؛ [۲۷]؛ [۲۹]، خودروسازی [۳۰]؛ [۳۱] و ... مورد مطالعه قرار گرفته

کمک می‌کند تا روابط پیچیده و پویای بین عوامل مختلف را درک کرده و تاثیر تغییرات در یک عنصر را بر کل سیستم زنجیره تأمین پیش‌بینی کنیم. در این راستا، روش‌شناسی پویایی سیستم به عنوان ابزاری کارآمد برای تحلیل این روابط و تأثیرات متقابل بین عناصر سیستم و تغییرات آنها مطرح می‌شود. پویایی سیستم رویکردی تحقیقاتی برای مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌های پیچیده است که بر پایه مفاهیم بازخورد، تأخیر و انباشت بنا شده است [۳۸]. این روش به بررسی چگونگی تعامل عناصر مختلف سیستم و نحوه تغییر رفتار آن در طول زمان می‌پردازد. با توجه به عدم وجود مطالعه‌ای با رویکرد سیستمی و نگاهی جامع به نحوه اثرگذاری و اثرپذیری عوامل مؤثر بر استقرار و کاربرد فناوری دوقلوی دیجیتال در صنعت مواد غذایی، هدف از انجام این پژوهش بررسی روابط علت و معلولی بین عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال در زنجیره مواد غذایی با استفاده از روش شناسی پویایی سیستم است.

۲- بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش

صنعت غذایی با چالش‌های مهمی پیرامون کیفیت، ضایعات، ایمنی و امنیت مواجه است. زنجیره تأمین مواد غذایی در مقایسه با زنجیره تأمین عمومی ویژگی‌های منحصر به فردی دارد. اولاً، بسیاری از محصولات غذایی فاسد شدنی هستند، در مقایسه با کالاهای بادوام ماندگاری محدودی دارند و نیاز به مدیریت زنجیره سرد و حمل و نقل به موقع دارند. ثانیاً، برای اطمینان از کیفیت و ایمنی مواد غذایی، محصولات غذایی اغلب دارای شرایط ذخیره‌سازی و پردازش خاصی هستند، مانند دما، رطوبت، و جابجایی. علاوه بر این، محصولات غذایی اغلب در مقایسه با کالاهای تولید شده معمولی، دچار دگرگونی‌های بیشتری (مانند ذبح، نگهداری، پخت‌وپز و بسته‌بندی) می‌شوند که پیچیدگی زنجیره تأمین مواد غذایی را افزایش می‌دهد [۳۹]. ثالثاً، برای اطمینان از ایمنی مواد غذایی، محصولات غذایی به قابلیت ردیابی سرتاسر نیاز دارند، که برای مدیریت فراخوان مواد غذایی حیاتی است. پیشرفت‌های اخیر در حوزه فناوری، فرصت‌های جدیدی جهت ارتقای شفافیت و کارایی برای ذینفعان مختلف در زنجیره تأمین، از جمله کشاورزان [۴۰]، پردازنده‌های مواد غذایی [۳۶]، توزیع‌کنندگان [۴۱] و خرده‌فروشان [۳۲] ارائه می‌دهد. دوقلوهای دیجیتال پتانسیل قوی برای حل برخی از مسائل اساسی زنجیره تأمین مواد غذایی را نشان می‌دهند. این فناوری در حال حاضر در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته و مطالعاتی نیز در این زمینه انجام شده است. به عنوان نمونه، یک مطالعه تحقیقاتی و کاربردی برای تقویت تاب‌آوری کشاورزان در برابر بحران‌های غیرمنتظره مانند کووید-۱۹ ارائه شده است. این

است. با این حال، تحقیقات جامع در مورد کاربرد این فناوری در صنعت مواد غذایی هنوز در مراحل اولیه خود است. شایان ذکر است که پژوهش‌های محدود انجام شده در زمینه کاربردهای دوقلوی دیجیتال در صنعت مواد غذایی، عمدتاً بر روی حوزه‌های خاص یا موارد استفاده محدود تمرکز داشته‌اند. به عنوان مثال، [۳۲] به بررسی تاثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بر زنجیره تأمین خرده‌فروشی مواد غذایی و میزان تاب‌آوری آن در برابر این بحران با استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال پرداختند. [۳۳] در مطالعه خود به کاربرد دوقلوی دیجیتال در زمینه‌ی نظارت بر کیفیت میوه در زنجیره تأمین مواد غذایی اشاره کرده‌اند. [۳۴] به بررسی نقش فناوری دوقلوی دیجیتال در بهبود تاب‌آوری و پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی پرداخته‌اند. [۳۵] یک مرور سیستماتیک با هدف پاسخ به سوالات علمی رایج در مورد کاربرد مدل‌های دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین کشاورزی و غذایی انجام داده‌اند. [۲۲] در مطالعه خود به بررسی مزایای مدل دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی پرداخته‌اند. [۳۶] با استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال مشکلات واقعی در یک شرکت فرآوری مواد غذایی را پیاده‌سازی کرده و با استفاده از شبیه‌سازی به بررسی مشکلات موجود پرداخته‌اند.

در مطالعات انجام شده تأثیر فناوری دوقلوی دیجیتال در صنعت مواد غذایی در زمینه‌هایی همچون بهبود کارایی در زنجیره تأمین مواد غذایی، افزایش تاب‌آوری و کاهش هزینه‌ها، افزایش شفافیت و اعتماد، بهبود پایداری، بهبود ایمنی و کیفیت محصول و ... مورد بررسی قرار گرفته است [37]. همچنین در برخی از مطالعات انجام شده با انجام مرور سیستماتیک به بررسی کاربرد فناوری دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی اشاره شده است. در حالی که مطالعات متعددی به بررسی عوامل مؤثر و مزایای استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال در صنعت مواد غذایی پرداخته‌اند، خلأ قابل توجهی در درک نحوه تعامل این عوامل و پیامدهای سیستمی آنها بر زنجیره تأمین مواد غذایی وجود دارد. اگرچه فناوری دوقلوی دیجیتال پتانسیل تحول زنجیره تأمین مواد غذایی را دارد، اما پذیرش و استقرار آن به سادگی امکان‌پذیر نیست. این فناوری نوظهور با چالش‌ها و موانع متعددی روبرو است. ما در این پژوهش سعی می‌کنیم عوامل اثرگذار بر استقرار دوقلوی دیجیتال را شناسایی و بر اساس دیدگاه سیستمی که در آن عناصر یک سیستم با یکدیگر در تعامل بوده و تغییر در یکی از آنها می‌تواند کل سیستم را تحت تاثیر قرار دهد، با اتخاذ رویکردی جامع و سیستمی به بررسی روابط علت و معلولی بین عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی بپردازیم. این رویکرد به ما

مقاله با در نظر گرفتن پنج رکن اساسی، چارچوبی را برای افزایش پایداری کشاورزان پیشنهاد می‌کند و این ارکان بر روی یک مدل دوقلوی دیجیتال با قابلیت شبیه‌سازی پیاده‌سازی می‌شوند. هدف نهایی این مطالعه، توسعه رویکرد و ابزاری است که توانایی کشاورزان را برای مقابله با هرگونه اختلال بهبود بخشد و از آن‌ها در تمام فعالیت‌های مدیریت و کنترل‌شان پشتیبانی کند. مدل ارائه شده در این مطالعه با الهام از مفهوم مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها، به دنبال تحلیل اثرات ریسک‌ها و همچنین سیاست‌هایی است که می‌تواند از بروز آن‌ها جلوگیری کند، اثراتشان را کاهش دهد یا در برابر هر ریسک داخلی یا خارجی در سه سطح (سازمان کشاورزان، زنجیره تأمین و محیط مرتبط) واکنش نشان دهد [۴۲]. در مطالعه‌ای دیگر، تاثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بر زنجیره تأمین خرده‌فروشی مواد غذایی (زنجیره تأمین) و میزان تاب‌آوری آن در برابر این بحران مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه بر اساس سناریوهای واقعی همه‌گیری که در آلمان رخ داده، یک مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته با استفاده از نرم‌افزار (anyLogistix) توسعه داده و از آن برای بررسی عملکرد و پویایی زنجیره تأمین استفاده شد. نتایج محاسباتی نشان داد که تاب‌آوری زنجیره تأمین خرده‌فروشی مواد غذایی در زمان بحران تحت تاثیر سه عامل اصلی شدت همه‌گیری و اقدامات قرنطینه/تعطیلی مرتبط با دولت، پویایی سفارش موجودی در زنجیره تأمین و رفتار مشتریان قرار دارد. مشاهدات نشان داد که افزایش ناگهانی تقاضا و تعطیلی تأمین‌کنندگان بیشترین تأثیر را بر عملکرد و کارایی زنجیره تأمین داشته‌اند، در حالی که تأثیر اختلالات حمل و نقل نسبتاً کم بوده است. با این حال، هزینه‌های حمل و نقل به دلیل نوسانات زیاد در سفارش‌دهی و در نتیجه حمل و نقل‌های مکرر و نامنظم، افزایش یافته است. در مطالعه‌ی دیگری، به بررسی شکاف تکنولوژیکی در زمینه‌ی نظارت بر کیفیت میوه در زنجیره تأمین مواد غذایی پرداخته شد. در این مطالعه یک راه‌حل امیدوارکننده مبتنی بر دوقلوی دیجیتال برای کاهش ضایعات میوه ارائه شده است. هدف ارائه شده در این مطالعه، بکارگیری یک روش جدید برای ایجاد یک مدل دوقلوی دیجیتال مبتنی بر یادگیری ماشین برای میوه‌ی موز است تا بتوان تغییرات کیفی آن را در طول انبارداری پایش کند. به دلیل توانایی دوربین حرارتی در تشخیص تغییرات سطحی و فیزیولوژیکی میوه در طول انبارداری، از آن به عنوان ابزاری برای جمع‌آوری داده استفاده شده است. در این مطالعه، پس از ایجاد مجموعه‌ی داده‌ی تصاویر حرارتی متعلق به چهار طبقه (کیفیت)، آموزش مدل با استفاده از فناوری‌های هوشمند شرکت SAP انجام شده است. راه‌حل ارائه شده از یک شبکه‌ی عصبی پیچشی عمیق برای پایش وضعیت میوه بر اساس

اطلاعات حرارتی استفاده می‌کند و فرایند آموزش، دقت بالایی را نشان داده است. این روش، تکنیکی امیدوارکننده برای توسعه‌ی مدل‌های دوقلوی دیجیتال میوه است. استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری حرارتی می‌تواند به عنوان منبعی برای ایجاد مدل دوقلوی دیجیتال میوه مبتنی بر یادگیری ماشین به کار رود و در نتیجه، ضایعات میوه در زنجیره‌ی تأمین مواد غذایی را به حداقل برساند [۳۳]. پژوهش دیگری به بررسی نقش فناوری دوقلوی دیجیتال در بهبود تاب‌آوری و پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی پرداخته است. در این مطالعه عنوان شده است که پذیرش فناوری‌های دیجیتال می‌تواند منجر به افزایش تولید، کارایی و سودآوری زنجیره تأمین مواد غذایی شود. مدل دوقلوی دیجیتال ارائه شده در زنجیره تأمین مواد غذایی می‌تواند انعطاف‌پذیری این زنجیره را افزایش، ضایعات مواد غذایی را کاهش و پایداری آن را بهبود بخشد. هدف این تحقیق شناسایی و تحلیل نقش فناوری دوقلوی دیجیتال در ارتقای تاب‌آوری و پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی بوده است. در این مطالعه برای تجزیه و تحلیل، از روش جدید مدل‌سازی علی خاکستری (GCM) استفاده شده است. متدولوژی GCM برای تحلیل علی می‌تواند چهار ویژگی را در نظر بگیرد که به عنوان علل، اثرات، اهداف و نتایج شناخته می‌شوند. در این پژوهش، پانزده عامل از طریق مرور ادبیات موجود و نظرات کارشناسان شناسایی شده است. پاسخ‌ها از کارشناسان در دو فاز جمع‌آوری شده است. در فاز اول، پاسخ‌ها برای یافتن عوامل علت و معلولی گرفته شد، و در فاز دوم، پاسخ‌ها برای رتبه‌بندی جفت‌های علت و معلولی شناسایی شده برای اهداف مختلف برای محاسبه نتایج مطالعه جمع‌آوری شد. بر اساس نتایج با توجه به اهداف، سناریوهای مختلف با استفاده از نمودارهای مقیاس ترسیم گردید. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که «هماهنگی بهبود یافته» با در نظر گرفتن دو هدف همزمان «تاب‌آوری» و «پایداری»، عامل علی سرنوشت‌ساز است. این تحقیق می‌تواند برای سیاست‌گذاران، متخصصان و صنایع غذایی برای توسعه یک سیستم زنجیره تأمین مواد غذایی پایدار و انعطاف‌پذیر مفید باشد [۳۵]. همچنین، در پژوهشی دیگر به مرور ادبیات موجود و نظر کارشناسان، به شناسایی موانع پیاده‌سازی مدل دوقلوی دیجیتال پرداخته شده است. یافته‌های این مطالعه برای سازمان‌های دولتی، سیاست‌گذاران، مؤسسات کشاورزی و ذی‌نفعان صنعت کشاورزی و غذایی مفید خواهد بود تا موانع پیاده‌سازی موفق مدل دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین کشاورزی و غذایی را از بین ببرند [۴۳]. مطالعه‌ی دیگری، به بررسی مزایای مدل دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی پرداخته است. در بسیاری از موارد، ابهاماتی در مورد

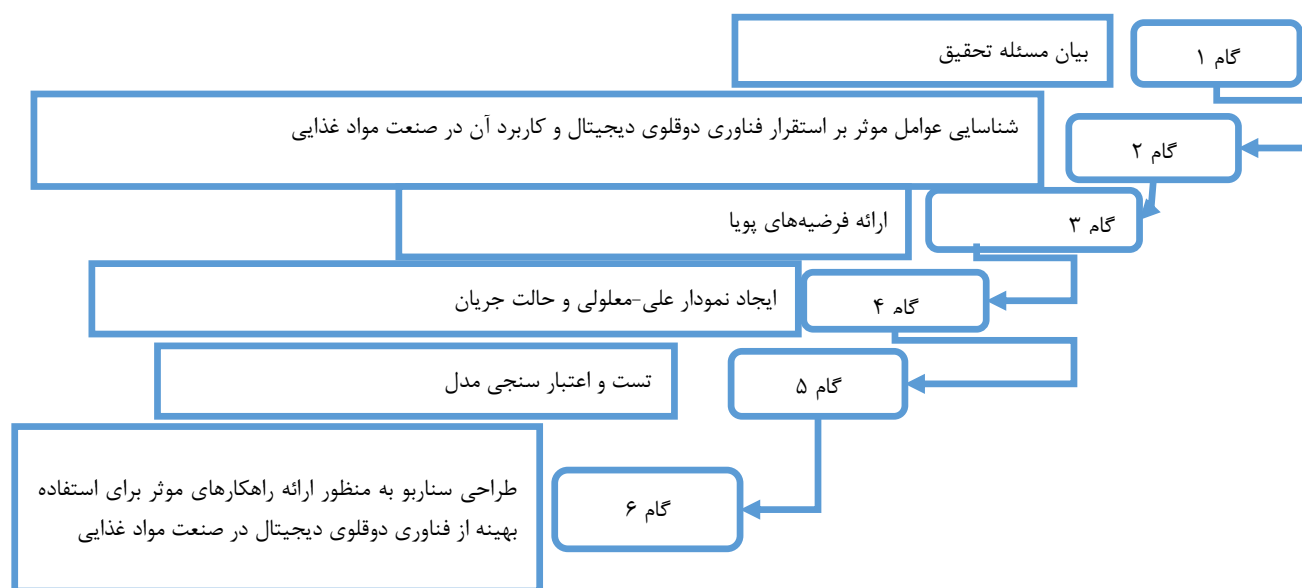
کارشناسان و ذینفعان کلیدی در شرکت صنایع غذایی انجام شد تا دیدگاه‌ها و تجربیات آنها در مورد فناوری دوقلوی دیجیتال جمع‌آوری شود. این مصاحبه‌ها به درک عمیق‌تر از چالش‌ها و فرصت‌های خاص پیاده‌سازی دوقلوی دیجیتال در این شرکت‌ها کمک می‌کند. در این پژوهش از تکنیک پویایی سیستم به بررسی روابط علت و معلولی بین عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی استفاده شده است. بر اساس اصول تفکر سیستمی، رویکرد پویایی سیستم، ایجاد مدل‌های شبیه‌سازی برای ارزیابی جامع سیستم‌های پیچیده را امکان‌پذیر می‌کند [۴۴]. مدل‌سازی پویایی سیستم یک فرآیند چند مرحله‌ای برای تبدیل یک مسئله به یک نمایش کمی و سپس شبیه‌سازی آن است [۴۵]. هدف اصلی پویایی سیستم، درک و مدیریت پیچیدگی سیستم‌ها از طریق شناسایی و تحلیل تعاملات پویای بین اجزای مختلف و تأثیر آن‌ها بر رفتار کلی سیستم است [۴۶]. این رویکرد به طور مؤثر مفروضات پیکربندی سیستم و ساختارهای پویا را مدیریت می‌کند و مدیریت تغییرات در زیرسیستم‌ها و تعاملات در سراسر سیستم را امکان‌پذیر می‌کند [۴۷]. روند انجام این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در مرحله اول بیان مسئله و دلیل انجام تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اهمیت صنعت مواد غذایی در رشد و توسعه کشور و وجود چالش‌هایی مانند کیفیت، ضایعات، ایمنی و امنیت و ...، این پژوهش به بررسی روابط علت و معلولی بین عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال در یک شرکت مواد غذایی پرداخته است. در گام دوم عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی و کاربرد دوقلوی دیجیتال در شرکت مواد غذایی بررسی شد. شناسایی این عوامل بر اساس مرور ادبیات مرتبط با موضوع پژوهش و انجام مصاحبه با خبرگان این حوزه صورت گرفت. در مرحله سوم، فرضیه‌های پویا تدوین شد. فرضیه‌های پویا علل و مکانیسم‌های اساسی رفتارهای مشاهده شده را توضیح می‌دهند. تدوین فرضیه‌های پویا بر مبنای داده‌ها و اطلاعات به دست آمده از مراحل قبل (مرور ادبیات و مصاحبه با خبرگان) انجام می‌شود. این داده‌ها به عنوان مرجع اصلی برای شناسایی روابط و تعاملات بین متغیرها عمل می‌کنند [48]. در این مرحله، محققان باید متغیرهای مستقل (عوامل تأثیرگذار) و متغیرهای وابسته (نتایج یا اثرات) را شناسایی کنند. این کار به ایجاد یک چارچوب ساختاری برای فرضیه‌ها کمک می‌کند

اینکه مدل دوقلوی دیجیتال چه زمانی و چگونه می‌تواند به زنجیره تأمین مواد غذایی کمک کند، وجود دارد. این مطالعه، مسئله یکپارچه استراتژی‌های تأمین، تولید و توزیع را در یک شرکت فرآوری مواد غذایی با ابعاد متوسط حل می‌کند. مدل با استفاده از رویکرد دوقلوی دیجیتال، فرصت‌های همزیستی صنعتی بین تأمین‌کننده، تولیدکننده و مشتری را در نظر می‌گیرد. این مدل با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل در یک محیط محدود با متغیرهای فاصله‌ای و توالی عمل می‌کند. این مطالعه زمان راه‌اندازی و سربار زمانی را بهینه می‌کند و همزمان به سطح بالاتری از دیجیتالی شدن دست می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که چگونه مدل دوقلوی دیجیتال با بهبود زمان راه‌اندازی، کاهش موازی‌کاری داده‌ها، برنامه زمان‌بندی بهینه، اثربخشی کلی عملیات، اثربخشی کلی تجهیزات و بهره‌وری ظرفیت، باعث افزایش بهره‌وری زنجیره تأمین می‌شود. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی بدون نقص استراتژی‌های تأمین، تولید و توزیع انعطاف‌پذیری تولید را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد و منجر به سطح عالی خدمات ۹۴ درصدی می‌شود. به گونه‌ای که مدیران می‌توانند از شبیه‌سازی لحظه‌ای برای برآورد دقیق نقطه تجدید سفارش با حداقل زمان سربار استفاده می‌کنند که تضمین‌کننده عملکرد بهینه است [۲۲].

۳- روش تحقیق

مطالعه حاضر از نظر هدف کاربردی است، زیرا هدف آن ارائه یافته‌هایی است که ممکن است به طور مستقیم در بخش مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، ماهیت و روش این مطالعه توصیفی - علی است، زیرا عناصری که بر پذیرش و استقرار دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی تأثیر می‌گذارند، از پیش تعریف نشده است. این عوامل در طول فرآیند تحقیق یافت می‌شوند. روش گردآوری داده‌ها میدانی و با استفاده از ابزار مصاحبه گردآوری شده است. در این پژوهش، برای بررسی روابط علت و معلولی بین عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال، از رویکردی جامع برای جمع‌آوری داده استفاده شد. این رویکرد شامل گردآوری اطلاعات از منابع مختلف و ترکیب داده‌ها برای ارائه تصویری کامل و دقیق از موضوع مورد مطالعه بود. این منابع شامل گزارش‌ها، اسناد، پایگاه‌های داده و سایر منابع داخلی بود که اطلاعات ارزشمندی در مورد فرآیندهای زنجیره تأمین، چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با دوقلوی دیجیتال ارائه می‌دادند. مصاحبه‌های عمیق با مدیران،



شکل ۱. گام‌های انجام پژوهش

از یک شرکت مواد غذایی در شهر یزد ساخته شد. روابط ریاضی بین متغیرها در نمودار علی معلولی تعیین گردید و این روابط بیشتر توسط متخصصان این حوزه تأیید شد. در نهایت، نمودار حالت و جریان ساخته شده با آزمایش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و سناریوهایی برای ارائه راهکارهای مناسب جهت بررسی عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی ارائه شد.

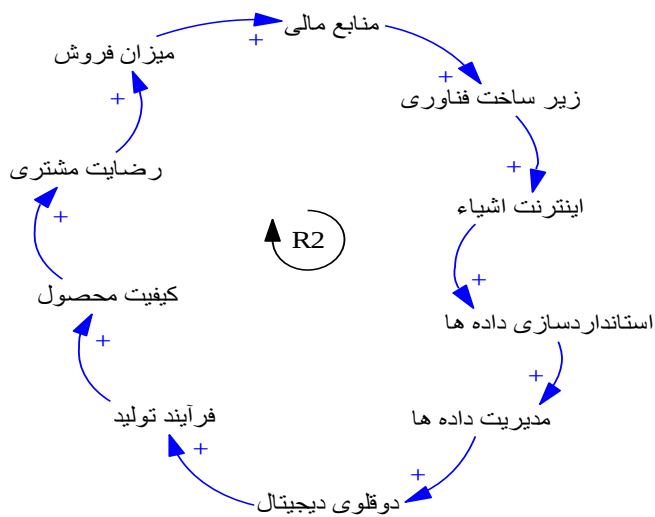
۴- مدل پیشنهادی

با استفاده از ادبیات پژوهشی و نظرات کارشناسان، روابط بین عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی و کاربرد فناوری دوقلوی دیجیتال در شرکت مواد غذایی شناسایی و نمودار علی معلولی طراحی شد.

۴-۱- فرضیه‌های پویا

فرضیه پویا یک مدل مفهومی است که بر اساس متغیرهای کلیدی مسئله، روابط علت و معلولی بین آن‌ها و چگونگی تغییر این روابط در طول زمان را توصیف می‌کند. این مدل شامل شناسایی تقویت‌کننده‌ها و متعادل‌کننده‌های اصلی سیستم و همچنین تعیین نمودار مرجع به عنوان یک حالت مطلوب یا هدف مشخص برای مقایسه رفتار سیستم است. نمودار مرجع، نمایش گرافیکی وضعیت مطلوب سیستم بوده و به عنوان یک نقطه مرجع برای ارزیابی عملکرد واقعی سیستم عمل می‌کند. با مقایسه رفتار واقعی سیستم با نمودار مرجع، می‌توان نقاط ضعف و قوت سیستم را شناسایی کرده و نقاط مداخله برای بهبود عملکرد سیستم را مشخص نمود.

پس از تعریف فرضیه‌های پویا، نمودار مرز مدل طراحی شد. نمودار مرز مدل، محدوده مدل را با فهرست کردن متغیرهای درون‌زا و برون‌زا و همچنین متغیرهایی که در مدل گنجانده نشده‌اند، مشخص می‌کند. متغیرهای درون‌زا در داخل مدل قرار دارند و تحت تأثیر متغیرهای دیگر تغییر می‌کنند. به عبارتی، تغییر در این متغیرها نتیجه فعل و انفعالات درون مدل است. متغیرهای برون‌زا از خارج به مدل وارد می‌شوند و معمولاً تأثیرات خود را بر روی متغیرهای درون‌زا اعمال می‌کنند. نمودار مرز مدل به تصویرسازی روابط بین متغیرها کمک می‌کند. با مشخص کردن این روابط، تحلیلگران می‌توانند به وضوح ببینند که چگونه متغیرهای درون‌زا و برون‌زا به هم مرتبط هستند و بررسی کنند که چگونه تغییر در یک متغیر می‌تواند سایر متغیرها را تحت تأثیر قرار دهد. در مرحله چهارم نمودار علی معلولی و نمودار حالت و جریان طراحی شد. نمودار علی معلولی به عنوان یک ابزار اساسی برای نشان دادن ساختار بازخورد سیستم عمل می‌کند. یک علامت مثبت یا منفی به هر پیوند علی در نمودار اختصاص داده می‌شود. علامت مثبت نشان می‌دهد که تغییرات در متغیرها در یک جهت است، در حالی که علامت منفی نشان‌دهنده تغییرات مخالف است [۴۹]. با انجام یک سری جلسات مصاحبه حضوری با کارشناسان، روابط علی بین متغیرها شناسایی شد که منجر به طراحی یک نمودار علی معلولی جامع شد. پس از ساختن نمودار علی-معلولی، از نمودار حالت و جریان برای فرموله کردن روابط بین متغیرهای مورد مطالعه استفاده شد. نمودار حالت و جریان امکان بررسی رفتار سیستم در طول زمان را فراهم می‌کند. نمودار حالت و جریان با استفاده از اطلاعات به دست آمده



شکل ۲. حلقه های بازخورد

از طرف دیگر، مدیریت داده های موثر برای ایجاد و نگهداری مدل های دوقلوی دیجیتال که کپی های مجازی از دارایی های فیزیکی هستند، ضروری است. این مدل ها می توانند برای شبیه سازی عملکرد، پیش بینی خرابی ها و بهینه سازی فرآیندها استفاده شوند. فناوری دوقلوی دیجیتال می تواند به طور قابل توجهی فرآیند تولید را با ارائه بینش های عمیق تر در مورد عملکرد سیستم ها، شناسایی فرصت های بهبود و بهینه سازی برنامه ریزی و کنترل تولید، ارتقا دهد. فرآیندهای تولید کارآمد و بهینه شده به طور مستقیم منجر به تولید محصولات با کیفیت بالاتر می شوند. این امر به نوبه خود ضایعات و دوباره کاری را کاهش و رضایت مشتری را افزایش می دهد. محصولات با کیفیت بالا تمایل به تقاضای بیشتری در بازار دارند و منجر به افزایش فروش می شوند. مشتریان حاضرند برای محصولاتی که قابل اعتماد، بادوام و کارآمد هستند، پول بیشتری بپردازند. مشتریان راضی تمایل بیشتری به خرید مجدد محصولات و خدمات شرکت دارند و همچنین احتمال بیشتری دارد که آن را به دیگران توصیه کنند. که این امر منجر به افزایش سهم بازار و در نهایت افزایش منابع مالی شرکت می شود.

۴-۲- نمودار مرز مدل

پس از تحلیل فرضیه های پویا، برای ایجاد نمودار مرز مدل و شناسایی متغیرهای درونزا و برونزا سیستم اقدام شد. یافته های این بررسی در جدول ۱ خلاصه شده اند.

۴-۳- نمودار علی معلولی

با توجه به تعیین فرضیه های پویا و شناسایی متغیرهای درونزا و برونزا مدل، نمودار علی معلولی در شکل ۳ نشان داده شده است.

به عبارت دیگر، فرضیه پویا به ما کمک می کند تا پویایی سیستم را درک کرده و راهکارهایی برای هدایت سیستم به سمت حالت مطلوب ارائه دهیم [۵۰]. فرضیه های پویا طراحی شده در این پژوهش به شرح زیر ارائه شده است.

- H1: منابع مالی بر روی زیرساخت فناوری تأثیرگذار است.
- H2: زیر ساخت فناوری تأثیر مثبتی بر روی اینترنت اشیاء دارد.
- H3: اینترنت اشیاء بر روی استانداردسازی داده ها تأثیر دارد.
- H4: استانداردسازی داده ها بر روی مدیریت داده ها تأثیر دارد.
- H5: مدیریت داده ها تأثیر مثبتی بر روی فناوری دوقلوی دیجیتال دارد.
- H6: فناوری دوقلوی دیجیتال بر روی فرآیند تولید تأثیر دارد.
- H7: فرآیند تولید بر روی کیفیت محصول تأثیر دارد.
- H8: کیفیت محصول بر روی رضایت مشتری تأثیر دارد.
- H9: رضایت مشتری بر روی میزان فروش تأثیر دارد.
- H10: میزان فروش بر روی منابع مالی تأثیر دارد.

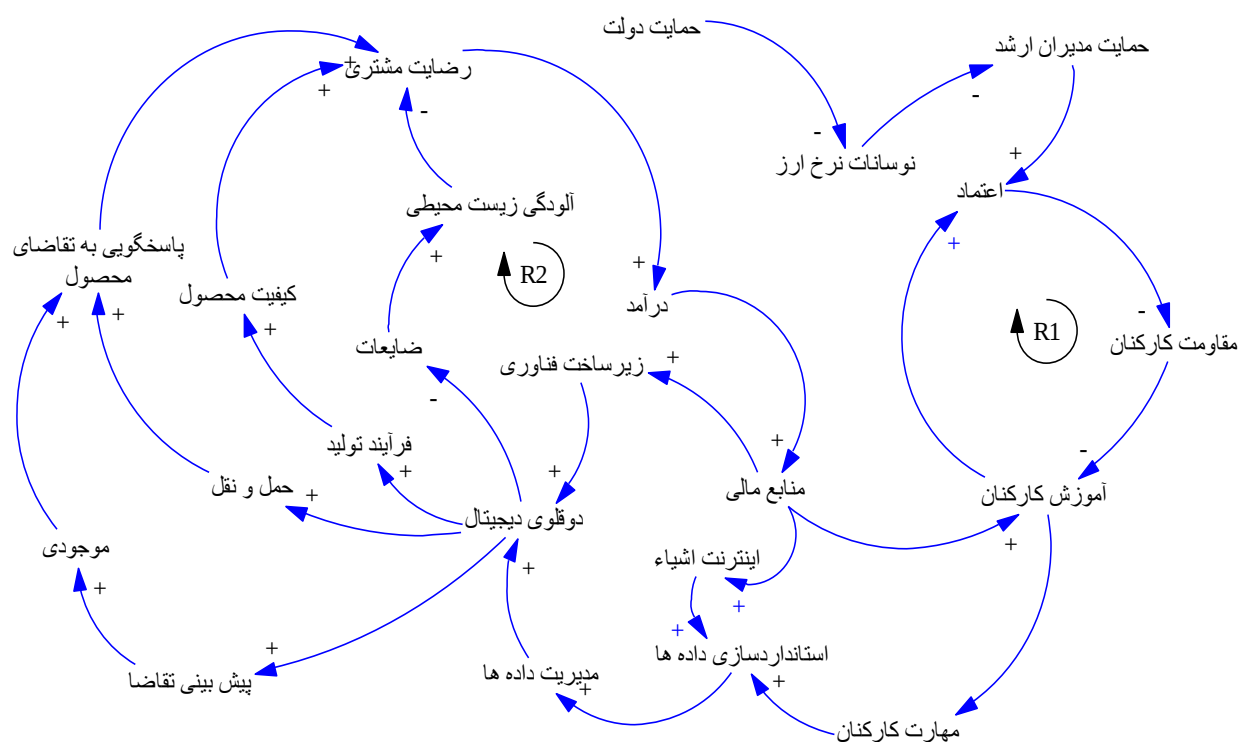
فرضیه پویا مسئله مورد مطالعه در شکل ۲ زیر نشان داده شده است. همانطور که شکل ۲ نشان می دهد منابع مالی بر روی زیرساخت فناوری تأثیرگذار است. با افزایش منابع مالی، شرکت ها می توانند در تجهیزات و نرم افزارهای پیشرفته برای زیرساخت فناوری خود سرمایه گذاری کنند. این امر به نوبه خود منجر به افزایش قابلیت ها و کارایی سیستم های فناوری اطلاعات و ارتباطات آن ها می شود. زیرساخت فناوری قوی بستر لازم برای پیاده سازی و اجرای موفق اینترنت اشیاء را فراهم می کند. این امر به شرکت ها امکان می دهد تا از حجم عظیمی از داده های تولید شده توسط دستگاه های متصل به اینترنت را جمع آوری و تجزیه و تحلیل کنند. با افزایش تعداد دستگاه های متصل به اینترنت، نیاز به استانداردسازی فرمت ها و پروتکل های داده ها برای تسهیل تبادل و تجزیه و تحلیل اطلاعات به وجود می آید. اینترنت اشیاء با ایجاد انگیزه برای شرکت ها برای به اشتراک گذاری داده های خود، به پیشبرد این امر کمک می کند. همچنین، استانداردسازی داده ها، فرآیند مدیریت داده ها را کارآمدتر و مقرون به صرفه تر می کند. با استفاده از فرمت ها و پروتکل های استاندارد، شرکت ها می توانند داده ها را به راحتی جمع آوری، ذخیره، بازیابی و تحلیل کنند.

جدول ۱. نمودار مرز مدل

شماره	عوامل	تعریف	منابع
۱	پیش‌بینی تقاضا	پیش‌بینی تقاضا، علم برآورد میزان تقاضا برای کالاها یا خدمات در آینده است. این فرآیند به کسب‌وکارها کمک می‌کند تا با دیدی روشن‌تر به برنامه‌ریزی تولید، موجودی و توزیع محصولات خود بپردازند.	[۵۱]؛ [۵۲]
۲	موجودی	موجودی به دارایی‌های جاری یک شرکت اطلاق می‌شود که شامل کالاها و محصولاتی است که برای فروش در نظر گرفته شده‌اند و یا در مراحل مختلف تولید قرار دارند. به عبارت دیگر، موجودی، پل بین بخش تولید و بخش فروش است.	[۵۳]؛[۵۴]
۳	پاسخگویی به تقاضای محصول	پاسخگویی به تقاضای محصول به توانایی یک شرکت در تأمین نیاز مشتریان به محصولات مورد نیازشان در زمان مناسب و با قیمتی مناسب اشاره دارد.	[۵۵]؛ [۵۶]
۴	رضایت مشتری	رضایت مشتری به احساسی گفته می‌شود که یک مشتری پس از خرید یا استفاده از محصول یا خدمات یک شرکت تجربه می‌کند. این احساس به میزان انطباق تجربه‌ی مشتری با انتظارات او بستگی دارد.	[۵۷]؛ [۵۸]
۵	درآمد	درآمد به جریان پول نقدی گفته می‌شود که یک شرکت از طریق فروش محصولات یا خدمات خود به دست می‌آورد. درآمد یکی از مهم‌ترین مفاهیم مالی برای هر کسب و کاری است و به اندازه‌گیری عملکرد مالی آن کمک می‌کند.	[۵۹]؛ [۶۰]
۶	منابع مالی	منابع مالی به دارایی‌ها و وجوهی گفته می‌شود که یک شرکت در اختیار دارد و می‌تواند از آنها برای انجام فعالیت‌های خود، سرمایه‌گذاری و دستیابی به اهداف خود استفاده کند.	[۶۱]؛ [۶۲]
۷	زیرساخت فناوری	زیرساخت فناوری به مجموعه‌ی سخت‌افزار، نرم‌افزار، شبکه‌ها و سایر اجزایی گفته می‌شود که یک شرکت برای پشتیبانی از عملیات خود به آنها نیاز دارد. زیرساخت فناوری نقشی اساسی در عملکرد یک کسب و کار ایفا می‌کند و به شرکت‌ها کمک می‌کند تا به اهداف خود دست پیدا کنند.	[۶۳]؛ [۶۴]
۸	حمل و نقل	حمل و نقل به جابجایی افراد و کالاها از یک مکان به مکان دیگر اطلاق می‌شود. این فرآیند شامل استفاده از انواع مختلف وسایل نقلیه، مانند کامیون، قطار، هواپیما و کشتی می‌باشد. حمل و نقل نقشی حیاتی در تجارت ایفا می‌کند و به شرکت‌ها امکان می‌دهد تا محصولات خود را به مشتریان در زنجیره تأمین برسانند.	[۶۵]؛ [۶۶]
۹	فرآیند تولید	فرآیند تولید به مجموعه‌ی فعالیت‌هایی گفته می‌شود که با هدف تبدیل مواد اولیه به کالای نهایی یا ارائه خدماتی با ارزش اقتصادی انجام می‌شود. این فرآیند شامل مراحل مختلفی از جمله طراحی، تأمین مواد اولیه، ساخت، مونتاژ، کنترل کیفیت، بسته‌بندی، انبارداری و حمل‌ونقل می‌شود.	[۶۷]؛ [۶۸]
۱۰	کیفیت	کیفیت به میزان انطباق یک محصول یا خدمت با نیازها و انتظارات مشتریان گفته می‌شود.	[۶۹]؛ [۷۰]
۱۱	ضایعات	ضایعات به مواد یا محصولاتی گفته می‌شود که دیگر قابل استفاده نیستند و باید دور انداخته شوند.	[۷۱]؛ [۷۲]
۱۲	آلودگی زیست محیطی	آلودگی زیست محیطی به وجود هر گونه ماده یا انرژی مضر در محیط زیست گفته می‌شود که می‌تواند به سلامت انسان، حیوانات و گیاهان آسیب برساند و تعادل طبیعی اکوسیستم‌ها را مختل کند.	[۷۳]؛ [۷۴]
۱۳	ردیابی مواد	فرآیند ردیابی مواد شامل جمع‌آوری و ثبت اطلاعات مربوط به حرکت و جابجایی مواد در طول زنجیره تأمین، از مبدأ تا مقصد نهایی می‌شود.	[۷۵]
۱۴	مقاومت کارکنان	مقاومت کارکنان به مجموعه‌ای از رفتارها، نگرش‌ها و اقدامات کارکنان در برابر تغییر، نوآوری یا اجرای برنامه‌های جدید در یک سازمان گفته می‌شود. این مقاومت می‌تواند به صورت‌های مختلفی مانند عدم همکاری، غیبت از محل کار، کاهش بهره‌وری، اعتراض و حتی ترک شغل تجلی یابد.	[۷۶]؛ [۷۷]
۱۵	اعتماد	اعتماد یک باور است که در آن فرد به صداقت، قابلیت و تعهد فرد یا گروه دیگری ایمان دارد. این باور به گونه‌ای است که فرد احساس امنیت می‌کند و اطمینان دارد که طرف مقابل به نفع او عمل خواهد کرد.	[۷۸]؛ [۷۹]
۱۶	حمایت دولت	حمایت دولت به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که دولت برای کمک به افراد، گروه‌ها یا بخش‌های مختلف جامعه انجام می‌دهد. این حمایت می‌تواند به صورت‌های مختلفی مانند ارائه یارانه، کمک‌های مالی، معافیت‌های مالیاتی، ارائه خدمات عمومی، وضع قوانین حمایتی و اجرای برنامه‌های توسعه‌ای باشد.	[۸۰]؛ [۸۱]

درون‌زا

شماره	عوامل	تعریف	منابع
۱۷	نوسانات نرخ ارز	نوسانات نرخ ارز به تغییرات مداوم قیمت یک ارز در مقابل ارز دیگر اشاره دارد. این نوسانات می‌توانند کوتاه‌مدت یا بلندمدت باشند و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار بگیرند.	[۸۲]، [۸۳]
۱۸	حمایت مدیران ارشد	حمایت مدیران ارشد به حمایت و پشتیبانی مستمر مدیریت ارشد یک سازمان از تلاش‌ها، ابتکارات و ایده‌های کارکنان اشاره دارد. این حمایت می‌تواند به صورت‌های مختلفی مانند تخصیص منابع، اعطای اختیارات، تشویق و قدردانی، و ایجاد فضای مناسب برای کارکنان تجلی یابد.	[۸۴]، [۸۵]
۱۹	آموزش کارکنان	آموزش کارکنان به فرایندی اطلاق می‌شود که در آن به کارکنان دانش، مهارت‌ها و نگرش‌های لازم برای انجام وظایفشان به طور موثر و کارآمد آموزش داده می‌شود.	[۸۶]، [۸۷]
۲۰	مهارت کارکنان	مهارت کارکنان به توانایی‌ها و قابلیت‌هایی اطلاق می‌شود که کارکنان برای انجام وظایفشان به طور موثر و کارآمد به آنها نیاز دارند.	[۸۸]، [۸۹]
۲۱	استانداردسازی داده‌ها	استانداردسازی داده‌ها به فرایندی اطلاق می‌شود که در آن ساختار، قالب و فرمت داده‌ها را یکسان و هماهنگ می‌کنیم. هدف از این کار ایجاد یک مجموعه داده منسجم و قابل تبادل است که می‌توان به طور آسان و کارآمد از آن در تجزیه و تحلیل، گزارش‌گیری و سایر کاربردها استفاده کرد.	[۹۰]، [۹۱]
۲۲	مدیریت داده‌ها	مدیریت داده‌ها به فرایند جمع‌آوری، سازماندهی، ذخیره‌سازی، بازیابی، حفاظت و استفاده از داده‌ها به طور موثر و کارآمد اطلاق می‌شود. هدف از مدیریت داده‌ها تضمین در دسترس بودن، صحت، امنیت و یکپارچگی داده‌ها در زمان نیاز به آنها است.	[۹۲]، [۹۳]



شکل ۳. نمودار علی و معلولی

۴-۴- نمودار حالت و جریان

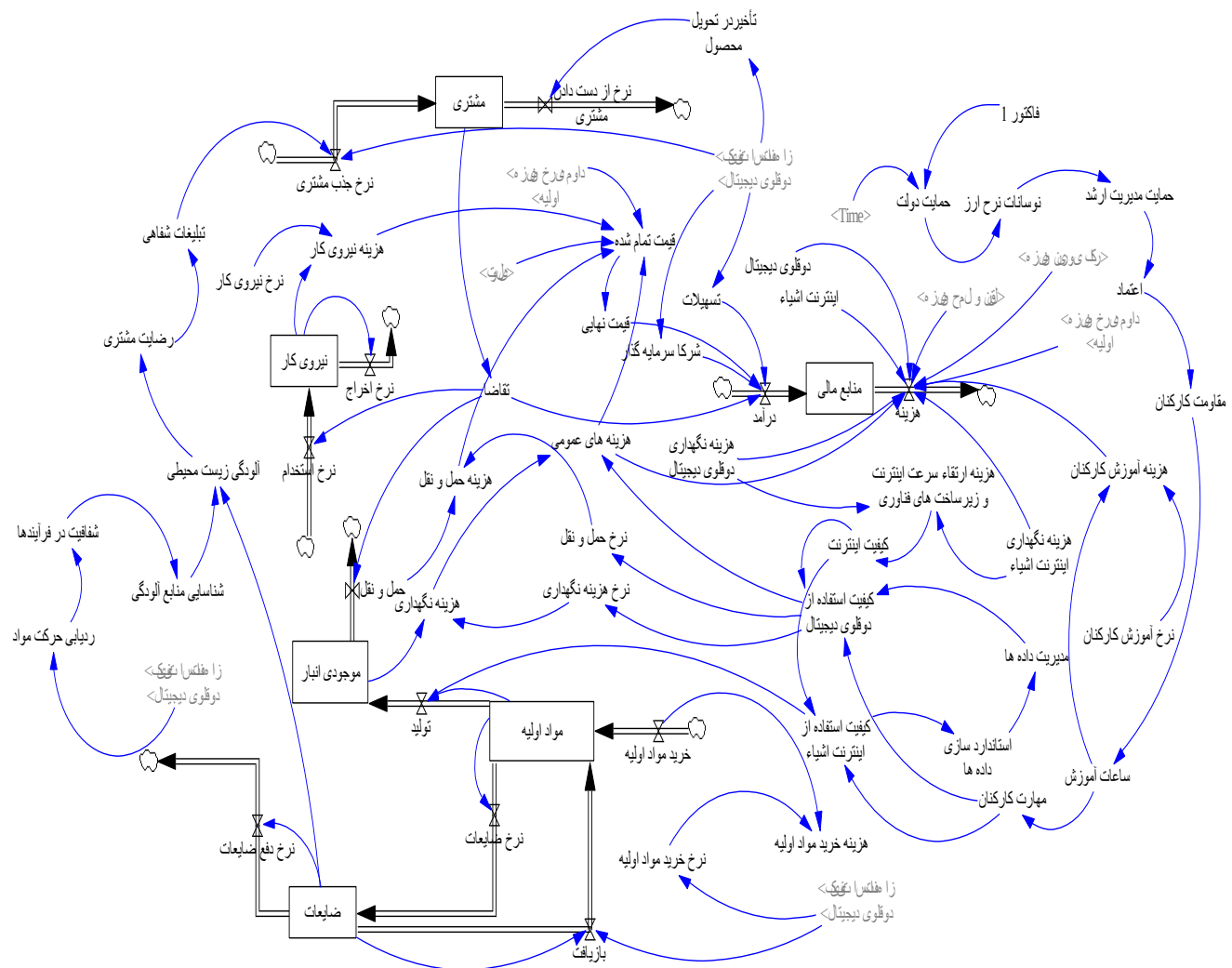
پس از ترسیم نمودار علی و معلولی، برای درک عمیق‌تر از پویایی سیستم، اقدام به توسعه نمودار حالت و جریان نمودیم. این کار با برقراری روابط و معادلات ریاضی بین متغیرهای کلیدی انجام شد. شکل ۴ نیز نمودار نهایی حاصل شده را نشان می‌دهد. شکل ۴ نمودار حالت-جریان را به تصویر می‌کشد که متشکل از ۵۵ متغیر است. این متغیرها شامل ۶ متغیر حالت، ۱۲ متغیر جریان و ۳۷ متغیر کمکی می‌شوند. جهت شبیه‌سازی، بازه زمانی پنج ساله با فواصل زمانی ۱۲ ماهه برای مطالعه در نظر گرفته شده است.

۵- اعتبارسنجی مدل

فرآیند اعتبارسنجی مدل در چهار مرحله مجزا انجام می‌شود.

۵-۱- آزمون ارزیابی ساختار مدل

برای اطمینان از انطباق ساختار مدل طراحی شده با دانش موجود، آزمونی تحت عنوان «آزمون ارزیابی ساختار مدل» انجام شد. به عبارت دیگر، آزمون ارزیابی ساختار، سازگاری رفتار مدل با ساختار آن را مورد بررسی قرار می‌دهد. این مسئله ایجاب می‌کند که در مدل شبیه‌سازی شده، رفتار متغیرها در بازخورد مثبت و منفی باید به ترتیب نمائی و هدف‌جو باشد. بر همین اساس، همانطور که در نمودار علت و معلولی ملاحظه می‌شود، متغیرهایی که حلقه‌های بازخوردی منفی را تشکیل می‌دهند، رفتار آن‌ها در مدل شبیه‌سازی شده باید هدف‌جو باشد. در این پژوهش، ساختار مدل بر پایه پیشینه تحقیقاتی و نظرات مدیران و کارشناسان حوزه مواد غذایی تدوین و مورد تأیید قرار گرفت.



شکل ۴. نمودار حالت-جریان

۵-۲- آزمون ارزیابی پارامتر

آزمون «ارزیابی پارامتر» با هدف اطمینان از تطابق مقادیر تخصیص یافته به متغیرها با مقادیر واقعی آنها انجام می‌شود. این کار برای تضمین صحت و دقت مدل و پیش‌بینی‌های آن بسیار مهم است. در ابتدا به شناسایی پارامترهای مورد استفاده در مدل پرداخته می‌شود. در مرحله بعد، برای ارزیابی همخوانی پارامترها، نیاز به داده‌های واقعی از سیستم مورد مطالعه می‌باشد. در این پژوهش، مقادیر متغیرها از منابع مختلفی استخراج شده‌اند، از جمله:

- زمینه تحقیق: اطلاعات مربوط به موضوع تحقیق از طریق مطالعات میدانی و بررسی اسناد و مدارک جمع‌آوری شده است.
- ادبیات مرتبط: از یافته‌های تحقیقات پیشین در حوزه مرتبط با موضوع پژوهش استفاده شده است.
- نظرات کارشناسان: از نظرات خبرگان و متخصصان در حوزه مواد غذایی برای تکمیل و تصحیح اطلاعات استفاده شده است.

در گام بعد، مقادیر عددی پارامترهای مدل با داده‌های واقعی مقایسه می‌شوند. اگر مشخص شود که مقادیر پارامترها با داده‌های واقعی همخوانی ندارند، نیاز است که پارامترها مورد بازنگری یا به‌روزرسانی قرار گیرند. با توجه به تنوع و دقت منابع مورد استفاده، می‌توان اطمینان داشت که مقادیر ارائه شده در مدل با واقعیت مطابقت دارند.

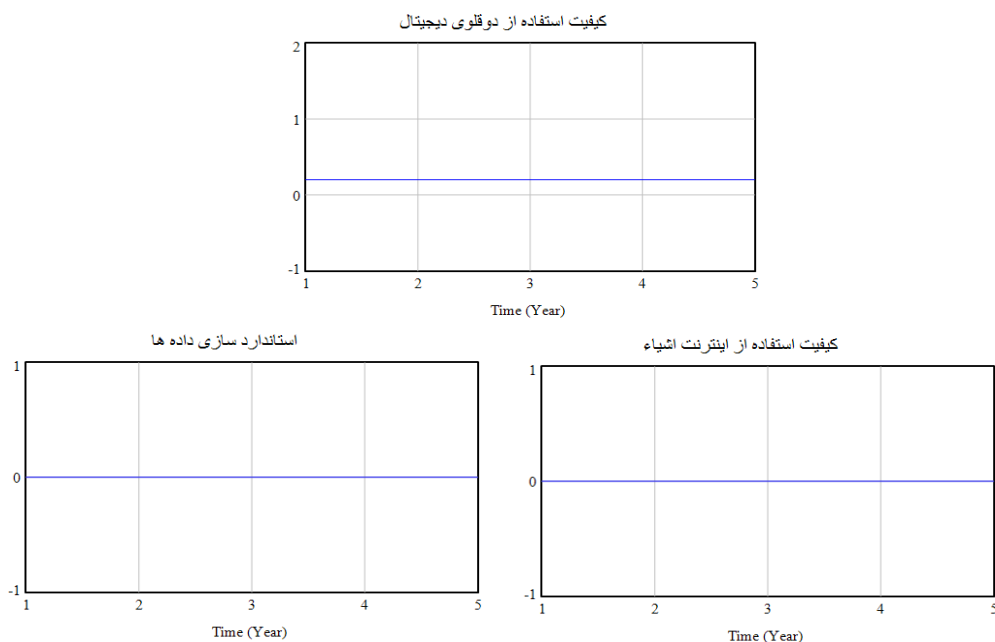
۵-۳- آزمون شرایط حدی

هدف از این آزمون، بررسی عملکرد مدل در شرایطی است که مقادیر ورودی به آن مقادیر حداکثری یا مینیمم خود را اختیار می‌کنند. در این راستا، مقدار یکی از عوامل اثرگذار بر استقرار فناوری دوقلوی دیجیتال در صنعت مواد غذایی در مدل به سمت صفر میل داده می‌شود و رفتار سایر عوامل تحت این شرایط خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی که مدل در این شرایط نیز رفتاری منطقی و قابل توجه از خود نشان دهد، آزمون صحت رفتار مدل در شرایط حدی با موفقیت پشت سر گذاشته می‌شود.

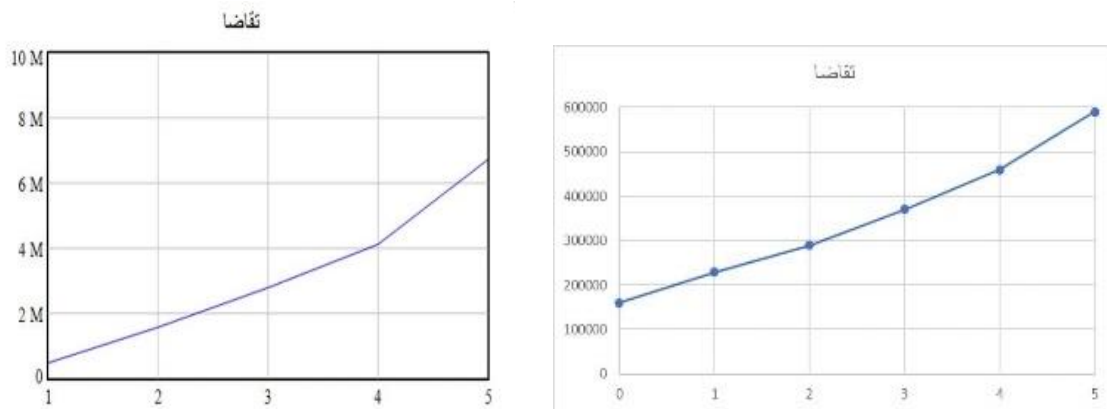
همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، با نزدیک شدن میزان کیفیت اینترنت، متغیرهای کیفیت استفاده از دوقلوی دیجیتال، کیفیت استفاده از اینترنت اشیا و استانداردسازی داده‌ها به سمت صفر حرکت خواهند کرد.

۵-۴- آزمون بازتولید رفتار (آزمون مقایسه با رفتار مرجع)

این آزمون نتایج شبیه‌سازی را با داده‌های واقعی مقایسه می‌کند تا صحت رفتار مدل را تأیید کند. در شکل ۷ نتایج شبیه‌سازی متغیر تقاضا با داده‌های واقعی آن مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۵. آزمایش و اعتبار سنجی مدل



شکل ۶. آزمون مقایسه با رفتار مرجع

افزایش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده با افزایش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری، کیفیت استفاده از فناوری اینترنت اشیا و کیفیت استفاده از دوقلوی دیجیتال در سال‌های اولیه، با شیب ملایمی افزایش می‌یابد. اما از سال سوم به بعد، این نرخ رشد به طور چشمگیری شتاب می‌گیرد و در نهایت در سال پنجم به حداکثر خود می‌رسد. ردیابی حرکت مواد از سال سوم شبیه‌سازی با شیب تندتری نسبت به سال‌های اولیه افزایش خواهد یافت. علاوه بر این، در اوایل دوره شبیه‌سازی، نرخ رشد تقاضا با شیب کمتری افزایش می‌یابد. اما از سال چهارم به بعد، این نرخ رشد با سرعت بیشتری همراه خواهد بود. میزان آلودگی زیست‌محیطی نیز با شیب ملایمی کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین قیمت تمام شده نیز با روند کاهشی تغییر خواهد کرد. در نهایت با افزایش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری در دراز مدت شاهد افزایش منابع مالی خواهیم بود. افزایش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری برای اجرای فناوری دوقلوی دیجیتال، تأثیر مستقیمی بر کیفیت استفاده از آن دارد. با این حال، این تأثیر خطی نیست و نوساناتی در طول زمان مشاهده می‌شود. الگوی نوسان در کیفیت استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال به ماهیت در حال تحول نوآوری در استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال در طول زمان نسبت داده می‌شود. رفتار نوسانی کیفیت استفاده از دوقلوی دیجیتال را می‌توان به عواملی مانند زیرساخت فناوری اطلاعات و ارتباطات و فرآیند یادگیری زمان بر برای کارکنان در هنگام انطباق با استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال نسبت داد.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، نمودار نشان‌دهنده تقاضا در پنج سال گذشته با داده‌های واقعی به‌طور نمایی در حال افزایش است. ما شبیه‌سازی را برای پنج سال آینده نیز تکرار کردیم. نتایج این شبیه‌سازی نشان‌دهنده الگوی رفتاری مشابهی با شرایط واقعی می‌باشد.

۶- نتایج شبیه‌سازی

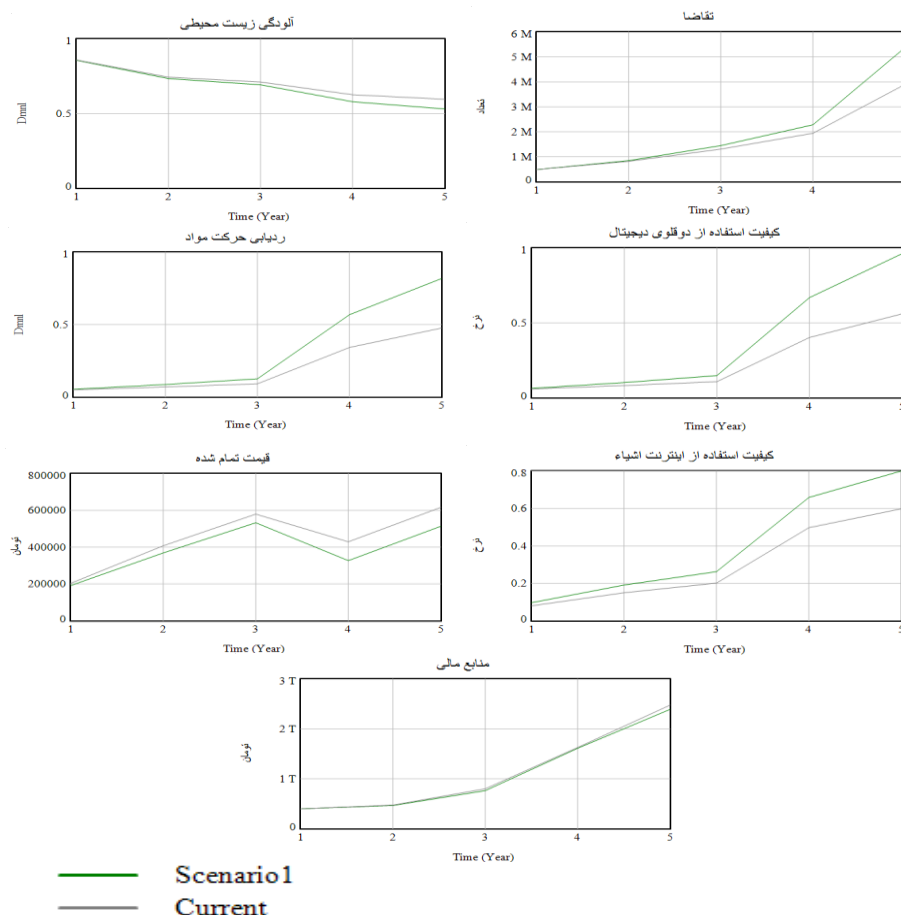
در این قسمت شبیه‌سازی رفتارهای متغیرهای کلیدی اثرگذار بر استقرار فناوری دوقلوی دیجیتال و کاربرد آن در صنعت مواد غذایی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ونسیم مورد بررسی قرار گرفته است. این نرم‌افزار قابلیت ایجاد نمودارها و نمایش بصری روابط بین متغیرها را دارد که باعث درک بهتر سیستم می‌شود.

۶-۱- اجرا و ارزیابی سیاست‌ها

در این بخش، نتایج شبیه‌سازی و تحلیل سه سناریو مورد بررسی قرار گرفته است. در سناریوی اول میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری را تغییر داده و پیامدهای آن بر متغیرهای کلیدی مدل مورد بررسی قرار گرفته است. در سناریوی دوم نرخ آموزش را افزایش داده و تأثیر آن بر سایر متغیرها مورد ارزیابی قرار گرفته است. در سناریوی سوم نیز هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری را کاهش و نرخ آموزش را افزایش داده و تأثیر آن بر سایر متغیرهای پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

۶-۱-۱- سیاست افزایش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری در صنعت مواد غذایی

در شکل ۷ رفتار متغیرهای کلیدی اثرگذار بر استقرار و کاربرد فناوری دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی در صورت



شکل ۷. نتایج سیاست افزایش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری

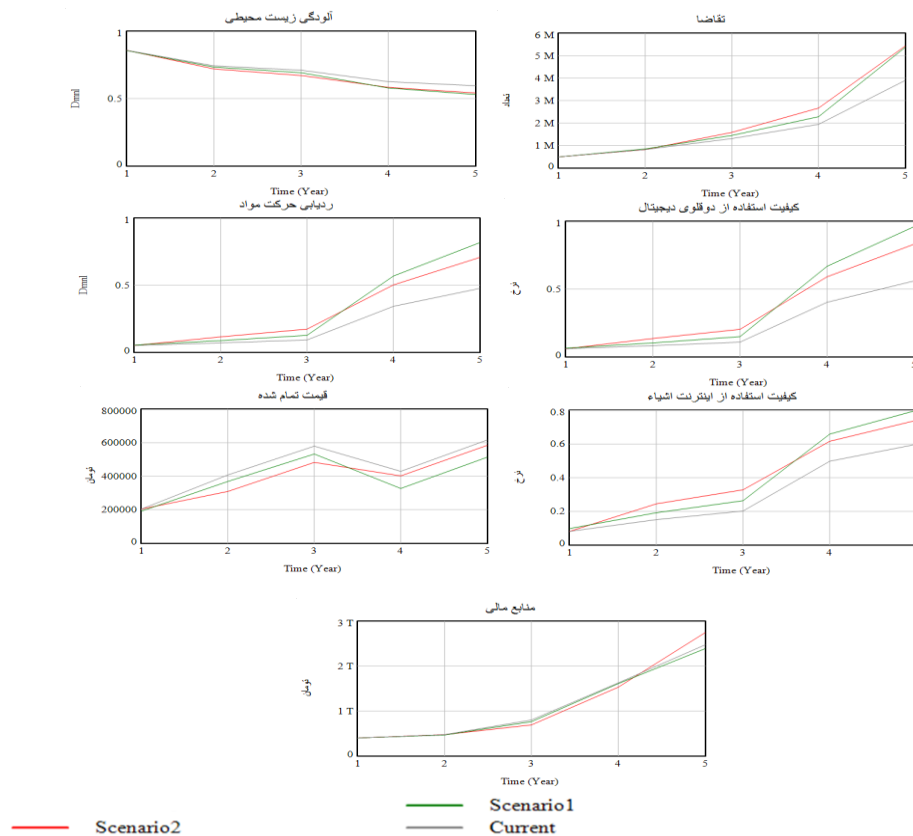
نرخ آموزش و کاهش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری نشان داده شده است.

۳-۱-۶ سیاست افزایش میزان نرخ آموزش و کاهش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری در زنجیره تأمین مواد غذایی

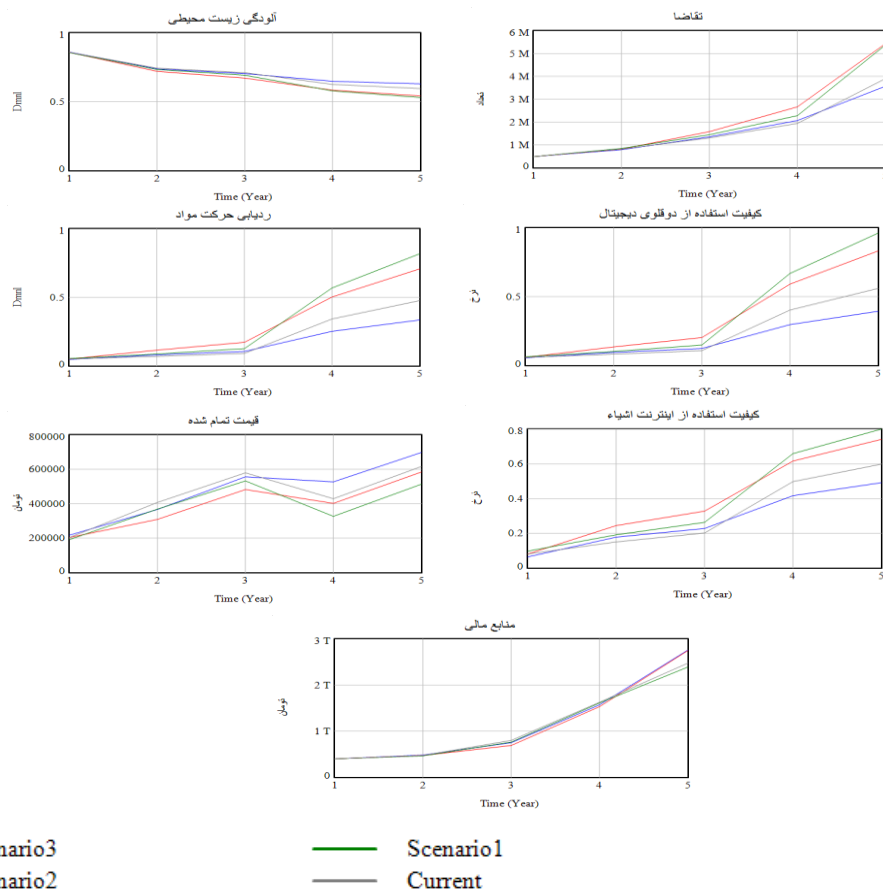
همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده شده است با افزایش میزان نرخ آموزش و کاهش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری، میزان کیفیت استفاده از اینترنت اشیا و کیفیت استفاده از دوقلوی دیجیتال و ردیابی حرکت مواد به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهند یافت. میزان آلودگی زیست محیطی نیز افزایش خواهد یافت. میزان تقاضا و منابع مالی در سال‌های ابتدایی به صورت نوسانی تغییر کرده و در گذر زمان با شیب قابل توجهی کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر، قیمت تمام شده محصول در سال‌های اول تا سوم با شیب تندتری تغییر خواهد یافت. از سال سوم تا چهارم این تغییرات ثابت باقی خواهد ماند. ولی از سال چهارم تا پنجم میزان قیمت تمام شده محصول با شیب کمتری تغییر پیدا خواهد کرد.

۲-۱-۶ سیاست افزایش میزان نرخ آموزش کارکنان در صنعت مواد غذایی

در شکل ۸ رفتار متغیرهای کلیدی اثرگذار بر استقرار و کاربرد فناوری دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی در صورت افزایش میزان نرخ آموزش کارکنان نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۸ نشان داده شده با افزایش نرخ آموزش کارکنان، میزان کیفیت استفاده از اینترنت اشیا و کیفیت استفاده از دوقلوی دیجیتال و به دنبال آن ردیابی حرکت مواد در سال سوم به بعد با شیب قابل توجهی رشد خواهد نمود. همچنین میزان آلودگی زیست محیطی نیز از سال سوم به بعد با شیب ملایمی کاهش خواهد یافت. تقاضا و منابع مالی نیز از حدود سال سوم به بعد دوره شبیه‌سازی با شیب قابل توجهی رشد خواهد کرد. قیمت تمام شده محصول نیز در سال‌های اولیه با شیب کندتری کاهش خواهد یافت. از سال سوم و چهارم با شیب ثابت تغییر خواهد کرد. ولی از سال چهارم به بعد با شیب تندتری کاهش خواهد نمود. در شکل ۹ رفتار متغیرهای کلیدی اثرگذار بر استقرار فناوری دوقلوی دیجیتال و کاربرد آن در زنجیره تأمین مواد غذایی در صورت افزایش میزان



شکل ۸. نتایج سیاست افزایش میزان نرخ آموزش کارکنان در صنعت مواد غذایی



شکل ۹. نتیجه سیاست افزایش میزان نرخ آموزش و کاهش میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری در زنجیره تأمین مواد غذایی

۷- نتیجه‌گیری

می‌روند. با توجه به عدم مهارت و دانش کافی کارکنان و میزان مقاومت آن‌ها نسبت به پذیرش فناوری دوقلوی دیجیتال، کیفیت استفاده از این فناوری در سال‌های ابتدایی مطلوب نبوده و در گذر زمان رشد خواهد کرد. با آموزش کارکنان و استفاده از خبرگان متخصص در زمینه فناوری دوقلوی دیجیتال، علاوه بر افزایش مهارت و توانایی آن‌ها، می‌توان میزان مقاومت کارکنان را نسبت به پذیرش این فناوری کاهش داد. به عبارت دیگر، با افزایش دانش و مهارت کارکنان، درک آن‌ها نسبت به فواید و منافع حاصل از به کارگیری فناوری دوقلوی دیجیتال افزایش یافته و مقاومت‌های احتمالی آن‌ها در جهت پذیرش این فناوری کاهش خواهد یافت.

همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در صورت استقرار فناوری دوقلوی دیجیتال، ردیابی حرکت مواد غذایی افزایش می‌یابد. در حال حاضر، ردیابی حرکت مواد در زنجیره تأمین مواد غذایی چالش‌برانگیز و پرهزینه است. دوقلوی دیجیتال می‌تواند با استفاده از فناوری‌های مانند^۱ RFID، سنسورها و بلاک‌چین، به طور دقیق و با در نظر گرفتن داده‌های زمان واقعی، محل و وضعیت مواد غذایی را در زنجیره تأمین ردیابی کند. این امر به بهبود شفافیت، کاهش ضایعات و آلودگی زیست‌محیطی کمک می‌کند. استقرار دوقلوی دیجیتال، کیفیت محصولات را افزایش می‌دهد و این امر، تمایل و خرید بیشتر مصرف‌کنندگان و در نتیجه افزایش تقاضا را به دنبال دارد. با وجود زمان‌بر بودن استقرار کامل دوقلوی دیجیتال و وابستگی آن به کیفیت اجرا، تقاضا برای محصولات در سال‌های اولیه رشد خواهد کرد و در گذر زمان با بهبود عملکرد این فناوری، شاهد جهش قابل توجهی در این زمینه خواهیم بود. افزایش تقاضا، رضایت مشتریان را به همراه دارد و در بلندمدت، قیمت تمام شده محصول را کاهش و منابع مالی را افزایش می‌دهد.

در این پژوهش سه سناریو به منظور ارائه راهکارهایی در جهت استفاده هر چه بهتر از فناوری دوقلوی دیجیتال و کاربرد آن در صنعت مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌های حاصل از سناریوی اول نشان داد که با تخصیص میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری از جمله دسترسی به اینترنت پر سرعت و هزینه‌های تعمیرات و نگهداری مرتبط با فناوری دوقلوی دیجیتال، کیفیت استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال بهبود خواهد یافت که این یافته پژوهش با یافته‌های حاصل از مطالعه صورت گرفته توسط بونومی و دروبوت^۲ (۲۰۲۳) مطابقت دارد. از دیگر نتایج به دست آمده در این سناریو افزایش میزان ردیابی مواد غذایی است. با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناوری مانند سنسورها و اینترنت

صنعت مواد غذایی نقش حیاتی در سلامت و رفاه جامعه ایفا می‌کند. و به عنوان یکی از ارکان اصلی اقتصاد، سهم بسزایی در اشتغال‌زایی و توسعه پایدار دارد. با وجود پتانسیل‌های موجود در این صنعت، با چالش‌های متعددی روبرو است. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، پیچیدگی زنجیره تأمین مواد غذایی است. این زنجیره شامل مراحل متعددی از جمله تولید، فرآوری، توزیع و فروش است که هر کدام با چالش‌های خاص خود روبرو هستند. این پیچیدگی باعث می‌شود تا مدیریت و نظارت بر این زنجیره به امری دشوار و پرهزینه تبدیل شود. همچنین، فقدان شفافیت در زنجیره تأمین مواد غذایی، امکان ردیابی و رصد محصولات را از مبدأ تا مقصد دشوار می‌کند. این امر می‌تواند منجر به تقلب، ضایعات و عدم اطمینان از کیفیت و سلامت مواد غذایی شود. ضایعات مواد غذایی در تمام مراحل زنجیره تأمین، از جمله در مزارع، حین حمل‌ونقل، در انبارها و در فروشگاه‌ها اتفاق می‌افتد. این ضایعات نه تنها باعث هدر رفتن منابع ارزشمند می‌شود، بلکه به محیط‌زیست نیز آسیب می‌رساند. از طرف دیگر، بسیاری از فرآیندها در صنعت مواد غذایی به صورت سنتی و دستی انجام می‌شوند که این امر باعث ناکارآمدی، اتلاف وقت و افزایش هزینه‌ها می‌شود. در طی سالیان اخیر با توسعه و پیشرفت فناوری اطلاعات و ارتباطات، صنایع غذایی و تولیدی نیز پیشرفت قابل توجهی داشته‌اند. بنابراین استفاده از فناوری‌های جدید از جمله فناوری دوقلوی دیجیتال می‌تواند صنعت مواد غذایی را متحول کرده و عملکرد آن را بهبود بخشد.

هدف از این پژوهش، ارائه مدل شبیه‌سازی برای بررسی روابط علت و معلولی بین عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال در زنجیره تأمین مواد غذایی است. ابتدا، عوامل مؤثر بر فناوری دوقلوی دیجیتال در این صنعت، بر اساس ادبیات و پیشینه پژوهش، شناسایی شدند. سپس، این عوامل بر اساس نظرات خبرگان دانشگاهی و مدیران و کارشناسان متخصص در حوزه مواد غذایی مورد تأیید قرار گرفتند. در ادامه، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، مدل علت و معلولی بین عوامل مؤثر و نتایج استقرار دوقلوی دیجیتال در صنعت مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی پویایی سیستم در این پژوهش نشان داد که تخصیص میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری، افزایش نرخ آموزش و مهارت کارکنان از جمله عوامل مؤثر در جهت استقرار هر چه بهتر فناوری دوقلوی دیجیتال به شمار

² Bonomi & Drobot¹ Radio Frequency Identification

نتایج حاصل از مقایسه دو سناریوی مورد بررسی نشان می‌دهد که تخصیص میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری (سناریوی اول)، تأثیر به مراتب بیشتری بر کیفیت استفاده از اینترنت اشیاء و دوقلوی دیجیتال در مقایسه با افزایش نرخ آموزش کارکنان (سناریوی دوم) دارد. افزایش تخصیص میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری، منجر به ارتقای قابل توجه کیفیت استفاده از اینترنت اشیاء می‌شود. این امر به دلیل بهبود پهنای باند، پایداری و امنیت شبکه است که برای عملکرد صحیح اینترنت اشیاء ضروری هستند. تأثیر نرخ آموزش کارکنان بر کیفیت استفاده از اینترنت اشیاء، کمتر از سرمایه‌گذاری در زیرساخت است. با این وجود، آموزش می‌تواند به استفاده کارآمدتر از اینترنت اشیاء و افزایش دقت داده‌های جمع‌آوری شده کمک کند. همانند اینترنت اشیاء، سرمایه‌گذاری در زیرساخت فناوری تأثیر چشمگیری بر کیفیت استفاده از دوقلوی دیجیتال دارد. زیرساخت‌های قوی شبکه‌ای، بستر لازم برای جمع‌آوری، انتقال و تحلیل حجم عظیمی از داده‌های مورد نیاز دوقلوی دیجیتال را فراهم می‌کنند. آموزش کارکنان در مورد نحوه استفاده از دوقلوی دیجیتال، نقش مهمی در بهینه‌سازی عملکرد این فناوری ایفا می‌کند. با آموزش مناسب، کارکنان می‌توانند به طور موثرتری از دوقلوی دیجیتال برای حل چالش‌های زنجیره تأمین و ارتقای کارایی فرآیندها استفاده کنند. با توجه به نتایج این پژوهش، سرمایه‌گذاری در زیرساخت فناوری باید در اولویت قرار گیرد. چرا که این امر تأثیر به مراتب بیشتری بر کیفیت عملکرد اینترنت اشیاء و دوقلوی دیجیتال و در نهایت کارایی زنجیره تأمین مواد غذایی دارد.

همچنین میزان تغییرات کیفیت استفاده از دوقلوی دیجیتال در سناریوی اول (تخصیص میزان هزینه ارتقاء سرعت اینترنت و زیرساخت‌های فناوری) نسبت به سناریوی دوم (افزایش نرخ آموزش) بیشتر است. به عبارتی دیگر نتایج این بخش نشان می‌دهد که فراهم کردن زیرساخت‌های مناسب به منظور استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال در اولویت قرار دارد. از دیگر نتایج بدست آمده از مقایسه دو سناریو می‌توان به تأثیر قابل توجه افزایش ساعات آموزش در پذیرش استفاده از دوقلوی دیجیتال اشاره کرد که این امر منجر به بهبود ردیابی محصولات، کاهش آلودگی زیست محیطی، کاهش قیمت تمام شده محصول و افزایش تقاضا و افزایش منابع مالی خواهد شد.

یافته‌های سناریوی سوم نشان می‌دهد که با کاهش سرمایه‌گذاری در زیرساخت فناوری و اینترنت، کیفیت استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال به طور قابل توجهی افت می‌کند. این امر به دلیل وابستگی

اشیاء، می‌توان ردیابی محصولات را در سراسر زنجیره تأمین به طور چشمگیری ارتقا داد. این امر منجر به افزایش کارایی، کاهش ضایعات و آلودگی زیست محیطی و همچنین ارائه خدمات به مشتریان در سطح بالاتر می‌شود. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است این سرمایه‌گذاری‌ها می‌توانند تقاضا برای محصولات غذایی را به طور مستقیم و غیرمستقیم افزایش دهند. از یک سو، ردیابی دقیق‌تر به مصرف‌کنندگان اطمینان بیشتری از کیفیت و ایمنی مواد غذایی می‌دهد و از سوی دیگر، افزایش کارایی و کاهش ضایعات می‌تواند منجر به قیمت‌های پایین‌تر برای محصولات شود. در نهایت، خدمات به مشتریان بهتر می‌تواند وفاداری به برند و میزان تقاضا را افزایش دهد. علاوه بر این، افزایش تقاضا می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در مقیاس و کاهش بیشتر قیمت تمام شده محصولات شود. این امر چرخه‌ای مثبت در جهت افزایش میزان منابع مالی ایجاد می‌کند که در نهایت به نفع مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان مواد غذایی خواهد بود.

یافته‌های حاصل از سناریوی دوم نشان داد که با افزایش ساعات آموزش کارکنان، مهارت‌ها و توانایی آن‌ها نسبت به استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال افزایش می‌یابد. افزایش سطح آموزش کارکنان باعث می‌شود که استانداردسازی و مدیریت داده‌ها بهتر انجام شود. این امر به استقرار موفق دوقلوی دیجیتال منجر می‌شود. در طول دوره پنج ساله شبیه‌سازی، شاهد جهشی چشمگیر در کیفیت به‌کارگیری دوقلوی دیجیتال خواهیم بود که در سال پنجم به اوج خود خواهد رسید. این پیشرفت قابل توجه، منجر به تولید محصولاتی با کیفیتی برتر و در نتیجه افزایش تقاضا برای آن‌ها خواهد شد. به دنبال این افزایش تقاضا، شاهد رضایت بیشتر مصرف‌کنندگان خواهیم بود که این امر پیامدهای مثبتی همانند تمایل به خرید بیشتر محصولات توسط مشتریان و در نهایت، افزایش منابع مالی به همراه خواهد داشت. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است میزان منابع مالی در دوره‌های اول شبیه‌سازی با شیب ملایمی افزایش می‌یابد اما از سال سوم به بعد با شیب تندتری رشد خواهد کرد. این امر به دلیل این است که اسقرار دوقلوی دیجیتال در سال‌های اولیه ممکن است بخاطر هزینه‌هایی که در پی خواهد داشت منجر به سود و افزایش درآمد نشود. با افزایش سطح مهارت و توانایی کارکنان میزان مقاومت آن‌ها و میزان کیفیت استفاده از اینترنت اشیاء به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. که در این راستا ردیابی حرکت مواد نیز بهبود می‌یابد. این امر باعث می‌شود میزان ضایعات مواد غذایی کاهش پیدا کرده و آلودگی‌های زیست محیطی کاهش یابد.

شرکت‌های فعال در این صنعت شود. در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود از فناوری‌های دیگری مانند اینترنت اشیاء، سیستم‌های سایبر-فیزیکی، بلاک‌چین و هوش مصنوعی نیز برای ارتقای زنجیره تأمین مواد غذایی استفاده شود. یا از روش‌های دیگری برای بررسی اسقرار و کاربرد دوقلوی دیجیتال در صنعت مواد غذایی استفاده شود. همچنین می‌توان به بررسی روابط علی و معلولی بین استقرار دوقلوی دیجیتال و نتایج حاصل از آن در صنایع مختلف، مانند صنعت گردشگری، پرداخت.

مراجع

- [1] Davis, K.F., S. Downs, and J.A. Gephart, *Towards food supply chain resilience to environmental shocks*. Nature Food, 2021. 2(1): p. 54-65.
 - [2] Iftikhar, A. and X. Cui, *Blockchain-based traceability system that ensures food safety measures to protect consumer safety and COVID-19 free supply chains*. Foods, 2021. 10(6): p. 1289.
 - [3] Mesterházy, Á., J. Oláh, and J. Popp, *Losses in the grain supply chain: Causes and solutions*. Sustainability, 2020. 12(6): p. 2342.
 - [4] Talaie, H., M. Ziaeeian, and P. Malekinejad, *Designing the establishment and implementation model of quality 4.0 with the integrated approach of interpretive structural modeling and structural equation modeling*. Journal of quality engineering and management, 2022. 12(1): p. 51-68.
 - [5] Patidar, A., et al., *Traceability and transportation issues in the food supply chain*, in *Operations and Supply Chain Management in the Food Industry: Farm to Fork*. 2022, Springer. p. 73-93.
 - [6] Ayokanmbi, F.M. and J. Oluwoye, *Improving consumer confidence in food safety and nutritional quality*. J. Multidiscip. Eng. Sci. Technol, 2020. 7: p. 12723-12728.
 - [7] Sharif, A.M. and Z. Irani, *Policy making for global food security in a volatile, uncertain, complex and ambiguous (VUCA) world*. Transforming Government: People, Process and Policy, 2017. 11(4): p. 523-534.
 - [8] Paciarotti, C. and F. Torregiani, *The logistics of the short food supply chain: A literature review*. Sustainable Production and Consumption, 2021. 26: p. 428-442.
 - [9] Kumar, A. and S. Agrawal, *Challenges and opportunities for agri-fresh food supply chain management in India*. Computers and Electronics in Agriculture, 2023. 212: p. 108161.
 - [10] Shen, G., et al., *The status of the global food waste mitigation policies: experience and inspiration for China*. Environment, Development and Sustainability, 2024. 26(4): p. 8329-8357.
 - [11] Jayalath, M.M., et al. *Adopting Circular Economy Paradigm to Waste Prevention: Investigating Waste Drivers in Vegetable Supply Chains*. in *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. 2023. Springer.
 - [۱۲] مقدم، ز.ک. و غ. ثالث، بهبود سیستم تشخیص نفوذ در اینترنت اشیاء صنعتی مبتنی بر یادگیری عمیق با استفاده الگوریتم‌های فراابتکاری. فصلنامه فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران. ۵۷(۵۷): ص ۱۶۵.
 - [۱۳] شمس، و همکاران. بهبود مدیریت منابع در اینترنت اشیاء با استفاده از محاسبات مه و الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه. فصلنامه فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران. ۵۷(۵۷): ص ۲۳۷.
 - [14] Attaran, S., M. Attaran, and B.G. Celik, *Digital Twins and Industrial Internet of Things: Uncovering operational intelligence in industry 4.0*. Decision Analytics Journal, 2024. 10: p. 100398.
 - [15] Liu, Y., et al., *A review of digital twin capabilities, technologies, and applications based on the maturity model*. Advanced Engineering Informatics, 2024. 62: p. 102592.
- شدید این فناوری به زیرساخت‌های شبکه‌ای است. کاهش کیفیت دوقلوی دیجیتال پیامدهای منفی متعددی در زنجیره تأمین مواد غذایی به همراه دارد. کاهش کیفیت دوقلوی دیجیتال، رصد و ردیابی دقیق مسیر مواد غذایی در زنجیره تأمین را دشوار می‌کند. این افت، دید کلی از زنجیره تأمین را مختل کرده و آگاهی از مکان، وضعیت و دمای محصولات در هر لحظه را با مشکل مواجه می‌کند. بدون اطلاعات دقیق، شناسایی نقاط ضعف و مشکلات زنجیره تأمین که منجر به فساد یا هدر رفتن مواد غذایی می‌گردد، دشوارتر می‌شود. این امر، افزایش ضایعات مواد غذایی و آلودگی محیط‌زیست را به دنبال خواهد داشت. عملکرد ضعیف دوقلوی دیجیتال در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، می‌تواند بر کیفیت فرآیند تولید و در نهایت کیفیت محصولات نهایی تأثیر منفی بگذارد. افت کیفیت محصولات ناشی از عملکرد ضعیف دوقلوی دیجیتال، اعتماد مصرف‌کنندگان به برند محصولات غذایی را کاهش می‌دهد. این امر به دلیل عدم انطباق محصولات با انتظارات مصرف‌کنندگان ایجاد می‌شود که به نوبه خود تقاضا برای محصولات غذایی را کاهش می‌دهد. کاهش تقاضا با کاهش عرضه مواد اولیه همراه است. این امر می‌تواند منجر به افزایش قیمت تمام شده مواد اولیه و در نهایت افزایش قیمت نهایی محصول شود. بدیهی است که با کاهش تقاضا، تعداد واحدهای محصول جهت فروش نیز کاهش می‌یابد. این امر به طور مستقیم درآمد حاصل از فروش و به طور کلی منابع مالی را کاهش می‌دهد. افت کیفیت اینترنت اشیاء نیز در این سناریو مشهود است. اینترنت اشیاء نقش کلیدی در جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای عملکرد دوقلوی دیجیتال ایفا می‌کند. با افت کیفیت اینترنت اشیاء، میزان و دقت داده‌های جمع‌آوری شده کاهش می‌یابد که به نوبه خود بر عملکرد دوقلوی دیجیتال و پیامدهای ذکر شده در بالا تأثیر منفی می‌گذارد.
- به طور کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با استقرار فناوری دوقلوی دیجیتال می‌توان مسیر حرکت محصولات غذایی را از مزرعه تا سفره به طور دقیق و لحظه‌ای رصد کرد. این امر به شفافیت زنجیره تأمین، جلوگیری از تقلب و تضمین کیفیت محصولات کمک می‌کند. همچنین با تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده توسط دوقلوی دیجیتال، می‌توان نقاط ضعف زنجیره تأمین را شناسایی و اقدامات لازم برای کاهش ضایعات مواد غذایی را انجام داد. و با بهینه‌سازی فرآیندها و کاهش ضایعات، می‌توان به طور قابل توجهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیست کاست. از طرفی، با ارائه اطلاعات دقیق و به موقع به مصرف‌کنندگان در مورد محصولات غذایی، می‌توان اعتماد و رضایت آنها را جلب و تقاضا برای این محصولات را افزایش داد. بهبود کارایی زنجیره تأمین و کاهش هزینه‌ها، می‌تواند منجر به افزایش سودآوری و منابع مالی برای

- [36] Maheshwari, P., et al., *Digital twin implementation for performance improvement in process industries-A case study of food processing company*. International Journal of Production Research, 2023. **61**(23): p. 8343-8365.
- [37] Talaie, H., M. Ziaeiian, and P. Malekinejad, *Towards quality 4.0 in home appliances: definitions, deployment scenarios, and future perspectives*. Journal of Manufacturing Technology Management, 2024. **35**(7): p. 1416-1438.
- [38] Größler, A., J.H. Thun, and P.M. Milling, *System dynamics as a structural theory in operations management*. Production and operations management, 2008. **17**(3): p. 373-384.
- [39] Manzini, R. and R. Accorsi, *The new conceptual framework for food supply chain assessment*. Journal of food engineering, 2013. **115**(2): p. 251-263.
- [40] Ghandar, A., et al., *A decision support system for urban agriculture using digital twin: A case study with aquaponics*. Ieee Access, 2021. **9**: p. 35691-35708.
- [41] Onwude, D., et al., *Physics-driven digital twins to quantify the impact of pre-and postharvest variability on the end quality evolution of orange fruit*. Resources, Conservation and Recycling, 2022. **186**: p. 106585.
- [42] Gallego-García, S., D. Gallego-García, and M. García-García, *Sustainability in the agri-food supply chain: a combined digital twin and simulation approach for farmers*. Procedia Computer Science, 2023. **217**: p. 1280-1295.
- [43] Yadav, V.S. and A. Majumdar, *What impedes digital twin from revolutionizing agro-food supply chain? Analysis of barriers and strategy development for mitigation*. Operations Management Research, 2024: p. 1-17.
- [44] Sterman, J., *System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. 2002.
- [45] Möllers, T., et al. *Design and evaluation of a system dynamics based business model evaluation method*. in *Designing the Digital Transformation: 12th International Conference, DESRIST 2017, Karlsruhe, Germany, May 30–June 1, 2017, Proceedings 12*. 2017. Springer.
- [46] Adane, T.F., et al., *Application of system dynamics for analysis of performance of manufacturing systems*. Journal of Manufacturing Systems, 2019. **53**: p. 212-233.
- [47] Turner, B.L., et al., *System dynamics modeling for agricultural and natural resource management issues: Review of some past cases and forecasting future roles*. Resources, 2016. **5**(4): p. 40.
- [48] Ziaeiian, M., et al., *Investigating how knowledge management affects the implementation of Industry 4.0 in the home appliance industry of the country*. Sciences and Techniques of Information Management, 2023. **9**(4): p. 261-292.
- [49] Karnopp, D.C., D.L. Margolis, and R.C. Rosenberg, *System dynamics: modeling, simulation, and control of mechatronic systems*. 2012: John Wiley & Sons.
- [50] Sterman, J.D., *System dynamics modeling: tools for learning in a complex world*. California management review, 2001. **43**(4): p. 8-25.
- [51] Fildes, R., S. Ma, and S. Kolassa, *Retail forecasting: Research and practice*. International Journal of Forecasting, 2022. **38**(4): p. 1283-1318.
- [52] Van Nguyen, T., et al., *Predicting customer demand for remanufactured products: A data-mining approach*. European Journal of Operational Research, 2020. **281**(3): p. 543-558.
- [53] Anisere-Hameed, R.A. and T.D. Bodunde, *The impact of inventory management on the profitability of manufacturing companies in Nigeria*. International Journal of Innovative Research and Advanced Studies (IJIRAS), 2021. **8**(1): p. 9-15.
- [54] Sakib, S.N., *The application of the inventory models to manage and control overstocking in the production system*. 2021.
- [55] Altekar, R.V., *Supply chain management: Concepts and cases*. 2023: PHI Learning Pvt. Ltd.
- [56] Hutt, M.D. and T.W. Speh, *Business marketing management: B2B*. 2021: South-Western, Cengage Learning.
- [16] Sutar, P., J. Olivares-Aguila, and A. Vital-Soto, *An Offline Digital Twin for Resilience and Supplier Reliability in Perishable Food Supply Chains*.
- [17] Zafar, M.H., E.F. Langås, and F. Sanfilippo, *Exploring the synergies between collaborative robotics, digital twins, augmentation, and industry 5.0 for smart manufacturing: A state-of-the-art review*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2024. **89**: p. 102769.
- [18] Liao, H., et al., *Climate change, its impact on emerging infectious diseases and new technologies to combat the challenge*. Emerging Microbes & Infections, 2024(just-accepted): p. 2356143.
- [19] Ahire, J.J., et al., *Quality Management of Probiotics: Ensuring Safety and Maximizing Health Benefits*. Current Microbiology, 2024. **81**(1): p. 1.
- [20] Myshko, A., et al., *Towards twin transition in the agri-food sector? Framing the current debate on sustainability and digitalisation*. Journal of Cleaner Production, 2024: p. 142063.
- [21] Lim, K.Y.H. and C.-H. Chen, *Incorporating supply and production digital twins to mitigate demand disruptions in multi-echelon networks*. International Journal of Production Economics, 2024: p. 109258.
- [22] Maheshwari, P., et al., *Digital twin-driven real-time planning, monitoring, and controlling in food supply chains*. Technological Forecasting and Social Change, 2023. **195**: p. 122799.
- [23] Dyck, G., et al., *Digital Twins: A novel traceability concept for post-harvest handling*. Smart Agricultural Technology, 2023. **3**: p. 100079.
- [24] Omrany, H., et al., *Digital twins in the construction industry: a comprehensive review of current implementations, enabling technologies, and future directions*. Sustainability, 2023. **15**(14): p. 10908.
- [25] Drobnyi, V., et al., *Construction and maintenance of building geometric digital twins: state of the art review*. Sensors, 2023. **23**(9): p. 4382.
- [26] Mohandes, S.R., et al., *Determining the stationary digital twins implementation barriers for sustainable construction projects*. Smart and Sustainable Built Environment, 2024.
- [27] Venkatesh, K.P., G. Brito, and M.N. Kamel Boulos, *Health digital twins in life science and health care innovation*. Annual Review of Pharmacology and Toxicology, 2024. **64**: p. 159-170.
- [28] Subasi, A. and M.E. Subasi, *Digital twins in healthcare and biomedicine*, in *Artificial Intelligence, Big Data, Blockchain and 5G for the Digital Transformation of the Healthcare Industry*. 2024, Elsevier. p. 365-401.
- [29] Kaul, R., et al., *The role of AI for developing digital twins in healthcare: The case of cancer care*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 2023. **13**(1): p. e1480.
- [30] Damte, A.W., *Roles of digital twins on material performances and utilization on upstream industry (The case of automotive industry)*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2024. **130**(7): p. 3525-3536.
- [31] Li, X., W. Niu, and H. Tian, *Application of Digital Twin in Electric Vehicle Powertrain: A Review*. World Electric Vehicle Journal, 2024. **15**(5): p. 208.
- [32] Burgos, D. and D. Ivanov, *Food retail supply chain resilience and the COVID-19 pandemic: A digital twin-based impact analysis and improvement directions*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2021. **152**: p. 102412.
- [33] Melesse, T.Y., et al., *Machine learning-based digital twin for monitoring fruit quality evolution*. Procedia Computer Science, 2022. **200**: p. 13-20.
- [34] Singh, G., et al., *Resilience and sustainability enhancements in food supply chains using Digital Twin technology: A grey causal modelling (GCM) approach*. Computers & Industrial Engineering, 2023. **179**: p. 109172.
- [35] Melesse, T.Y., et al., *Analyzing the Implementation of Digital Twins in the Agri-Food Supply Chain*. Logistics, 2023. **7**(2): p. 33.

- [76] Basyal, D.K. and P.D.J. Wan, *Employees' resistance to change and technology acceptance in Nepal*. South Asian Studies, 2020. **32**(2).
- [77] Elgohary, E. and R. Abdelazyz, *The impact of employees' resistance to change on implementing e-government systems: An empirical study in Egypt*. The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries, 2020. **86**(6): p. e12139.
- [78] Paluri, R.A. and A. Mishal, *Trust and commitment in supply chain management: a systematic review of literature*. Benchmarking: an international journal, 2020. **27**(10): p. 2831-2862.
- [79] Nguyen, C.T., *Trust as an unquestioning attitude*. 2022.
- [80] Pu ,G., et al., *Innovative finance, technological adaptation and SMEs sustainability: the mediating role of government support during COVID-19 pandemic*. Sustainability, 2021. **13**(16): p. 9218.
- [81] Chen, C.-L., et al., *Role of government to enhance digital transformation in small service business*. Sustainability, 2021. **13**(3): p. 1028.
- [82] Liu, T.Y. and C.C. Lee, *Exchange rate fluctuations and interest rate policy*. International Journal of Finance & Economics, 2022. **27**(3): p. 3531-3549.
- [83] Alasha, R.U., *The impact of exchange rate fluctuations on economic growth in Nigeria*. A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for The Award of Bachelors of Science (B. Sc.) Degree in Economics. Department of Economics, Faculty of Management and Social Sciences Baze University, Abuja, 2020.
- [84] Liu, J., Y. Liu, and L. Yang, *Uncovering the influence mechanism between top management support and green procurement: The effect of green training*. Journal of Cleaner Production, 2020. **251**: p. 119674.
- [85] Zhen, J., Z. Xie, and K. Dong, *Impact of IT governance mechanisms on organizational agility and the role of top management support and IT ambidexterity*. International Journal of Accounting Information Systems, 2021. **40**: p. 100501.
- [86] Mehale, K.D., C.M. Govender, and C.M. Mabaso, *Maximising training evaluation for employee performance improvement*. SA Journal of Human Resource Management, 2021. **19**: p. 11.
- [87] Burhan Ismael, N., et al., *The role of training and development on organizational effectiveness*. Ismael ,NB, Othman, BJ, Gardi, B., Hamza, PA, Sorguli, S., Aziz, HM, Ahmed, SA, Sabir, BY, Ali, BJ, Anwar, G.(2021). The Role of Training and Development on Organizational effectiveness. International Journal of Engineering, Business and Management, 2021. **5**(3): p. 15-24.
- [88] Hajiali, I., et al., *Determination of work motivation, leadership style, employee competence on job satisfaction and employee performance*. Golden Ratio of Human Resource Management, 2022. **2**(1): p. 57-69.
- [89] Saniuk, S., D. Caganova, and A. Saniuk, *Knowledge and skills of industrial employees and managerial staff for the industry 4.0 implementation*. Mobile Networks and Applications, 2023. **28**(1): p. 220-230.
- [90] Kush, R.D., et al., *FAIR data sharing: the roles of common data elements and harmonization*. Journal of biomedical informatics, 2020. **107**: p. 103421.
- [91] Papadimitroulas, P., et al., *Artificial intelligence: Deep learning in oncological radiomics and challenges of interpretability and data harmonization*. Physica Medica, 2021. **83**: p. 108-121.
- [92] Zainab, A., et al., *Big data management in smart grids: Technologies and challenges*. IEEE Access, 2021. **9**: p. 73046-73059.
- [93] Diène, B., et al., *Data management techniques for Internet of Things*. Mechanical Systems and Signal Processing, 2020 :**١٣٨** .p. 106564.
- [57] Hasfar, M., T. Militina, and G.N. Achmad, *Effect of customer value and customer experience on customer satisfaction and loyalty PT meratus samarinda*. International Journal of Economics. Business and Accounting Research (IJEBAR), 2020. **4**(01).
- [58] Jaiswal, S. and A. Singh, *Influence of the determinants of online customer experience on online customer satisfaction*. Paradigm, 2020. **24**(1): p. 41-55.
- [59] Putri, P., *The effect of operating cash flows, sales growth, and operating capacity in predicting financial distress*. International Journal of Innovative Science and Research Technology, 2021. **6**(1): p. 638-646.
- [60] Giarto, R.V.D. and F. Fachrurrozie, *The effect of leverage, sales growth, cash flow on financial distress with corporate governance as a moderating variable*. Accounting Analysis Journal, 2020. **9**(1): p. 15-21.
- [61] Zakirova, A., et al. *Organizational and methodological approach to managing financial flows of agricultural enterprises*. in E3S web of conferences. 2020. EDP Sciences.
- [62] Atmaja, D.S., et al., *Actualization Of Performance Management Models For The Development Of Human Resources Quality, Economic Potential, And Financial Governance Policy In Indonesia Ministry Of Education*. 2022.
- [63] Fedushko, S., T. Ustyianovych, and M. Gregus, *Real-time high-load infrastructure transaction status output prediction using operational intelligence and big data technologies*. Electronics, 2020. **9**(4): p. 668.
- [64] Hou, C.-K., *The effects of IT infrastructure integration and flexibility on supply chain capabilities and organizational performance: An empirical study of the electronics industry in Taiwan*. Information Development, 2020. **36**(4): p. 576-602.
- [65] Plawsky, J.L., *Transport phenomena fundamentals*. 2020: CRC press.
- [66] Verlinghieri, E. and T. Schwanen, *Transport and mobility justice: Evolving discussions*. Journal of Transport Geography, 2020. **87**: p. 102798.
- [67] Zhang, X., et al., *A critical review on challenges and trend of ultrapure water production process*. Science of The Total Environment, 2021. **785**: p. 147254.
- [68] Santos, D., J.A.L. da Silva, and M. Pintado, *Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities*. Lwt, 2022. **154**: p. 112707.
- [69] Mahsyar, S. and U. Surapati, *Effect of service quality and product quality on customer satisfaction and loyalty*. International Journal of Economics, Business and Accounting Research (IJEBAR), 2020. **4**(01).
- [70] Chaerudin, S.M. and A. Syafarudin, *The effect of product quality, service quality, price on product purchasing decisions on consumer satisfaction*. Ilomata International Journal of Tax and Accounting, 2021. **2**(1): p. 61-70.
- [71] Mubaslat, E.A., *Introduction to waste management*. 2021, Jordan.
- [72] Liboiron, M. and J. Lepawsky, *Discard studies: Wasting, systems, and power*. 2022: MIT Press.
- [73] Sharma, A.K., et al., *Mapping the impact of environmental pollutants on human health and environment: A systematic review and meta-analysis*. Journal of Geochemical Exploration, 2023: p. 107325.
- [74] Ajibade, F.O., et al., *Environmental pollution and their socioeconomic impacts, in Microbe mediated remediation of environmental contaminants*. 2021, Elsevier. p. 321-354.
- [75] Osborne, D. and F. Dempsey, *Supply chain management for bulk materials in the coal industry*, in *The Coal Handbook*. 2023, Elsevier. p. 619-664.

معادلات ریاضی مدل پویایی سیستم

(۱)

Skill=

IF THEN ELSE (Training<50, 0.12, IF THEN ELSE(Training>50:AND:Training<=90, 0.2, IF THEN ELSE(Training>90:AND:Training<=130, 0.23, IF THEN ELSE(Training>140:AND:Training<=190, 0.26, IF THEN ELSE(Training>190:AND:Training<=210, 0.32, IF THEN ELSE(Training>210:AND:Training<=230, 0.52, IF THEN ELSE(Training>230:AND:Training<=260, 0.63, IF THEN ELSE (Training>260:AND:Training<=280, 0.78, 0.96))))))))

(۲)

Training=

IF THEN ELSE (resistance<=0.2, 450, IF THEN ELSE (resistance>0.2:AND: resistance <=0.3, 400, IF THEN ELSE (resistance>0.3:AND: resistance<=0.4, 350, IF THEN ELSE (resistance>0.4:AND: resistance<=0.5, 300, IF THEN ELSE (resistance>0.5:AND: resistance<=0.6, 250, IF THEN ELSE (resistance>0.6:AND: resistance<=0.7, 200, 150))))))

(۳)

(کیفیت استفاده از اینترنت اشیاء*0.95)= استانداردسازی داده‌ها

(۴)

(حمایت مدیریت ارشد*0.75)=اعتماد

تسهیلات

(۵) = RAMP(1.5e+09, 0, 5)+(6e+09*کیفیت استفاده از دوقلوی دیجیتال)

(۶)

RAMP(300000, 0, 5)=خرید مواد اولیه

(۷)

INTEG (200000,نرخ ضایعات-بازیافت-نرخ دفع ضایعات)=ضایعات

(۸)

(تولید)+(هزینه نیروی کار/تولید/تولید)+(هزینه حمل و نقل/هزینه‌های عمومی/تولید)+(هزینه خرید مواد اولیه=قیمت تمام شده

(۹)

قیمت تمام شده+(قیمت تمام شده*۰.۵)=قیمت نهایی

(۱۰)

استانداردسازی داده‌ها*1.5=مدیریت داده‌ها

(۱۱)

INTEG (70,نرخ جذب مشتری-نرخ از دست دادن مشتری)=مشتری

(۱۲)

INTEG (4e+11,آمد-هزینه)=منابع مالی

(۱۳)

INTEG (2.6e+06,تولید-حمل و نقل)=موجودی انبار

(۱۴)

RAMP(200000, 0, 0.3)=نرخ آموزش کارکنان

(۱۵)

INTEGER(0.001*نرخ کار)=نیروی کار