



Alternative futures of Blockchain in the dairy supply chain

Maryam Afiyat doust*^{ID}
Reza Ahmadi kahnali**^{ID}
Hassan Biabani***^{ID}

Extended Abstract

Introduction. The dairy supply chain, due to the perishable nature of raw milk, the large number of supply chain actors, safety sensitivities, and the vital role of trust among stakeholders including animal feed producers, livestock holding facilities, and raw milk collection centers has long faced challenges such as lack of information transparency across the supply chain, risk of fraud, weak traceability of shared information, and mistrust among members of the dairy supply chain. These challenges are particularly critical in the upstream stages of the chain and can lead to significant economic and public health consequences for the entire system. In recent years, blockchain technology has emerged as a key technology of the Fourth Industrial Revolution, aimed at enhancing transparency, trust, and traceability in food supply chains. However, the future application of this technology in the dairy supply chain especially in the critical and less-studied “farm-to-factory” segment is surrounded by considerable uncertainty. These uncertainties stem from the simultaneous interaction of technical, organizational, and environmental factors within the dairy supply chain context. The objective of this study is to elucidate the possible futures of blockchain adoption in the dairy supply chain, with a focus on the upstream segment, and to identify the key scenarios ahead.

Methods. The present study is applied in nature and exploratory futures-oriented in approach. Using a scenario-based framework, the key drivers affecting the adoption of blockchain technology in the dairy supply chain were first identified and refined through a literature review and expert consultation. Then, by considering different plausible states for each driver, the necessary data were collected and analyzed. Finally, future scenarios for the adoption of blockchain in the dairy supply chain were developed, evaluated, and compared. This approach enables a systematic examination of uncertainties and the mapping of a spectrum of conceivable futures.

Received : Jun. 01, 2025; Revised : Dec. 08, 2025; Accepted : Jun. 27, 2026; Published Online : Jul. 07, 2026.

*M.A. student, Faculty of Management, university of Hormozgan, Bandarabas, Iran.

**Associate professor, Faculty of Management, University of Hormozgan, Bandarabas, Iran.

Corresponding Author : Rahmadi.hormozgan@gmail.com

***Assistant professor, Faculty of Management, University of Hormozgan, Bandarabas, Iran.



Results and Discussion. The results indicate that seven key drivers play a dominant role in shaping the future of blockchain adoption in the dairy supply chain: production system flexibility, trust among supply chain actors, collaboration with information and communication technology (ICT) providers, readiness of supply chain partners, social acceptance of blockchain technology, investment attraction, and the level of inter-organizational collaboration. Based on morphological analysis and scenario quality assessment, ten high-consistency and high-probability scenarios were identified. The findings reveal that even in scenarios characterized by high social acceptance of blockchain technology, insufficient investment and weak coordination among supply chain actors can significantly limit its effective implementation in the upstream dairy supply chain. In contrast, optimistic scenarios emphasize the simultaneous strengthening of technological readiness, trust-building mechanisms, and collaborative governance structures as prerequisites for ensuring milk authenticity, reducing fraud risks, and improving transparency between farms and processing plants.

Conclusion. This study demonstrates that the successful future implementation of blockchain technology in the dairy supply chain particularly in the critical farm-to-factory segment depends not only on technological advancement but also on institutional, behavioral, and collaborative factors. The developed scenarios provide a structured framework for understanding uncertainties and guiding strategic decision-making. From a practical perspective, the results offer valuable insights for dairy industry managers and policymakers to design gradual, cost-effective, and trust-oriented pathways for blockchain adoption, ultimately contributing to enhanced transparency, food safety, and sustainability in the dairy sector. Accordingly, the informed use of this study's findings can contribute to improved policymaking quality and reduced implementation risks in the future.

Key Words: Supply chain, dairy products, blockchain, scenario planning, morphology analysis.

How to Cite: Afayat doust, Maryam; Ahmadi kahnali, Reza; Biabani, Hassan (2026). Alternative futures of Blockchain in the dairy supply chain. *Ind. Manag. Persp.*, 16(2), 98-122 (*In Persian*).



آینده‌های جایگزین با به کارگیری فناوری بلاک چین در زنجیره تامین لبنیات

مریم عافیت دوست^{ID*}
رضا احمدی کهنعلی^{ID**}
حسن بیابانی^{ID***}

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف. زنجیره تأمین محصولات لبنی به دلیل ماهیت فسادپذیر شیر خام، تعدد بازیگران زنجیره تأمین، حساسیت‌های ایمنی و نقش حیاتی اعتماد میان بازیگران زنجیره تأمین از جمله کارخانه‌های تولید علوفه دامی، مراکز نگهداری دام و مراکز جمع‌آوری شیر خام، همواره با چالش‌هایی نظیر عدم شفافیت اطلاعات در طول زنجیره تأمین، ریسک تقلب، ضعف ردیابی اطلاعات ارائه شده در طول زنجیره و بی‌اعتمادی میان اعضای زنجیره تأمین محصولات لبنی مواجه است. چنین چالش‌هایی به‌ویژه در مراحل ابتدایی زنجیره، اهمیت بیشتری یافته و می‌توانند پیامدهای اقتصادی و بهداشتی قابل توجهی برای کل سیستم به همراه داشته باشند. در سال‌های اخیر، فناوری بلاک چین به‌عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی انقلاب صنعتی چهارم، به‌منظور ارتقای شفافیت، اعتماد و قابلیت ردیابی در زنجیره‌های تأمین غذایی مطرح شده است؛ با این حال، آینده به‌کارگیری این فناوری در زنجیره تأمین لبنیات، به‌ویژه در بازه حیاتی و کمتر توجه شده «از مزرعه تا کارخانه»، با عدم قطعیت‌های متعددی همراه است. این عدم قطعیت‌ها ناشی از تعامل هم‌زمان عوامل فنی، سازمانی و محیطی در بستر زنجیره تأمین محصولات لبنی هستند. هدف این پژوهش، تبیین آینده‌های محتمل به‌کارگیری فناوری بلاک چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی با تمرکز بر بخش بالادستی زنجیره تأمین محصولات لبنی و شناسایی سناریوهای کلیدی پیش‌رو است.

روش‌ها. پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، اکتشافی و آینده‌نگر است. در این پژوهش، با بهره‌گیری از روش تحلیل مورفولوژیک، ابتدا عوامل و پیشران‌های مؤثر بر به‌کارگیری فناوری بلاک چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی از طریق مرور ادبیات و اخذ نظر خبرگان شناسایی و پالایش شدند. سپس با در نظر گرفتن وضعیت‌های مختلف محتمل برای هر پیشران، داده‌های مورد نیاز گردآوری و تحلیل شد و در نهایت، سناریوهای آینده به‌کارگیری این فناوری در زنجیره تأمین لبنیات شناسایی و مورد مقایسه قرار گرفتند. این رویکرد امکان بررسی نظام‌مند عدم قطعیت‌ها و ترسیم طیفی از آینده‌های قابل تصور را فراهم می‌سازد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۶، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۱۶.

*دانشجو کارشناسی ارشد، گروه آموزشی مدیریت، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

**دانشیار، گروه آموزشی مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، بندرعباس، ایران.

Rahmadi.hormozgan@gmail.com : نویسنده مسئول

***استادیار، گروه آموزشی مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، بندرعباس، ایران.



یافته‌ها و بحث. یافته‌های پژوهش نشان داد هفت پیشران کلیدی شامل «انعطاف‌پذیری سیستم تولید»، «اعتماد بین بازیگران زنجیره تأمین»، «همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات»، «آمادگی شرکای تجاری»، «پذیرش اجتماعی فناوری»، «جذب سرمایه‌گذاری» و «سطح همکاری اعضای زنجیره تأمین» بیشترین تأثیر را بر آینده به‌کارگیری بلاک‌چین در زنجیره تأمین لبنیات دارند. تحلیل مورفولوژی منجر به استخراج ۱۰ سناریوی با سازگاری بالا شد که سناریوهای خوش‌بینانه با سطوح بالای همکاری، آمادگی فناورانه و اعتماد متقابل، بیشترین ظرفیت را برای تضمین اصالت شیر خام، کاهش ریسک تقلب و افزایش اعتماد کارخانه‌های لبنی نشان می‌دهند. در مقابل، سناریوهای بدبینانه عمدتاً ناشی از عدم سرمایه‌گذاری، ضعف هماهنگی و بی‌اعتمادی پایدار میان اعضای زنجیره هستند.

نتیجه‌گیری. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آینده موفق به‌کارگیری بلاک‌چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی، به‌ویژه در بازه مزرعه تا کارخانه، بیش از آنکه صرفاً به توسعه فناوری وابسته باشد، متأثر از عوامل نهادی، رفتاری و همکاری بین سازمانی است. سناریوهای استخراج‌شده می‌توانند به‌عنوان ابزاری راهبردی، مدیران صنایع لبنی و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی را در طراحی مسیرهای تدریجی و کم‌هزینه پیاده‌سازی بلاک‌چین یاری رسانند و زمینه ارتقای اعتماد، شفافیت و ایمنی غذایی را فراهم کنند. بدین‌ترتیب، استفاده آگاهانه از نتایج این پژوهش می‌تواند به بهبود کیفیت سیاست‌گذاری و کاهش ریسک‌های اجرایی در آینده کمک کند.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین، محصولات لبنی، بلاک‌چین، سناریونگاری، تحلیل مورفولوژی

استناددهی: عافیت دوست، مریم؛ احمدی کهنعلی، رضا؛ بیابانی، حسن (۱۴۰۵). آینده‌های جایگزین با به‌کارگیری فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین لبنیات. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۶(۲)، ۹۸-۱۲۲.



۱. مقدمه

تحولات شتابان فناوری‌های نوظهور و گسترش رویکردهای توسعه پایدار، آینده صنایع غذایی را به گونه‌ای بنیادین دگرگون کرده است. در دهه‌های اخیر عدم اطمینان تقاضا، عدم اطمینان در عرضه، عدم اطمینان فناوری و عدم اطمینان محیطی زنجیره تأمین را به چالش کشیده است [۱۹]. در این شرایط، مسئله ایمنی، کیفیت و امنیت غذایی دیگر صرفاً به بهبود فرآیندهای تولید محدود نمی‌شود، بلکه به مسئله‌ای اطلاعاتی تبدیل شده است که مستقیماً به شفافیت داده‌ها، قابلیت ردیابی و اعتماد میان بازیگران زنجیره وابسته است [۳۰، ۳۳]. از این رو، بازنگری در ساختار جریان اطلاعات به یکی از محورهای اصلی تحول زنجیره‌های تأمین غذایی تبدیل شده است.

صنعت لبنیات یکی از مهم‌ترین و راهبردی‌ترین بخش‌های صنایع غذایی در سطح جهان محسوب می‌شود که سهم قابل توجهی در تأمین امنیت غذایی و ارزش افزوده اقتصادی دارد [۱۸ و ۴۵]. اهمیت این صنعت صرفاً در مقیاس اقتصادی آن نیست، بلکه در حساسیت بالای کیفیت و اصالت محصول نهفته است؛ ویژگی‌ای که زنجیره تأمین لبنیات را به محیطی پرریسک از منظر ردیابی، سلامت و اعتماد مصرف‌کننده تبدیل می‌کند [۱۰].

باوجود این اهمیت، زنجیره تأمین لبنیات به دلیل ماهیت فاسدشدنی محصول، تنوع بازیگران، تعدد مراحل عملیاتی و پراکندگی جغرافیایی واحدهای تولیدی، از پیچیدگی بالایی برخوردار است [۲۸]. این پیچیدگی در مراحل ابتدایی زنجیره شامل تولید علوفه، تغذیه دام، مدیریت دامداری و جمع‌آوری شیر خام نمود بیشتری دارد. این بخش، علی‌رغم نقش تعیین‌کننده در کیفیت و سلامت محصول نهایی، معمولاً از سطح پایین‌تری از ثبت نظام‌مند داده و نظارت دیجیتال برخوردار است و به همین دلیل کانون اصلی شکل‌گیری خلأهای اطلاعاتی و کاهش قابلیت ردیابی محسوب می‌شود [۲۱، ۲۶، ۴۳]. پیامد چنین وضعیتی افزایش احتمال آلودگی، تقلب و تضعیف اعتماد میان بازیگران زنجیره و مصرف‌کنندگان است.

راهکارهای سنتی ثبت و تبادل اطلاعات به دلیل پراکندگی نهادی، نبود یک مرجع مشترک داده و امکان دست‌کاری اطلاعات، قادر به پوشش این خلأ ساختاری نیستند. در این چارچوب، فناوری بلاک‌چین با ویژگی‌هایی نظیر ثبت تغییرناپذیر داده، شفافیت اطلاعاتی و ایجاد اعتماد بدون واسطه، به عنوان یکی از معدود گزینه‌های فناورانه‌ای مطرح است که می‌تواند معماری اطلاعاتی مرحله مزرعه تا کارخانه را بازطراحی کند [۴۹].

مطالعات پیشین در حوزه زنجیره تأمین لبنیات عمدتاً با رویکردی کل‌نگر، کل مسیر «از مزرعه تا مصرف‌کننده» را مدنظر قرار داده‌اند و کمتر به بررسی عمیق و مسئله‌محور مرحله «مزرعه تا کارخانه» پرداخته‌اند [۲۹ و ۴۱]. برای مثال، برخی پژوهش‌ها چارچوب‌های ملی یا مفهومی برای ردیابی زنجیره لبنی ارائه کرده‌اند، اما بخش ابتدایی زنجیره را به عنوان یک زیرسیستم مستقل و دارای چالش‌های خاص مورد واکاوی قرار نداده‌اند [۴۵]. در نتیجه، فاصله دامداری تا کارخانه که بیشترین ریسک آلودگی، دست‌کاری داده و تقلب در آن شکل می‌گیرد، در ادبیات موجود کمتر به صورت تخصصی بررسی شده است.

این خلأ در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران برجسته‌تر است؛ جایی که زیرساخت‌های دیجیتال کشاورزی ناهمگون و نظام‌های ثبت اطلاعات پراکنده است. افزون بر این، مطالعات داخلی غالباً یا ماهیتی توصیفی داشته‌اند [۲۳، ۳۸] یا به بررسی کلی مزایا و موانع بلاک‌چین پرداخته‌اند و کمتر به تحلیل آینده‌نگر و سناریو محور کاربرد این فناوری توجه کرده‌اند [۳۲]. بنابراین، شکاف اصلی ادبیات در فهم مسیرهای آینده استقرار بلاک‌چین در حساس‌ترین بخش زنجیره لبنیات قرار دارد، نه صرفاً در شناخت قابلیت‌های فنی این فناوری.

از آنجا که پذیرش و گسترش بلاک‌چین تابع تعامل پیچیده عوامل فناورانه، نهادی، اقتصادی و رفتاری است، تحلیل آن نیازمند رویکردی آینده‌پژوهانه است که بتواند عدم قطعیت‌ها و مسیرهای جایگزین تحول را مدل‌سازی کند. بر این اساس، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش سناریونگاری، می‌کوشد آینده‌های محتمل به کارگیری فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی استان فارس با تمرکز ویژه بر مرحله «مزرعه تا کارخانه» را تبیین کند. در نتیجه، پرسش اصلی پژوهش چنین صورت‌بندی می‌شود: آینده‌های محتمل کاربست فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین لبنیات استان فارس چگونه قابل تبیین است؟

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲.۱. مبانی نظری

آینده‌پژوهی به عنوان یک حوزه علمی و کاربردی، به بررسی نظام‌مند روندها، عدم قطعیت‌ها، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو می‌پردازد و در تلاش است تا با بهره‌گیری از رویکردهای تحلیلی، تصویری روشن‌تر از آینده ارائه دهد [۱۲]. مطالعات آینده‌پژوهی حوزه بین‌رشته‌ای است و با گستره وسیعی از دیدگاه‌ها پیرامون آینده ارتباط دارد [۳۷]. این علم با هدف پیش‌بینی سناریوهای محتمل در حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی، فناوری و محیط‌زیستی، به سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و مدیران کمک می‌کند تا با آمادگی بیشتر، تصمیمات راهبردی اتخاذ کنند [۳۴]. در این میان، روش مورفولوژیک^۱ یکی از تکنیک‌های کلیدی در آینده‌پژوهی محسوب می‌شود که بر شناسایی و تحلیل ساختارها و روابط میان متغیرهای کلیدی تمرکز دارد [۳۹]. این روش از طریق تدوین ماتریس‌های مورفولوژیک، امکان تحلیل ترکیب‌های گوناگون نسبت میان تقاطع دو سطح را فراهم کرده و به پژوهشگران کمک می‌کند تا سناریوهای مختلف و معناداری برای آینده طراحی و ارزیابی کنند [۴]. بهره‌گیری از این روش به‌ویژه در حوزه‌های پیچیده و میان‌رشته‌ای مانند زنجیره تأمین، انرژی و فناوری‌های نوین، نتایج کاربردی و اثربخشی به همراه دارد [۳۹].

در سال‌های اخیر، فناوری بلاک‌چین به عنوان یک نوآوری تحول‌آفرین، توجه بسیاری را در حوزه مدیریت زنجیره تأمین، به‌ویژه در صنایع حساس مانند صنعت غذا، به خود جلب کرده است. ویژگی‌هایی همچون شفافیت، امنیت، تغییرناپذیری و قابلیت ردیابی، بلاک‌چین را به ابزاری مؤثر در بهبود فرایندهای زنجیره تأمین تبدیل کرده است [۱۱]. بلاک‌چین به عنوان یک دفترکل توزیع‌شده^۲ و غیرمتمرکز، داده‌های مربوط به تراکنش‌ها را در قالب بلوک‌هایی به صورت زنجیروار ذخیره می‌کند که این امر امکان ردیابی دقیق و قابل اعتماد محصولات از مبدأ تا مقصد را فراهم می‌آورد [۱۳].

با حذف واسطه‌ها، تسهیل تبادل اطلاعات و افزایش اعتماد میان بازیگران بلاک‌چین می‌تواند موجب بهبود عملکرد زنجیره تأمین شود [۸]. هر بلوک^۳ در این فناوری حاوی مجموعه‌ای از تراکنش‌هاست که به شکل رمزنگاری‌شده به بلوک قبلی متصل می‌شود و یک ساختار غیرقابل تغییر ایجاد می‌کند [۴۴]. چنین ساختاری نه تنها شفافیت را افزایش می‌دهد بلکه خطر تقلب و جعل اطلاعات را نیز کاهش می‌دهد.

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که بلاک‌چین می‌تواند به کاهش هزینه‌ها، افزایش سرعت تبادل داده، بهبود کیفیت محصول و ارتقای بهره‌وری در زنجیره تأمین منجر شود [۳ و ۲۵]، همچنین این فناوری با فراهم کردن امکان ردیابی کامل مسیر کالاها، به کاهش عدم قطعیت و افزایش پاسخ‌گویی در برابر بحران‌ها کمک می‌کند [۱۷].

با این حال، علیرغم مزایای بالقوه پذیرش و پیاده‌سازی بلاک‌چین با چالش‌هایی همراه است؛ از جمله این چالش‌ها می‌توان به کمبود آگاهی و دانش تخصصی، هزینه‌های اجرایی بالا، ابهامات قانونی و نیاز به زیرساخت‌های فناورانه اشاره کرد [۱۶]. همچنین هماهنگی میان ذی‌نفعان مختلف و ایجاد همکاری‌های مؤثر میان آن‌ها، یکی از پیش‌شرط‌های اساسی برای موفقیت در استقرار این فناوری در زنجیره تأمین است [۲].

در مجموع بلاک‌چین به عنوان یکی از فناوری‌های نوظهور دیجیتال، ظرفیت قابل توجهی برای تحول در زنجیره‌های تأمین دارد. با این حال تحقق کامل این پتانسیل نیازمند رفع چالش‌های اجرایی، توسعه استانداردها و انجام پژوهش‌ها کاربردی گسترده‌تر است [۲۲].

۲.۲. پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، افزایش فسادپذیری محصولات لبنی، تقلب و نیاز به شفافیت و ردیابی، بازطراحی زنجیره تأمین را ضروری کرده است. بلاک‌چین به عنوان فناوری انقلاب صنعتی چهارم و پنجم با ارتقای شفافیت، قابلیت ردیابی و اعتماد میان بازیگران، به عنوان راهکاری کلیدی مطرح شده است.

1. Morphological
2. Distributed ledger
3. block

در پژوهشی، وارگاس بلویرز و همکاران^۱ (۲۰۲۵) نقش بلاک‌چین را در آینده زنجیره تأمین و خلق ارزش در صنعت لبنیات مرور کرده و تأکید می‌کنند که این فناوری می‌تواند با کاهش واسطه‌گری، افزایش دسترسی دامداران به اعتبار و بیمه و ارتقای پایداری زیست‌محیطی، مسیرهای جدیدی ایجاد کند. با این حال نویسندگان به چالش‌هایی مانند نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته، مهارت‌های تخصصی و شکاف فناوریانه میان کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه اشاره کرده و تمرکز اصلی خود را بر تبیین پتانسیل کلان بلاک‌چین در سطح زنجیره تأمین ملی و بین‌المللی قرار داده‌اند [۴۸].

در پژوهش دیگر واسانتراج و همکاران^۲ (۲۰۲۵) بر اساس روش طراحی علم^۳ چارچوبی را برای ادغام بلاک‌چین، اینترنت اشیا و رایانش ابری در زنجیره تأمین شیر در استرالیا ارائه کرده‌اند. این پژوهش با تحلیل هزینه-منفعت نشان می‌دهد که استفاده هم‌زمان از این فناوری‌ها می‌تواند سطح هماهنگی میان بازیگران زنجیره را افزایش دهد و بازگشت سرمایه مثبتی برای ذی‌نفعان ایجاد کند [۴۷].

در حوزه زنجیره تأمین لبنیات، شارما و همکاران^۴ (۲۰۲۵) معماری لایه‌ای مبتنی بر پلتفرم بلاک‌چین سازمانی^۵ برای ردیابی داده‌ها در چرخه «از مزرعه تا سفره» ارائه کرده‌اند. این معماری با استفاده از تقسیم‌بندی افقی داده‌ها^۶، پردازش موازی و اشتراک‌گذاری امن داده، کیفیت محصول و فرایندهایی مانند تسویه خودکار پرداخت را پشتیبانی می‌کند. با وجود تمرکز این مطالعه بر صنعت لبنیات، رویکرد آن کل زنجیره تأمین را در بر می‌گیرد و مراحل ابتدایی و حساس زنجیره، از جمله مدیریت دامداری و انتقال اولیه شیر خام، به طور تخصصی بررسی نشده است [۴۲].

پلکانتارا و کاراکیتسیو^۷ (۲۰۲۵) در یک مرور نظام‌مند، نقش فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در مدیریت ریسک‌های ایمنی و کیفیت زنجیره‌های تأمین کشاورزی-غذایی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش پیچیدگی زنجیره، به‌ویژه در مراحل اولیه، ریسک‌هایی مانند آلودگی، تقلب و ضعف در ردیابی را تشدید کرده است. در زنجیره لبنیات، این چالش‌ها عمدتاً در مرحله «مزرعه تا کارخانه» بروز می‌یابد. یافته‌ها حاکی از آن است که بلاک‌چین و اینترنت اشیا می‌توانند با افزایش شفافیت، قابلیت ردیابی شیر را بهبود دهند، هرچند هزینه‌ها، مسائل هم‌کنش‌پذیری داده‌ها و محدودیت‌های مهارتی از موانع اصلی توسعه آن‌ها به شمار می‌رود [۳۳].

آگاروال و همکاران^۸ (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای، کاربرد بلاک‌چین در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی-غذایی را بررسی کرده‌اند و نشان می‌دهند که این فناوری می‌تواند ایمنی، کیفیت و اصالت محصولات غذایی را ارتقا دهد. پژوهش با ارائه معماری چندلایه شامل لایه داده، بلاک‌چین و ناوبری، ردیابی لحظه‌ای و امنیت اطلاعات را تقویت می‌کند و با ادغام سیستم‌های موقعیت‌یابی، قابلیت نظارت دقیق و افزایش اعتماد مصرف‌کننده فراهم می‌آورد [۷].

در زمینه زنجیره تأمین مواد غذایی، محمد و همکاران (۲۰۲۳) با شناسایی موانع و مزایای پذیرش بلاک‌چین، چارچوبی برای بهبود کارایی این زنجیره ارائه داده‌اند. آن‌ها مشکلاتی مانند عدم تقارن اطلاعات و دغدغه‌های مربوط به کیفیت و ایمنی را مطرح کرده و بلاک‌چین را راهکاری مناسب برای کاهش این چالش‌ها می‌دانند [۳۱]. به‌طور مشابه، شینگ و همکاران^۹ (۲۰۲۰) نیز با تمرکز بر زنجیره تأمین لبنیات، بر نقش بلاک‌چین در ارتقای شفافیت و اعتماد مصرف‌کنندگان تأکید کرده‌اند [۴۳].

نصیری‌گله و صحرایی (۲۰۲۴) در پژوهشی، تأثیر پیاده‌سازی بلاک‌چین را بر زنجیره تأمین محصولات لبنی در ایران بررسی کرده‌اند. این پژوهش با طراحی یک مدل مفهومی و استفاده از داده‌های پرسش‌نامه‌ای، تغییرات ایجادشده در شفافیت داده‌ها و چابکی زنجیره تأمین پیش‌وپس از به‌کارگیری بلاک‌چین را ارزیابی می‌کند. نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت و معنادار بلاک‌چین بر افزایش شفافیت اطلاعات و ارتقای

1. Vargas-Bello-Pérez et al. (2025)

2. Vasanthraj et al. (2025)

3. Design Science

4. Sharma et al. (2025)

5. Hyperledger Fabric

6. Sharding

7. Plakantara and Karakitsiou (2025)

8. Aggarwal et al. (2024)

9. Shingh et al. (2020)

چابکی زنجیره تأمین لبنیات است [۳۲].

رحیمی و همکاران (۲۰۲۲) در یک پژوهش کاربردی، به شناسایی و مدل سازی ساختاری تفسیری موانع به کارگیری فناوری بلاک چین در زنجیره تأمین صنایع غذایی پرداخته‌اند. این مطالعه با تأکید بر نقش بلاک چین در ارتقای شفافیت، قابلیت ردیابی و امنیت داده‌ها در مسیر «از مزرعه تا سفره»، ابتدا موانع کلیدی پذیرش این فناوری را شناسایی کرده و سپس با استفاده از روش مدل سازی ساختاری تفسیری^۱، روابط و سطوح سلسله‌مراتبی آن‌ها را تبیین نموده است. نتایج نشان می‌دهد که موانع درون سازمانی و موانع قانونی اساسی‌ترین عوامل بازدارنده در پیاده‌سازی بلاک چین در زنجیره تأمین صنایع غذایی ایران هستند. هرچند این پژوهش از نخستین مطالعات داخلی با رویکرد زنجیره کامل محسوب می‌شود، تمرکز آن همچنان کلی بوده و تحلیل تخصصی مرحله محور، به‌ویژه در زنجیره‌های خاصی مانند لبنیات، را به‌طور محدود پوشش می‌دهد [۳۶].

رضائی و بابازاده (۲۰۲۰) در یک پژوهش تجربی به بررسی نقش بلاک چین در بهبود رقابت‌پذیری صنایع غذایی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که قابلیت ردیابی و جلوگیری از تقلب مهم‌ترین شاخص، شاخص جلوگیری از ضایعات غذایی بیشترین تعامل با سایر شاخص‌ها و قرارداد هوشمند تأثیرپذیرترین شاخص است. این پژوهش نشان می‌دهد که وجود یک سیستم ردیابی مطمئن مبتنی بر بلاک چین نه تنها قابلیت ردیابی و شفافیت را افزایش می‌دهد، بلکه کارایی سایر شاخص‌های زنجیره تأمین غذایی را نیز ارتقا می‌بخشد [۳۸].

نیک‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از تحلیل کتاب‌سنجی، روندهای پژوهشی مرتبط با بلاک چین در صنایع غذایی و کشاورزی را بررسی کرده‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که این مطالعات عمدتاً حول سه خوشه مفهومی شکل گرفته‌اند و مفاهیمی نظیر ردیابی، تراکنش و ایمنی به‌صورت مکرر در ادبیات مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۳۳].

روتنی و همکاران (۱۴۰۰) مدلی برای ارزیابی بلوغ بلاک چین در زنجیره تأمین کشاورزی ارائه داده‌اند. با استفاده از روش تحلیل نسبت ارزیابی وزنی گام‌به‌گام^۲، آن‌ها ابعاد مختلف این فناوری را رتبه‌بندی کرده و به اهمیت ویژه قراردادهای هوشمند و اینترنت اشیا در ارتقای عملکرد زنجیره تأمین اشاره کرده‌اند. با بررسی پیشینه پژوهش، عوامل کلیدی مؤثر بر آینده بلاک چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی شناسایی شدند و سپس موارد تکراری حذف و مواردی که همپوشان داشتند با هم ادغام شدند و جدول ۱، نتایج نهایی این تحلیل را نمایش می‌دهد [۴۰].

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات مرتبط با به کارگیری فناوری بلاک چین در زنجیره تأمین لبنیات، عمدتاً بر ارتقای شفافیت، قابلیت ردیابی، اعتماد میان بازیگران و بهبود کارایی زنجیره «از مزرعه تا سفره» متمرکز بوده‌اند. بخش قابل توجهی از این پژوهش‌ها با رویکردی فناورانه و معماری محور، بلاک چین را در تعامل با فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا و رایانش ابری بررسی کرده و مزایا، الزامات و موانع پیاده‌سازی آن را در سطح کل زنجیره یا در مقیاس‌های ملی و بین‌المللی تحلیل نموده‌اند. با وجود غنای این ادبیات، تمرکز غالب مطالعات بر توصیف وضعیت موجود یا ارزیابی آثار پیاده‌سازی بلاک چین بوده و کمتر به تحلیل مسیرهای تحول، آینده‌های جایگزین و سناریوهای محتمل توسعه این فناوری در زنجیره تأمین لبنیات پرداخته شده است. افزون بر این، بررسی‌ها نشان می‌دهد که پیوند نظام‌مند میان عوامل فنی، نهادی، انسانی و تعاملی مؤثر بر آینده بلاک چین، به‌ویژه با نگاهی مرحله‌محور و مبتنی بر عدم قطعیت، در قالب چارچوب‌های آینده‌نگر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این خلأ پژوهشی، ضرورت به کارگیری رویکردهای آینده‌پژوهی و سناریونگاری را برای تبیین و تحلیل تحولات پیش‌روی زنجیره تأمین لبنیات برجسته می‌سازد.

1. Interpretive Structural Modeling (ISM)

2. Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)

جدول ۱. جدول عوامل مؤثر بر فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین

عوامل	منابع
انعطاف در سیستم تولید	شارما و همکاران ^۱ (۲۰۲۵)، شعیب و همکاران ^۲ (۲۰۲۰)، بردیک و همکاران ^۳ (۲۰۲۱)، گوردون و همکاران ^۴ (۲۰۱۸)، گوگنبرگر و همکاران ^۵ (۲۰۲۰)، تتودولی و همکاران ^۶ (۲۰۱۸)
اعتماد بین بازیگران زنجیره تأمین	آگاروال و همکاران ^۷ (۲۰۲۴)، اسلم، و همکاران ^۸ (۲۰۲۳)، لانزینی و همکاران ^۹ (۲۰۲۱)، کوئیروز و همکاران ^{۱۰} (۲۰۱۹)
همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات	وارگاس-بلو-پرز و همکاران ^{۱۱} (۲۰۲۵)، پلاکانتارا و کاراکیتسیو ^{۱۲} (۲۰۲۵)، اهل، و همکاران ^{۱۳} (۲۰۲۲)، عبدالمومین و همکاران ^{۱۴} (۲۰۲۴)، لانزینی و همکاران ^{۱۵} (۲۰۲۱)
آمادگی شرکای تجاری	خلیل و همکاران ^{۱۶} (۲۰۲۴)، هستیگ و همکاران ^{۱۷} (۲۰۲۰)، لانزینی و همکاران ^{۱۸} (۲۰۲۱)
آمادگی افراد و پذیرش اجتماعی فناوری	آبیناو و همکاران ^{۱۹} (۲۰۲۱)، لانزینی و همکاران ^{۲۰} (۲۰۲۱)
جذب سرمایه‌گذاری لازم	اهل و همکاران (۲۰۲۲) شعیب و همکاران ^{۲۱} (۲۰۲۰)
توانایی همکاری اعضای زنجیره تأمین	واسانتراج و همکاران ^{۲۲} (۲۰۲۵) هستیگ و همکاران ^{۲۳} (۲۰۲۰)، خلیل و همکاران ^{۲۴} (۲۰۲۴)

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، اکتشافی-آینده‌نگر است و با بهره‌گیری از رویکرد سناریونگاری مکتب فرانسوی پراسپکتیو و روش تحلیل مورفولوژیک انجام شده است. این رویکرد به طور گسترده برای تحلیل سیستم‌های پیچیده و مواجهه با عدم قطعیت‌های ساختاری به کار می‌رود و امکان بررسی آینده‌های محتمل را بر اساس ترکیب منسجم عوامل کلیدی فراهم می‌سازد. در گام نخست، عوامل مؤثر بر آینده فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین مواد غذایی از طریق بررسی نظام‌مند پیشینه پژوهش شناسایی شدند. سپس این عوامل در اختیار خبرگان قرار گرفت و طی چند مرحله بازبینی و پالایش، مجموعه نهایی متغیرهای کلیدی مورد تأیید قرار گرفت.

مطالعات پیشین نشان می‌دهد که حضور بین ۹ تا ۱۸ نفر خبره برای انجام تحلیل‌های ساختاری و فرایند سناریونگاری کافی است [۴۶]. بر این اساس و با هدف تضمین تنوع دیدگاه‌ها و غنای تحلیل، در نهایت ۱۵ نفر خبره برای شرکت در مطالعه انتخاب شدند. مشارکت‌کنندگان این پژوهش از خبرگان حوزه فناوری اطلاعات و زنجیره تأمین صنعت مواد غذایی بودند که با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند (قضایه‌ای)

1. Sharma et al (2025)
2. Shoaib, et al. (2020)
3. Berdik et al (2021)
4. Gordon et al. (2018)
5. Guggenberger et al. (2020)
6. Theodouli et al. (2018)
7. Aggarwal et al (2024)
8. Aslam, et al. (2023)
9. Lanzini, et al (2021)
10. Queiroz, et al (2019)
11. Vargas-Bello-Pérez et al (2025)
12. Plakantara & Karakitsiou (2025)
13. Ahl, et al. (2022)
14. Abdul Mumin, et al (2024)
15. khelil, et al. (2024)
16. Hastig, et al (2020)
17. Abhinav, et al. (2021)
18. Shoaib, et al. (2020)
19. Vasanthraj et al. (2025)
20. Hastig, et al (2020)
21. khelil, et al. (2024)

انتخاب شدند. معیارهای انتخاب خبرگان شامل حداقل پنج سال سابقه فعالیت حرفه‌ای مرتبط، آشنایی تخصصی با فناوری‌های دیجیتال و بلاک‌چین، تجربه مدیریتی یا کارشناسی در صنعت مواد غذایی و برخورداری از تحصیلات دانشگاهی مرتبط بود. تعداد ۱۵ نفر خبره با توجه به رویه رایج در پژوهش‌های سناریونگاری و تحلیل مورفولوژیک و بر مبنای دستیابی به اشباع نظری انتخاب شد؛ به گونه‌ای که پس از این تعداد، عامل جدیدی به مجموعه متغیرها افزوده نشد و الگوی قضاوت خبرگان از ثبات و همگرایی برخوردار گردید.

برای هر یک از عوامل کلیدی، سه حالت خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه تعریف شد. این حالات با مشارکت مستقیم خبرگان و بر اساس معیارهایی نظیر انسجام درونی، احتمال وقوع، اهمیت و شفافیت مفهومی تدوین شدند. در ادامه، با استفاده از پرسش‌نامه، میزان احتمال وقوع فرض‌ها و سازگاری ارتباط میان حالات مختلف عوامل توسط خبرگان ارزیابی شد و داده‌های حاصل، مبنای تشکیل ماتریس مورفولوژیک و استخراج ترکیب‌های سناریویی قرار گرفت.

به منظور اطمینان از روایی ابزار پژوهش، روایی محتوای پرسش‌نامه‌ها از طریق انطباق با ادبیات پژوهش و بازبینی چندمرحله‌ای توسط خبرگان مورد تأیید قرار گرفت و اصلاحات لازم اعمال شد. پایایی ابزار نیز از طریق بررسی ثبات قضاوت خبرگان ارزیابی گردید؛ به گونه‌ای که همگرایی نظرات و عدم بروز اختلاف معنادار در ارزیابی‌های تکرارشونده، بیانگر قابلیت اتکای ابزار سنجش بود.

چرتکه راینر روشی ساخت‌یافته برای اخذ و تجمیع قضاوت خبرگان است که توسط راینر در دهه ۱۹۷۰ میلادی معرفی شد و در چارچوب آینده‌پژوهی مکتب فرانسوی، به عنوان ابزاری مکمل در تحلیل مورفولوژیک به کار می‌رود. این روش با استفاده از کدگذاری رنگی، امکان نمایش بصری ارزیابی‌های کیفی، شناسایی سریع الگوهای غالب، و تشخیص نواحی توافق و اختلاف نظر میان خبرگان را فراهم می‌سازد [۱۴]. در این پژوهش، حالت‌های خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه عوامل مورفولوژیک به ترتیب با رنگ‌های سبز، زرد و قرمز مشخص شدند.

به کارگیری رنگ‌ها صرفاً جنبه ابزاری و تسهیل‌گر داشته و جایگزین تحلیل منطقی یا کمی نشده است. به منظور حفظ دقت تحلیل، نتایج کیفی حاصل از چرتکه راینر در مرحله بعد به ضرایب عددی متناظر تبدیل شد تا امکان مقایسه و کیفیت‌سنجی سناریوها فراهم شود. از این رو، استفاده از این روش نه تنها موجب کاهش دقت تحلیل نشده، بلکه با تلفیق قضاوت کیفی خبرگان و سنجش کمی، به افزایش انسجام و شفافیت فرایند سناریونگاری کمک کرده است [۵۰].

به منظور جلوگیری از کاهش دقت تحلیل و ارتقای قابلیت مقایسه سناریوها، داده‌های کیفی حاصل از چرتکه راینر به مقادیر کمی تبدیل شدند. بدین ترتیب، به حالات خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه به ترتیب ضرایب ۳، ۲ و ۱ اختصاص یافت و کیفیت هر سناریو با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد که این نسبت‌ها در جدول ۲ ذکر گردیده است.

$$SQ = \frac{3(nO) + 2(nIN) + nC}{nh}$$

جدول ۲. نسبت‌های استفاده شده در فرمول

nh تعداد فرضیات سناریو:	SQ کیفیت هر سناریو:
۳ ضریب متناظر فرض خوش‌بینانه	nO تعداد فرض‌های خوش‌بینانه هر سناریو:
۲ ضریب متناظر فرض بینابین	nIN تعداد فرض‌های بینابین هر سناریو:
۱ ضریب متناظر فرض بدبینانه	nC تعداد فرض‌های بدبینانه هر سناریو:

اعداد به دست آمده از این فرمول در تحلیل هر سناریو معانی خاص خود را دارند. SQ با توجه به نزدیکی به ضریب متناظر تعریف شده به هر فرض، نوع سناریو را مشخص می‌کند. جزئیات تفصیلی‌تر این موضوع در زیر آمده است.

$$SQ \leq 1/44 = \text{سناریوی بدبینانه}$$

$$2/44 \leq SQ < 1/44 = \text{سناریوی بینابین}$$

$$SQ > 2/44 = \text{سناریوی بینابین}$$

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای پاسخ به سؤال پژوهش، داده‌های گردآوری‌شده با تلفیق مرور ادبیات، اسناد بالادستی و اخذ نظرات خبرگان تحلیل شد تا عوامل مؤثر بر به‌کارگیری و توسعه فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی، به‌ویژه در بخش حساس «مزرعه تا کارخانه»، شناسایی شوند. بر اساس بررسی‌ها و بازبینی‌های چندمرحله‌ای توسط ۱۵ نفر خبره منتخب از حوزه فناوری اطلاعات و زنجیره تأمین صنعت مواد غذایی، متغیرهای کلیدی شامل «انعطاف‌پذیری سیستم تولید»، «اعتماد میان بازیگران زنجیره»، «سطح همکاری اعضای زنجیره»، «همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات»، «آمادگی زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری»، «پذیرش اجتماعی بلاک‌چین» و «جذب سرمایه‌گذاری لازم» تعیین گردید. با بهره‌گیری از روش تحلیل مورفولوژیک، برای هر متغیر سه حالت خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه تعریف شد و احتمال وقوع هر فرض و روابط مرجح میان آن‌ها از طریق پرسش‌نامه تخصصی و مشارکت خبرگان ارزیابی شد. داده‌های حاصل در نرم‌افزار مورفول وارد و بر اساس وزن فرض‌ها و میزان سازگاری آن‌ها، مجموعه‌ای از سناریوهای ممکن تولید شد. در نهایت، سناریوهای برتر و محتمل‌تر که هم با شاخص‌های سازگاری و هم با احتمال وقوع مطابقت داشتند، به‌عنوان مبنای تحلیل آینده فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی انتخاب و مورد بحث قرار گرفتند. این فرایند با استفاده از ابزارهای ساخت‌یافته‌ای مانند چرتکه راینر و تبدیل داده‌های کیفی به مقادیر کمی، انسجام، شفافیت و قابلیت مقایسه سناریوها را تقویت کرد.

۱.۴. تحلیل سناریو با نرم‌افزار مورفول

توسعه سناریو قلب مطالعات آینده برای رسیدن به چشم‌انداز مطلوب و یک تکنیک کلیدی است که کار آینده‌پژوهان حرفه‌ای را از دیگر حرفه‌ای‌ها متمایز می‌سازد. در این پژوهش روش آینده‌پژوهی مورفولوژی یکی از روش‌هایی بررسی سناریوهای مرتبط با موضوع کارکرد فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین است. باتوجه‌به کارکرد نرم‌افزار بر پایه احتمال وقوع یا وزن هر فرض و ارتباط میان فرض‌های مختلف در بین متغیرهای بررسی شده در جدول ۳ مشاهده می‌گردد. احتمال وقوع فرض‌های مربوط به هر متغیر در افق ۱۴۱۵ و ارتباط‌های مرجح بین آن‌ها توسط کارشناسان مشخص شده است. فرض‌های مختلف مربوط به متغیرهای کلیدی توسط خبرگان باتوجه‌به اینکه هر گروه از فرض‌ها با متغیرها می‌بایست دارای ارتباط، انسجام، احتمال وقوع، اهمیت و شفافیت باشد، تدوین شد.

جدول ۳. متغیرهای کلیدی و فرض‌های مرتبط با آن

عوامل	نوع فرض	فرض‌ها	احتمال وقوع (وزن)
۱. انعطاف‌پذیری در سیستم تولید	خوش‌بینانه	انعطاف‌پذیری بالای اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام‌سازی لجستیک	۳۰
	بینابینی	انعطاف‌پذیری متوسط اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام‌سازی لجستیک	۶۰
	بدبینانه	عدم انعطاف‌پذیری اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام‌سازی لجستیک	۱۰
۲. اعتماد بین بازیگران زنجیره تأمین	خوش‌بینانه	اعتماد کامل و مطلوب بین بازیگران زنجیره تأمین به دلیل شفافیت بالای مالی و ایمنی و عدم تمرکز داده‌ها، کنترل بالا دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی بالا در زنجیره تأمین	۷۰
	بینابینی	اعتماد نسبی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر شفافیت نسبی مالی و ایمنی و عدم تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	۲۵
	بدبینانه	بی‌اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	۵
۳. همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات	خوش‌بینانه	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی بلاک‌چین	۱۰
	بینابینی	همکاری نسبی اعضای زنجیره تأمین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌منظور	۲۵

عوامل	نوع فرض	فرض‌ها	احتمال وقوع (وزن)
۴. آمادگی شرکای تجاری	بدبینانه	منظور جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی بلاک‌چین	۶۵
	خوش‌بینانه	عدم همکاری اعضای زنجیره تامین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌منظور منظور جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی بلاک‌چین	۱۰
	بینابینی	آمادگی بالای شرکای زنجیره تامین از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین	۲۰
	بدبینانه	عدم آمادگی شرکای زنجیره تامین از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین	۷۰
۵. آمادگی مردم و نفوذ اجتماعی جهت‌پذیرش فناوری	خوش‌بینانه	نفوذ اجتماعی زیاد فناوری و آمادگی بالای مردم جهت‌پذیرش آن	۳۰
	بینابینی	نفوذ اجتماعی نسبی فناوری و آمادگی نسبی مردم جهت‌پذیرش آن	۳۰
	بدبینانه	نفوذ اجتماعی پایین فناوری و آمادگی پایین مردم جهت‌پذیرش آن	۴۰
۶. میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز	خوش‌بینانه	حجم قابل توجه سرمایه‌گذاری شرکت‌ها و اعضای زنجیره تامین در فناوری بلاک‌چین	۲۰
	بینابینی	استقبال کم شرکت‌ها و اعضای زنجیره تامین از سرمایه‌گذاران در فناوری بلاک‌چین	۵۰
	بدبینانه	عدم سرمایه‌گذاری شرکت‌ها و اعضای زنجیره تامین در فناوری بلاک‌چین	۳۰
۷. توانایی همکاری اعضا زنجیره	خوش‌بینانه	همکاری مطلوب و یکپارچه تمام اعضای زنجیره تامین و تسهیل تبادلات مالی و اطلاعاتی	۷۰
	بینابینی	همکاری نسبی بین اعضای زنجیره تامین و تسهیل نسبی تبادلات مالی و اطلاعاتی	۲۵
	بدبینانه	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تامین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	۵

۲.۴. ارتباطات مرجع

در تحلیل مورفولوژیک و سناریونگاری، هر رابطه میان حالات یا فرض‌ها به‌صورت مستقل و بر اساس قضاوت مستقیم خبرگان تعیین می‌شود و وجود ارتباط میان دو فرض، لزوماً به معنای انتقال آن به سایر فرض‌های مرتبط نیست. به این معنا که ممکن است فرض‌های (۳:۳ و ۵:۳) و (۳:۳ و ۷:۳) ارتباط مرجع داشته باشند، اما میان (۳:۳ و ۴:۳) یا سایر زوج‌ها رابطه‌ای وجود نداشته باشد، زیرا این روابط تنها زمانی ثبت می‌شوند که خبرگان به طور مستقیم آن‌ها را معنادار تشخیص داده باشند. این روش که در پژوهش‌های معتبر سناریونگاری و تحلیل مورفولوژیک متداول است، امکان شناسایی ترکیب‌های واقعی و سازگار بین متغیرها را بدون ایجاد ارتباطات مصنوعی فراهم می‌کند و تمام روابط ارائه‌شده در جدول ۴، حاصل قضاوت ساختاریافته و مستقل خبرگان است [۲۰].

جدول ۴. ارتباطات مرجع

۳:۳ و ۵:۳ و ۷:۳	ارتباطات مرجع
۲:۲ و ۵:۲	
۲:۱ و ۶:۱	
۲:۱ و ۱:۱	
۲:۱ و ۱:۱	
۴:۳ و ۱:۳	
۵:۱ و ۲:۱	
۴:۳ و ۷:۳	
۲:۳ و ۱:۲	
۷:۲ و ۴:۲	
۶:۱ و ۳:۲	

۳:۱ و ۶:۲
۲:۱ و ۷:۱
۶:۲ ۴:۳
۴:۲ ۲:۲
۴:۱ ۵:۱
۵:۱ و ۳:۱
۶:۱ و ۴:۱

به‌منظور انجام تحلیل مورفولوژیک، از نرم‌افزار مورفول برای تعریف فرض‌ها و تعیین احتمالات مربوط به هر یک از متغیرهای کلیدی استفاده شد. وضعیت‌های احتمالی هر متغیر در افق زمانی ۱۴۱۵ به‌عنوان ورودی‌های اصلی نرم‌افزار در نظر گرفته شدند. در این مرحله، داده‌های خام تحلیل مورفولوژیک شامل حالت‌های مختلف هر متغیر، احتمال وقوع هر فرض و نیز ارتباطات مرجح میان فرض‌ها، در نرم‌افزار وارد گردید که خلاصه آن در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین، ارتباطات شناسایی‌شده میان فرض‌های مختلف متغیرها که بیانگر میزان سازگاری یا ناسازگاری آن‌ها در شکل‌گیری آینده‌های محتمل زنجیره تأمین محصولات لبنی است، در جدول ۴ نمایش داده‌شده است.

بر اساس داده‌های واردشده و با در نظر گرفتن احتمالات تعیین‌شده برای هر فرض، نرم‌افزار مورفول در مجموع تعداد ۱۶۳۸۴ سناریوی ممکن برای آینده به‌کارگیری فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی تولید کرد. از این میان تعداد ۵۰۰۰ سناریو توسط نرم‌افزار بر اساس الگوریتم‌های محاسباتی آن حذف گردید و در نهایت ۴۸۸۴ سناریو باقی ماند. باتوجه‌به حجم بالای سناریوهای استخراج‌شده و عدم امکان تحلیل دقیق تمامی آن‌ها، فرایند غربال‌گری سناریوها بر مبنای میزان سازگاری درونی و احتمال وقوع انجام گرفت و مشخصات آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. آمار سناریوها

تعداد	توضیحات
۱۶۳۸۴	تعداد سناریوها
۵۰۰۰	تعداد سناریوها پس از حذف
۴۸۸۴	تعداد سناریوهای مرجح

در ادامه، باتوجه‌به تعداد بسیار بالای سناریوهای تولیدشده (۴۸۸۴ سناریو) و غیرممکن بودن تحلیل و بررسی تمامی آن‌ها، پژوهشگران به‌منظور افزایش دقت و عمق تحلیل، اقدام به غربال‌گری سناریوها کردند. بدین ترتیب، از میان سناریوهای شناسایی‌شده توسط نرم‌افزار مورفول، ۵۰ سناریوی نخست که از نظر سازگاری درونی و احتمال وقوع در رتبه‌های بالاتر قرار داشتند، مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفت. در نهایت، ۱۰ سناریوی برتر که دارای احتمال معنادار بالاتری نسبت به سایر سناریوها بودند، به‌عنوان سناریوهای نهایی پژوهش انتخاب شدند. این سناریوها به‌منظور شفافیت بیشتر در تحلیل، در قالب ۶ جدول مجزا ارائه شده‌اند.

جدول ۶. فهرست ۱۰ سناریو برتر با احتمال معناداری بیشتر

سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم	سناریو پنجم
استقبال کم شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین از سرمایه‌گذاری در فناوری بلاک‌چین	استقبال کم شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین از سرمایه‌گذاری در فناوری بلاک‌چین	استقبال کم شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین از سرمایه‌گذاری در فناوری بلاک‌چین	عدم سرمایه‌گذاری شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین در فناوری بلاک‌چین	استقبال کم شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین از سرمایه‌گذاری در فناوری بلاک‌چین
نفوذ اجتماعی زیاد فناوری و نفوذ اجتماعی نسبی فناوری	نفوذ اجتماعی پایین فناوری	نفوذ اجتماعی زیاد فناوری و نفوذ اجتماعی زیاد فناوری	نفوذ اجتماعی زیاد فناوری و نفوذ اجتماعی زیاد فناوری	نفوذ اجتماعی زیاد فناوری و نفوذ اجتماعی زیاد فناوری

عامل ۱

عامل ۲

سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم	سناریو پنجم
آمادگی بالای مردم جهت پذیرش آن	و آمادگی نسبی مردم جهت پذیرش آن	و آمادگی پایین مردم جهت پذیرش آن	آمادگی بالای مردم جهت پذیرش آن	آمادگی بالای مردم جهت پذیرش آن
اعتدال پذیری متوسط	اعتدال پذیری متوسط	اعتدال پذیری متوسط	اعتدال پذیری متوسط	اعتدال پذیری متوسط
اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک	اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک	اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک	اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک	اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک
۳ عامل				
بی اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	بی اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	بی اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	بی اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	بی اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین
۴ عامل				
همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به منظور جمع آوری داده‌ها و پیاده سازی بلاک چین	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به منظور جمع آوری داده‌ها و پیاده سازی بلاک چین	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به منظور جمع آوری داده‌ها و پیاده سازی بلاک چین	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به منظور جمع آوری داده‌ها و پیاده سازی بلاک چین	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به منظور جمع آوری داده‌ها و پیاده سازی بلاک چین
۵ عامل				
آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت افزاری و نرم افزاری برای پیاده سازی فناوری بلاک چین	آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت افزاری و نرم افزاری برای پیاده سازی فناوری بلاک چین	آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت افزاری و نرم افزاری برای پیاده سازی فناوری بلاک چین	آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت افزاری و نرم افزاری برای پیاده سازی فناوری بلاک چین	آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت افزاری و نرم افزاری برای پیاده سازی فناوری بلاک چین
۶ عامل				
ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها
۷ عامل				

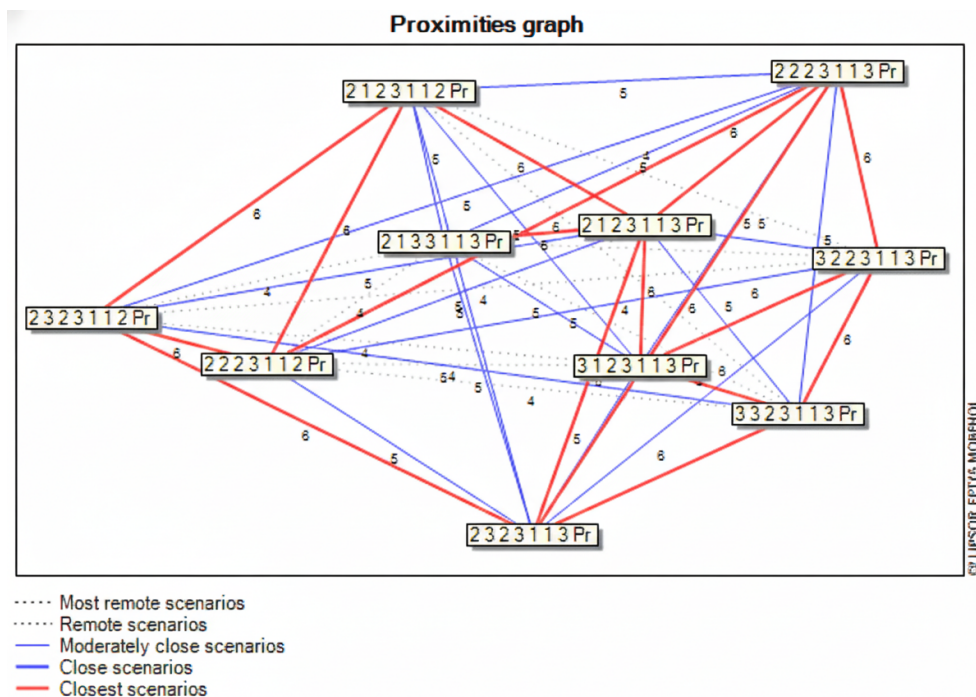
ادامه جدول ۶. فهرست ۱۰ سناریو برتر با احتمال معناداری بیشتر

سناریو ششم	سناریو هفتم	سناریو هشتم	سناریو نهم	سناریو دهم
استقبال کم شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین از سرمایه‌گذاران در فناوری بلاک چین	عدم سرمایه‌گذاری شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین در فناوری بلاک چین	عدم سرمایه‌گذاری شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین در فناوری بلاک چین	استقبال کم شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین از سرمایه‌گذاران در فناوری بلاک چین	استقبال کم شرکت‌ها و اعضای زنجیره تأمین از سرمایه‌گذاران در فناوری بلاک چین
۱ عامل				
نفوذ اجتماعی زیاد فناوری و آمادگی بالای مردم جهت پذیرش آن	نفوذ اجتماعی نسبی فناوری و آمادگی نسبی مردم جهت پذیرش آن	نفوذ اجتماعی پایین فناوری و آمادگی پایین مردم جهت پذیرش آن	نفوذ اجتماعی نسبی فناوری و آمادگی نسبی مردم جهت پذیرش آن	نفوذ اجتماعی پایین فناوری و آمادگی پایین مردم جهت پذیرش آن
۲ عامل				
اعتدال پذیری متوسط	اعتدال پذیری متوسط	اعتدال پذیری متوسط	اعتدال پذیری متوسط	اعتدال پذیری متوسط
اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک	اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک	اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک	اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک	اعضای زنجیره تأمین در زمینه تولید و انطباق با تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام سازی لجستیک
۳ عامل				

سناریو ششم	سناریو هفتم	سناریو هشتم	سناریو نهم	سناریو دهم
تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام‌سازی لجستیک	تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام‌سازی لجستیک	تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام‌سازی لجستیک	تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام‌سازی لجستیک	تغییرات به دلیل سرعت و تبادل داده‌ها و همگام‌سازی لجستیک
بی‌اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	بی‌اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	بی‌اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	بی‌اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین	بی‌اعتمادی بازیگران زنجیره تأمین به یکدیگر عدم شفافیت مالی و ایمنی و تمرکز داده‌ها، کنترل نسبی دسترسی به داده‌ها و قابلیت حسابرسی نسبی در زنجیره تأمین
همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی بلاک‌چین	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی بلاک‌چین	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی بلاک‌چین	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی بلاک‌چین	همکاری بالای تمام اعضای زنجیره تأمین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی بلاک‌چین
آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین	آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین	آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین	آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین	آمادگی بالای شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین
ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها	ناهماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، وجود ارتباطات ضعیف در بین آن‌ها

۳.۴. طبقه‌بندی سناریوها، تشکیل ماتریس و نقشه مجاورت

ماتریس مجاورت شبکه‌ای از روابط میان سناریو ها را شکل می‌دهد که می‌توان آن را به شکل گراف مورد بررسی قرارداد. گراف بازنمایی بصری یک شبکه بدون جهت شدت دار است. اگر دو سناریو در ۶ حالت مفروض با یکدیگر مشترک باشند، بیشترین نزدیکی و مجاورت را با یکدیگر دارند و این ارتباط با رنگ قرمز نمایش داده می‌شود. اگر تعداد حالت‌های مفروض مشترک ۵ یا کمتر باشد، دو سناریو مجاورت کمتری دارد و با رنگ آبی نمایش داده می‌شوند. بدین ترتیب می‌توان دو سناریو را با یال‌های دارای شدت‌های مختلف به یکدیگر ربط داد و شبکه مربوط به آن را ترسیم کرد. این شبکه روابط را می‌تواند در شکل ۱ مشاهده کرد.



شکل ۱. گراف میزان نزدیکی سناریوها در سطح ۱۰۰٪

در شکل شماره ۱، نقشه نزدیکی سناریوها ارائه شده است. خطوط قرمز نشان‌دهنده بیشترین میزان مجاورت میان سناریوها، و خطوط آبی و نقطه‌چین بیانگر کمترین میزان مجاورت هستند. با این حال، تفسیر مستقیم و دقیق کل گراف به سادگی امکان‌پذیر نیست. بر اساس جدول ۷، سناریوی با کد «۲۱۲۳۱۱۳» با بیشترین احتمال وقوع (۳۷۵/۷۲) در جایگاه نخست قرار دارد. همچنین، سناریوهای دوم و سوم با کدهای «۲۲۲۳۱۱۳» و «۳۳۲۳۱۱۳»، بیشترین میزان مجاورت را با سناریوی نخست نشان می‌دهند.

جدول ۷. کد مربوط به هر سناریو و احتمال وقوع

شماره سناریو	احتمال وقوع	کد سناریو
اول	۳۷۵/۷۲	2 1 2 3 1 1 3 Pr
دوم	۲۸۱/۷۹	2 2 2 3 1 1 3 Pr
سوم	۲۸۱/۷۹	2 3 2 3 1 1 3 Pr
چهارم	۲۲۵/۴۳	3 1 2 3 1 1 3 Pr
پنجم	۲۱۹/۱۷	2 1 2 3 1 1 2 Pr
ششم	۱۸۷/۸۶	2 1 3 3 1 1 3 Pr
هفتم	۱۶۹/۰۷	3 2 2 3 1 1 3 Pr
هشتم	۱۶۹/۰۷	3 3 2 3 1 1 3 Pr
نهم	۱۶۴/۳۸	2 2 2 3 1 1 2 Pr
دهم	۱۶۴/۳۸	2 3 2 3 1 1 2 Pr

۴.۴. تحلیل سناریوها به روش چرتکه رایتر^۱

ده سناریو محتمل با استفاده از روش کیفی چرتکه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند که نتایج آن در جدول ۸ نمایش داده شده است. در این تحلیل، با به کارگیری رنگ‌های سبز (خوش‌بینانه)، زرد (بینابین) و قرمز (بدبینانه)، فرضیات مرتبط با هر متغیر در سناریوهای مختلف بررسی و تحلیل شده‌اند. نتایج این بررسی تعداد فرضیات خوش‌بینانه، بینابین و بدبینانه را در هر یک از سناریوها مشخص کرده و تصویر روشنی از احتمال وقوع هر سناریو ارائه می‌دهد.

جدول ۸. تحلیل کمی ۱۰ سناریو برتر بلاکچین در زنجیره تأمین محصولات لبنی در فضای مورفولوژیک به روش چرتکه

سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم	سناریو پنجم	سناریو ششم	سناریو هفتم	سناریو هشتم	سناریو نهم	سناریو دهم	
بینابینی	بینابینی	بینابینی	بینابینی	بینابینی	بدبینانه	بینابینی	بینابینی	بینابینی	بینابینی	انعطاف‌پذیری در سیستم تولید
بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	اعتماد بین بازیگران زنجیره تأمین
خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری
خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	آمادگی شرکای تجاری
خوش‌بینانه	بینابینی	بدبینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	بینابینی	بدبینانه	بینابینی	بدبینانه	آمادگی مردم و نفوذ اجتماعی جهت‌پذیرش فناوری
بینابینی	بینابینی	بینابینی	بدبینانه	بینابینی	بینابینی	بدبینانه	بدبینانه	بینابینی	بینابینی	میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز
بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بینابینی	بدبینانه	بدبینانه	بدبینانه	بینابینی	بینابینی	توانایی همکاری اعضا زنجیره تأمین
۳	۲	۲	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲	خوش‌بینانه
۲	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۱	۴	۳	بینابینی
۲	۲	۳	۳	۱	۳	۳	۴	۱	۲	بدبینانه

۵.۴. کیفیت‌سنجی سناریوها

برای ارزیابی کیفیت سناریوها و طبقه‌بندی آن‌ها در یک طیف از خوش‌بینی تا بدبینی، روشی مبتنی بر تخصیص نسبت‌های کمی به داده‌های کیفی طراحی شده است که این نسبت‌ها در جدول آورده شده‌اند. در این روش، بر اساس ضریب‌ها و علائم اختصاری تعیین شده، کیفیت هر سناریو باتوجه به موقعیت آن در یکی از سه دسته سناریوهای خوش‌بینانه، بینابین و بدبینانه محاسبه می‌شود. این ارزیابی با استفاده از فرمول خاصی انجام می‌گیرد که بر اساس نزدیکی هر سناریو به ضریب مربوط به فرضیات تعریف شده، نوع و کیفیت آن را مشخص می‌کند. نتایج محاسبات صورت گرفته برای تحلیل سناریوها، وضعیت کیفیت ده سناریوی مرتبط با آینده بلاکچین در زنجیره تأمین را که به تفکیک در جدول ۹ آمده است، مشخص کرده است.

جدول ۹. گونه بندی کیفی ۱۰ سناریو

سناریو	ضریب خوش بینانه	nO	ضریب بینابین	nIN	ضریب بدبینانه	nC	SQ	گونه سناریو
سناریو ۱	۳	۳	۲	۲	۱	۲	۲/۱۴	بینابینی
سناریو ۲	۳	۲	۲	۳	۱	۲	۲/۰۰	بینابینی
سناریو ۳	۳	۲	۲	۲	۱	۳	۱/۸۶	بینابینی
سناریو ۴	۳	۳	۲	۱	۱	۳	۲/۰۰	بینابینی
سناریو ۵	۳	۳	۲	۳	۱	۱	۲/۲۹	بینابینی
سناریو ۶	۳	۳	۲	۱	۱	۳	۲/۰۰	بینابینی
سناریو ۷	۳	۲	۲	۲	۱	۳	۱/۸۶	بینابینی
سناریو ۸	۳	۲	۲	۱	۱	۴	۱/۷۱	بینابینی
سناریو ۹	۳	۲	۲	۴	۱	۱	۲/۱۴	بینابینی
سناریو ۱۰	۳	۲	۲	۳	۱	۲	۲/۰۰	بینابینی

۶.۴. تحلیل اینرسی سناریوها^۱

اینرسی یا گشتاور میزان مقاومت هر سناریو را در برابر هرگونه تغییرات مثبت و منفی احتمالی نشان می‌دهد که یکی از مهم‌ترین کمیت‌هایی است که در نتایج مورفولوژیک به هر یک از سناریوها نسبت داده می‌شود. در واقع هرچه عدد اینرسی بیشتر باشد حاکی از آن است که فرض‌های آن سناریو علاوه بر اینکه محتمل‌ترین فرض‌ها است، بیشترین تعداد تکرار را در سناریوهای بعدی نیز دارد، از اینرسی بالا انتظار می‌رود که کمترین تغییرات را در محیط بی‌ثبات آینده به همراه داشته باشد. میزان اینرسی سناریوهای ده‌گانه آینده بلاک‌چین در زنجیره تأمین در جدول زیر آورده شده است. سناریوی اول نسبت به سایر سناریوها از اینرسی بیشتری برخوردار است اما روند نزولی این میزان سناریوها به‌صورت نامنظم و با اختلاف کم نشان‌دهنده نزدیکی فرضیات سناریوها و مقاومت تقریبی تمامی سناریوها در برابر تغییرات احتمالی در افق طرح است.

جدول ۱۰. میزان اینرسی ۱۰ سناریو برتر

سناریو	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم
اینرسی	۱	۷	۷	۶/۷	۵	۶	۶/۲	۴	۶/۴۲	۴
	۷/۴			۶/۷			۶/۲			۶/۲

سناریو اول: این سناریو دارای بالاترین احتمال وقوع و بالاترین اینرسی (۷/۱۴) است. به عبارت دیگر، مقاومت زیادی در مقابل تغییرات دارد. آینده همکاری اعضای زنجیره تأمین با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات و ارتباطات خوشبینانه پیش‌بینی می‌شود، اما استقبال شرکت‌ها از سرمایه‌گذاری در این فناوری با دیدگاه بدبینانه تحلیل می‌شوند.

سناریو دوم: این سناریو نیز دارای احتمال وقوع بالا اما نسبت به سناریو اول کمتر است، همچنین میزان اینرسی آن کمی کمتر از سناریو اول است. مقاومت در برابر تغییرات در این سناریو همچنان بالا است، و مطلوبیت آن از نظر کیفیت به‌طور کلی بالاتر از سناریو اول است. آینده آمادگی خوب شرکای زنجیره تأمین از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین خوش‌بینانه پیش‌بینی می‌شود، اما ناهم‌آهنگی و ارتباطات ضعیف بین اعضای زنجیره تأمین که مانع از پیشرفت و گسترش بلاک‌چین می‌شود.

سناریو سوم: احتمال وقوع این سناریو مشابه سناریو دوم است، این سناریو نیز در برابر تغییرات مقاوم است و کیفیت آن نسبت به

سناریوهای اول و دوم پایین‌تر است. فرض‌های بی‌اعتمادی میان بازیگران زنجیره تأمین و عدم شفافیت مالی و ایمنی در این سناریو بدبینانه هستند.

سناریو چهارم: این سناریو احتمال وقوع کمتری نسبت به سناریو سوم دارد و میزان اینرسی آن برابر با سناریو پنجم است. مقاومت بالایی در مقابل تغییرات دارد در این سناریو عدم سرمایه‌گذاری شرکت‌ها در فناوری بلاک‌چین که باعث کاهش سرعت پیشرفت در زنجیره تأمین می‌شود.

سناریو پنجم: احتمال وقوع این سناریو کمتر از سناریوهای چهارم دارد؛ اما میزان اینرسی آن با سناریو چهارم برابر است. در این سناریو، مقاومت کمتری در مقابل تغییرات وجود دارد و کیفیت آن نسبت به سناریوهای قبلی پایین‌تر است.

سناریو ششم: احتمال وقوع این سناریو کمتر از سناریو پنجم است و میزان اینرسی آن پایین‌ترین است. با این حال، کیفیت آن در مقایسه با سناریوهای دوم و چهارم مشابه است. در این سناریو، پذیرش عمومی و اجتماعی بالا خوشبینانه پیش‌بینی می‌شود، ولی در خصوص پتانسیل همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری اطلاعات دیدگاه بدبینانه‌ای وجود دارد.

سناریو هفتم: این سناریو احتمال وقوع کمتری نسبت به سناریو ششم دارد، و میزان اینرسی آن پایین‌تر از سایر سناریوهاست. با این حال، مطلوبیت آن با داشتن فرض‌های خوشبینانه بالاترین کیفیت را دارد.

سناریو هشتم: احتمال وقوع این سناریو مشابه با سناریو هفتم است، اما میزان اینرسی آن بیشتر از سناریو ششم است. این سناریو مقاومتی بالا در برابر تغییرات دارد و کیفیت آن مشابه سناریو سوم است، به‌ویژه در زمینه عدم سرمایه‌گذاری شرکت‌ها و اعتمادی بین بازیگران زنجیره تأمین بدبینانه هستند.

سناریو نهم: احتمال وقوع این سناریو کمتر از سناریو هشتم است و میزان اینرسی آن برابر با سناریو هفتم، نهم و دهم است. در این سناریو، کیفیت به‌طور کلی مشابه سناریو اول دارد.

سناریو دهم: احتمال وقوع این سناریو کمتر از سناریو هشتم است و میزان اینرسی آن برابر با سناریو هفتم، نهم و دهم است. در این سناریو، کیفیت به‌طور کلی مشابه سناریو دوم، چهارم و ششم دارد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پیچیدگی فزاینده زنجیره تأمین در صنعت لبنیات، به‌ویژه در مراحل اولیه از مزرعه تا کارخانه، ضرورت بهره‌گیری از فناوری‌های نوین را برای تضمین کیفیت محصول، ارتقای قابلیت ردیابی، افزایش شفافیت و بهینه‌سازی فرایندهای تولید دوچندان کرده است. در این راستا، فناوری بلاک‌چین به‌عنوان یکی از راهکارهای تحول‌آفرین در مدیریت زنجیره تأمین، توجه فزاینده‌ای را در ادبیات علمی و کاربردی به خود اختصاص داده است. با این حال، مسیر استقرار این فناوری در صنعت لبنیات، به‌ویژه در بسترهای منطقه‌ای، با عدم قطعیت‌ها و چالش‌های متعددی همراه است که تحلیل آن‌ها نیازمند رویکردهای آینده‌پژوهانه است.

این پژوهش باهدف تبیین آینده‌های محتمل به‌کارگیری فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی (از مزرعه تا کارخانه)، از رویکرد آینده‌پژوهی و روش سناریونگاری مکتب فرانسوی مبتنی بر تحلیل مورفولوژیک بهره گرفت. در گام نخست، با مرور نظام‌مند پیشینه پژوهش و اخذ دیدگاه خبرگان صنعت لبنیات، عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی بلاک‌چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی شناسایی شد. براین اساس، هفت متغیر کلیدی شامل انعطاف‌پذیری در سیستم تولید، اعتماد بین بازیگران زنجیره تأمین، همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری، آمادگی شرکای تجاری، آمادگی مردم و نفوذ اجتماعی در پذیرش فناوری، میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز و توانایی همکاری اعضای زنجیره تأمین به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی شکل‌دهنده سناریوها تعیین گردید.

در ادامه، با استفاده از تحلیل مورفولوژیک و نرم‌افزار مورفول، سناریوهای پیش‌روی زنجیره تأمین محصولات لبنی در افق زمانی ۱۴۱۵ در استان فارس استخراج و ارزیابی شدند. نتایج تحلیل سناریوهای برتر و محتمل‌تر نشان می‌دهد که مسیر پیاده‌سازی بلاک‌چین در این صنعت

عمدتاً ماهیتی تدریجی و تکاملی دارد و اغلب متغیرهای کلیدی در وضعیت‌های بینابینی قرار گرفته‌اند. به طور مشخص، دو متغیر انعطاف‌پذیری در سیستم تولید و میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز در اکثر سناریوهای برتر در وضعیت بینابینی مشاهده می‌شوند که حاکی از امکان رشد تدریجی اما کند این مؤلفه‌ها در آینده است.

در مقابل، متغیرهای همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری و آمادگی شرکای تجاری در اغلب سناریوها در وضعیت خوش‌بینانه قرار دارند. این یافته نشان‌دهنده وجود ظرفیت‌های فناورانه و سازمانی مناسب در زنجیره تأمین محصولات لبنی است که می‌تواند نقش تسهیل‌کننده‌ای در استقرار زیرساخت‌های بلاک‌چین ایفا کند. همچنین، متغیر آمادگی مردم و نفوذ اجتماعی جهت‌پذیرش فناوری در چندین سناریو وضعیت مطلوبی دارد که بیانگر پتانسیل بالای ارتقای پذیرش اجتماعی بلاک‌چین از طریق آگاهی‌بخشی، آموزش و اطلاع‌رسانی هدفمند است.

بالین حال، نتایج پژوهش به طور نگران‌کننده‌ای نشان می‌دهد که دو متغیر «اعتماد بین بازیگران زنجیره تأمین» و «توانایی همکاری اعضای زنجیره تأمین» در بخش عمده‌ای از سناریوها در وضعیت بدبینانه قرار دارند. این یافته حاکی از آن است که چالش‌های نهادی، رفتاری و بین سازمانی، همچنان مانع اصلی در مسیر پیاده‌سازی مؤثر بلاک‌چین در زنجیره تأمین لبنیات محسوب می‌شوند. به بیان دیگر، حتی در صورت فراهم بودن زیرساخت‌های فناورانه، نبود اعتماد متقابل و ضعف همکاری می‌تواند اثربخشی این فناوری را به شدت محدود کند.

تحلیل تقسیری سناریوها نشان می‌دهد که آینده به کارگیری بلاک‌چین در زنجیره تأمین لبنیات بیش از هر عامل دیگری به سطح اعتماد میان دامداران، مراکز جمع‌آوری شیر و کارخانه‌های فراوری، آمادگی فناورانه و سازمانی بازیگران اولیه زنجیره و نیز جذب سرمایه‌گذاری هدفمند در زیرساخت‌های دیجیتال وابسته است. در سناریوهای بدبینانه، ترکیب عواملی مانند عدم سرمایه‌گذاری کافی، ناهماهنگی نهادی و بی‌اعتمادی میان بازیگران، مانع از استقرار مؤثر بلاک‌چین شده و کارکردهایی نظیر تضمین اصالت و قابلیت ردیابی شیر خام را با چالش مواجه می‌سازد. در مقابل، سناریوهای بینابینی و خوش‌بینانه نشان می‌دهند که با تقویت همکاری فناورانه، استانداردسازی تبادل داده‌ها و افزایش شفافیت در مراحل مزرعه تا کارخانه، بلاک‌چین می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تقلب، ارتقای کیفیت و افزایش اعتماد در زنجیره تأمین ایفا کند.

بررسی تطبیقی سناریوهای استخراج‌شده نشان می‌دهد که می‌توان آن‌ها را در سه دسته کلی شامل سناریوهای شکننده، سناریوهای گذار و سناریوهای قابل ارتقا طبقه‌بندی کرد. سناریوهای شکننده عمدتاً متأثر از ضعف اعتماد، محدودیت سرمایه‌گذاری و توان پایین همکاری بین اعضای زنجیره هستند. سناریوهای گذار اگرچه از ظرفیت‌های مناسبی برای بهبود برخوردارند، اما به دلیل موانع نهادی و اجتماعی، هنوز فاصله معناداری با وضعیت مطلوب دارند. سناریوهای قابل ارتقا نیز بیانگر شرایطی هستند که در آن‌ها برخی مؤلفه‌ها، به‌ویژه پذیرش اجتماعی یا آمادگی فناورانه، جلوتر از سایر عوامل حرکت کرده و فرصت‌هایی بالقوه اما ناپایدار ایجاد شده است.

راهکارها و پیشنهادات

باتوجه به نتایج حاصل از تحلیل سناریوها و شناسایی متغیرهای کلیدی مؤثر بر آینده به کارگیری فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین محصولات لبنی، می‌توان مجموعه‌ای از راهکارها و پیشنهادات سیاستی و اجرایی را برای بهبود وضعیت سناریوهای موجود و حرکت به سمت سناریوهای مطلوب‌تر ارائه کرد. این راهکارها بر ارتقای تدریجی متغیرهایی تمرکز دارند که در وضعیت‌های بدبینانه یا بینابینی قرار گرفته‌اند.

۱. تقویت اعتماد بین بازیگران زنجیره تأمین

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که ضعف اعتماد میان دامداران، مراکز جمع‌آوری شیر و کارخانه‌های فراوری، مهم‌ترین مانع در مسیر استقرار اثربخش بلاک‌چین است. از این رو پیشنهاد می‌شود سازوکارهای نهادی مشخصی برای شفاف‌سازی جریان داده‌ها و مسئولیت‌ها طراحی شود. استفاده تدریجی از قراردادهای هوشمند، تعریف حقوق مالکیت داده‌ها و ایجاد نظام‌های پاسخگویی مشترک می‌تواند به کاهش نگرانی‌های رفتاری و افزایش اعتماد متقابل کمک کند. همچنین نقش آفرینی نهادهای واسط معتبر، نظیر اتحادیه‌های صنفی و سازمان‌های نظارتی، می‌تواند به افزایش مشروعیت و پذیرش بلاک‌چین در میان بازیگران زنجیره منجر شود.

۲. ارتقای توان همکاری میان اعضای زنجیره تأمین

باتوجه به قرارگیری متغیر توان همکاری اعضای زنجیره تأمین در وضعیت بدینانه در بسیاری از سناریوها، لازم است ساختارهای همکاری بین سازمانی تقویت شود. پیشنهاد می‌شود مدل‌های مشارکتی مبتنی بر کنسرسیوم‌های بلاک‌چینی توسعه یابد تا امکان تصمیم‌گیری مشترک، اشتراک منافع و توزیع عادلانه هزینه‌ها فراهم شود. برگزاری کارگاه‌های مشترک، پروژه‌های بین سازمانی و پلتفرم‌های تعاملی می‌تواند به هم‌راستایی اهداف و افزایش انسجام زنجیره کمک کند.

۳. مدیریت تدریجی سرمایه‌گذاری و کاهش ریسک مالی

نتایج سناریوها نشان می‌دهد که میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز اغلب در وضعیت بینابینی یا بدینانه قرار دارد. در این راستا، اتخاذ رویکرد مرحله‌ای در سرمایه‌گذاری، اجرای پروژه‌های پایلوت محدود و استفاده از مدل‌های تأمین مالی مشارکتی توصیه می‌شود. حمایت‌های دولتی، مشوق‌های مالیاتی و تسهیلات اعتباری هدفمند می‌تواند ریسک مالی پذیرش بلاک‌چین را برای بازیگران کوچک‌تر زنجیره کاهش دهند.

۴. بهره‌گیری مؤثر از همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری

قرارگیری متغیر همکاری با ارائه‌دهندگان فناوری در وضعیت خوش‌بینانه در اغلب سناریوها، فرصتی مهم برای تسهیل پیاده‌سازی بلاک‌چین فراهم می‌کند. پیشنهاد می‌شود این همکاری‌ها از سطح فنی صرف فراتر رفته و به شراکت‌های راهبردی بلندمدت تبدیل شوند. انتقال دانش، بومی‌سازی راهکارها و پشتیبانی مستمر فنی می‌تواند به افزایش پایداری و اثربخشی پروژه‌های بلاک‌چینی در زنجیره تأمین لابیات کمک کند.

۵. تقویت آمادگی شرکای تجاری و هماهنگی نهادی

باتوجه به آمادگی نسبی شرکای تجاری، پیشنهاد می‌شود برنامه‌های آموزشی و توانمندسازی سازمانی برای مدیران و تصمیم‌گیران زنجیره تأمین طراحی و اجرا شود. تدوین استانداردهای مشترک برای تبادل داده، هماهنگی مقرراتی و هم‌راستاسازی فرایندهای عملیاتی می‌تواند نقش مهمی در کاهش ناهماهنگی نهادی و تسهیل پذیرش بلاک‌چین ایفا کند.

۶. ارتقای پذیرش اجتماعی و نفوذ اجتماعی فناوری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که آمادگی مردم و نفوذ اجتماعی در برخی سناریوها از وضعیت مطلوبی برخوردار است، اما این وضعیت نیازمند تقویت مستمر است. پیشنهاد می‌شود برنامه‌های اطلاع‌رسانی، آموزش عمومی و تبیین مزایای بلاک‌چین برای مصرف‌کنندگان نهایی طراحی شود. افزایش آگاهی عمومی درباره نقش بلاک‌چین در تضمین کیفیت، ایمنی و اصالت محصولات لبنی می‌تواند پذیرش اجتماعی این فناوری را در بلندمدت تثبیت کند.

۷. افزایش انعطاف‌پذیری سیستم‌های تولید

باتوجه به قرارگیری انعطاف‌پذیری در سیستم تولید در وضعیت بینابینی، پیشنهاد می‌شود بازطراحی فرایندهای تولیدی و لجستیکی با رویکرد دیجیتال‌محور در دستور کار قرار گیرد. یکپارچه‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی، استفاده از داده‌های بلادرنگ و هم‌راستاسازی فناوری بلاک‌چین با سایر فناوری‌های صنعت ۴/۰ می‌تواند به افزایش انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری زنجیره تأمین کمک کند.

در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که آینده بلاک‌چین در زنجیره تأمین لابیات بیش از آن که به پیشرفت‌های فناورانه وابسته باشد، به هم‌راستایی میان فناوری، نهادها و روابط بین سازمانی بستگی دارد. اتخاذ رویکرد سناریو محور در تحلیل و سیاست‌گذاری می‌تواند به تصمیم‌گیران کمک کند تا با درک بهتر عدم قطعیت‌ها، مسیرهای واقع‌بینانه، تدریجی و پایدار برای به‌کارگیری بلاک‌چین در صنعت لابیات ترسیم کنند.

محدودیت‌ها و پیشنهادات پژوهش‌های آینده

این پژوهش محدودیت‌هایی دارد؛ از جمله تمرکز بر صنعت لابیات و منطقه جغرافیایی مشخص (فارس) که تعمیم نتایج به سایر صنایع یا استان‌ها را محدود می‌کند. همچنین، داده‌ها با استفاده از پرسش‌نامه جمع‌آوری شده‌اند، درحالی که به‌کارگیری روش‌های کارگاهی در سناریونگاری می‌تواند نتایج دقیق‌تر و عملیاتی‌تری ارائه دهد. علاوه بر این، سناریوهای ارائه‌شده صرفاً احتمالات را نشان می‌دهند و تغییرات

سریع فناوری و مقررات ممکن است وضعیت آینده را دگرگون کنند.

برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود از رویکردهای جایگزین سناریونگاری، مانند منطق شهود، روش شبکه کسب‌وکار جهانی و روش احتمالی تعدیلی با استفاده از سناریو ویزارد بهره گرفته شود. همچنین، به کارگیری مدل‌سازی پویایی سیستم برای شبیه‌سازی اثرات بلاک‌چین بر عملکرد زنجیره تأمین در سناریوهای مختلف توصیه می‌گردد.

منابع

1. Ahl, A., Goto, M., Yarime, M., Tanaka, K., & Sagawa, D. (2022). Challenges and opportunities of blockchain energy applications: Interrelatedness among technological, economic, social, environmental, and institutional dimensions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 166, 112623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112623>
2. Alazab, M., Alhyari, S., Awajan, A., & Abdallah, A. B. (2021). Blockchain technology in supply chain management: An empirical study of the factors affecting user adoption/acceptance. *Cluster Computing*, 24(1), 83–101. <https://doi.org/10.1007/s10586-020-03200-4>
3. Alkhateeb, A., Catal, C., Kar, G., & Mishra, A. (2022). Hybrid blockchain platforms for the internet of things (IoT): A systematic literature review. *Sensors*, 22(4), 1304. <https://doi.org/10.3390/s22041304>
4. Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23–40. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>
5. Aslam, J., Saleem, A., & Kim, Y. B. (2023). Blockchain-enabled supply chain management: Integrated impact on firm performance and robustness capabilities. *Business Process Management Journal*, 29(6), 1680–1705. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2023-0165>
6. Abdul Mumin, M., Adam, I. O., & Alhassan, M. D. (2024). The impact of ICT capabilities on supply chain fraud and sustainability: A dynamic capability perspective. *Technological Sustainability*, 3(2), 123–146. <https://doi.org/10.1108/TECHS-11-2023-0051>
7. Aggarwal, M., Rani, P., Rani, P., & Sharma, P. (2024). Revolutionizing agri-food supply chain management with blockchain-based traceability and navigation integration. *Cluster Computing*, 27(9), 12919–12942. <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04609-x>
8. Beck, R., Czepluch, J. S., Lollike, N., & Malone, S. (2016). Blockchain—the gateway to trust-free cryptographic transactions. In *Proceedings of the Twenty-Fourth European Conference on Information Systems (ECIS 2016)* (pp. 1–14), Istanbul, Turkey. Springer Publishing Company. https://aisel.aisnet.org/ecis2016_rp/153
9. Berdik, D., Otoum, S., Schmidt, N., Porter, D., & Jararweh, Y. (2021). A survey on blockchain for information systems management and security. *Information Processing & Management*, 58(1), 102397. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2020.102397>
10. Bigliardi, B., & Filippelli, S. (2022). A review of the literature on innovation in the agrofood industry: Sustainability, smartness and health. *European Journal of Innovation Management*, 25(6), 589–611. <https://doi.org/10.1108/EJIM-05-2021-0258>
11. Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T. K., Moschuris, S., Stachtariis, S., Pagoni, M., & Rachaniotis, N. P. (2021). Blockchain-based food supply chain traceability: A case study in the dairy sector. *International Journal of Production Research*, 59(19), 5758–5770. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1789238>
12. Chermack, T. J. (2011). *Scenario planning in organizations: How to create, use, and assess scenarios*. Berrett-Koehler Publishers.

13. Dai, Y., Xu, D., Zhang, K., Maharjan, S., & Zhang, Y. (2020). Deep reinforcement learning and permissioned blockchain for content caching in vehicular edge computing and networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(4), 4312–4324. <https://doi.org/10.1109/TVT.2020.2973705>
14. Godet, M., Durance, P., & Gerber, A. (2008). *Strategic foresight: La prospective*. Cahiers du LIPSOR, 143.
15. Gordon, W. J., & Catalini, C. (2018). Blockchain technology for healthcare: Facilitating the transition to patient-driven interoperability. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.06.003>
16. Guggenberger, T., Schweizer, A., & Urbach, N. (2020). Improving interorganizational information sharing for vendor managed inventory: Toward a decentralized information hub using blockchain technology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(4), 1074–1085. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2978628>
17. Hastig, G. M., & Sodhi, M. S. (2020). Blockchain for supply chain traceability: Business requirements and critical success factors. *Production and Operations Management*, 29(4), 935–954. <https://doi.org/10.1111/poms.13147>
18. Hawashin, D., Salah, K., Jayaraman, R., Ahmad, R. W., Kanhere, S., & Damiani, E. (2025). Enhancing sustainability in dairy industry: Blockchain-based waste reduction. *Sustainable Futures*, 9, 100529. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100529>
19. Hoorshad, A., Safari, H., & Ghasemi, R. (2023). Developing smart supply chain management model in fast-moving consumer goods industry (FMCG). *Journal of Industrial Management Perspective*, 13(4), 108–148. (In Persian)
20. Johansen, I. (2018). Scenario modelling with morphological analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.016>
21. Kasten, J. (2019). Blockchain application: The dairy supply chain. *Journal of Supply Chain Management Systems*, 8(1), 45–54.
22. Khan, S., Kaushik, M. K., Kumar, R., & Khan, W. (2023). Investigating the barriers of blockchain technology integrated food supply chain: A BWM approach. *Benchmarking: An International Journal*, 30(3), 713–735. <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2021-0489>
23. Khanlarzade, N. (2024). Improving the sustainability of the dairy supply chain using cold plasma and blockchain: An evolution in deterioration management. *Journal of Industrial Innovations*, 2(2), 161–179.
24. Khelil, A., Snene Manzli, Y., & Louzir Ben Hassine, A. (2024). Blockchain use in high-tech supply chain: A new perspective of the unified theory of acceptance and use of technology. *Journal of Science and Technology Policy Management*. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-12-2023-0226>
25. Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2018). Blockchain practices, potentials, and perspectives in greening supply chains. *Sustainability*, 10(10), 3652. <https://doi.org/10.3390/su10103652>
26. Kshetri, N. (2022). *Blockchain and supply chain management* (R. Alizadeh & M. R. Akbari Jokar, Trans.). Tehran: Bazargani Publications. (Original work published 2021). (In Persian)
27. Lanzini, F., Ubacht, J., & De Greeff, J. (2021). Blockchain adoption factors for SMEs in supply chain management. *Journal of Supply Chain Management Science*, 2(1–2), 47–68. <https://doi.org/10.18757/jscms.2021.5624>
28. López-Naranjo, A. L., Larrea-Cuadrado, P. L., & Mazón-Fierro, G. (2025). Transformation of the dairy supply chain through artificial intelligence: A systematic review. *Sustainability*, 17(3), 982. <https://doi.org/10.3390/su17030982>

29. Malik, M., Gahlawat, V. K., Mor, R. S., & Singh, M. K. (2024). Unlocking dairy traceability: Current trends, applications, and future opportunities. *Future Foods*, 10, 100426. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100426>
30. Malik, M., Dalal, M., Mor, A., Toor, K., Yadav, D. K., & Gahlawat, V. K. (2025). Dairy traceability: Pathways to a sustainable and resilient supply chain. In *Trends in Animal-Based Foods* (pp. 137–148). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00575-5_7
31. Mohammed, A., Potdar, V., Quaddus, M., & Hui, W. (2023). Blockchain adoption in food supply chains: A systematic literature review on enablers, benefits, and barriers. *IEEE Access*, 11, 14236–14255. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3236666>
32. Nasiri Galeh, M., & Sahraei, S. (2024). Investigating the impact of blockchain implementation in the supply chain of dairy products in Iran. *Supply Chain Management*, 26(82), 95–102. (In Persian)
33. Plakantara, S. P., & Karakitsiou, A. (2025). Transforming agrifood supply chains with digital technologies: A systematic review of safety and quality risk management. *Operations Research Forum*, 6(3), 113. Springer. <https://doi.org/10.1007/s43069-025-00511-3>
34. Pouragha, B., Baghian, N., & Najafi, M. (2018). Futures study in health: A review study. *Evidence Based Health Policy, Management and Economics*. <https://doi.org/10.18502/jebhpme.v2i4.281>
35. Queiroz, M. M., & Wamba, S. F. (2019). Blockchain adoption challenges in supply chain: An empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, 46, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.021>
36. Rahimi, A., Taghizadeh, G., & Mahmoudabadi, S. (2022). Proposing an interpretive structural model of barriers to using blockchain technology in the food supply. *Research in Production and Operations Management*, 13(1), 79–104. (In Persian). <https://dx.doi.org/10.22108/jpom.2022.131836.1412>
37. Rayat Pische, S., & Tizroo, A. (2016). Strategies of customs and logistics to clients through scenario planning approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 6(3), 101–129. (In Persian)
38. Rezaee, L., & Babazadeh, R. (2020). Investigating the relationships between the influencing indicators of blockchain in the food industry. *Research in Production and Operations Management*, 11(3), 95–116. <https://doi.org/10.22108/jpom.2021.123858.1279>
39. Ritchey, T. (2005). *Futures studies using morphological analysis*. UN University Millennium Project, Futures Research Methodology Series, 14.
40. Ronaghi, M. H. (2021). A blockchain maturity model in agricultural supply chain. *Information Processing in Agriculture*, 8(3), 398–408. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.10.004>
41. Shahin, A. A., & Shaaban, H. A. (2022). Review on development system of traceability in dairy processing. *Austin Journal of Nutrition and Metabolism*, 9(1), 1122.
42. Sharma, D., Singh, G., & Kaur, A. (2025). Blockchain-based layered architecture for traceability in dairy supply chain management. *International Journal of Information Technology*, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s41870-025-02554-5>
43. Shingh, S., Kamalvanshi, V., Ghimire, S., & Basyal, S. (2020). Dairy supply chain system based on blockchain technology. *Asian Journal of Economics, Business and Accounting*, 14(2), 13–19. <https://doi.org/10.9734/ajeba/2020/v14i230189>
44. Shoaib, M., Lim, M. K., & Wang, C. (2020). An integrated framework to prioritize blockchain-based supply chain success factors. *Industrial Management & Data Systems*, 120(11), 2103–2131. <https://doi.org/10.1108/IMDS-04-2020-0194>

45. Tan, A., & Ngan, P. T. (2020). A proposed framework model for dairy supply chain traceability. *Sustainable Futures*, 2, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2020.100034>
46. Theodouli, A., Arakliotis, S., Moschou, K., Votis, K., & Tzovaras, D. (2018). On the design of a blockchain-based system to facilitate healthcare data sharing. In *2018 IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications* (pp. 1374–1379). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TrustCom/BigDataSE.2018.00190>
47. Vasanthraj, V., Potdar, V., Agrawal, H., & Kaur, A. (2025). Transforming milk supply chains with blockchain: Enhancing visibility and cost reduction. *Benchmarking: An International Journal*, 32(5), 1686–1719. <https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2023-0702>
48. Vargas-Bello-Pérez, E., Sandoval, O. R. E., Rodríguez-Piñeros, S., & Ghavipanje, N. (2025). Blockchain and its future in the supply and value chains of the dairy industry. *Journal of Dairy Research*, 1–8. <https://doi.org/10.1017/S0022029925101076>
49. Wang, Y., Han, J. H., & Beynon-Davies, P. (2019). Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 62–84. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0148>
50. Zali, N., & Zamanipour, M. (2016). Presenting and implementing a new model for scenario building in regional planning: A case study of Mazandaran province. (In Persian)