



Analyzing the Effects of Implementing Industry 4.0 Technologies on Supply Chain Performance with a Systems Approach Case study: Oil industry Supply Chain

Sepehr Ghorbani 

PhD candidate in Industrial Management, Faculty of Management and Strategic Planning, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

Sepehrjan110@gmail.com

Hossein Bazargani 

Assistant Professor, Faculty of Economics, Management and Strategic Planning, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

Bazargani@ihu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-08-06

Revised: 2025-08-12

Accepted: 2025-08-23

Keywords:

Industry 4.0,
Supply Chain,
System Dynamics,
Oil Industry,
Logistics.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: The rapid emergence of Industry 4.0 technologies—such as IoT, AI, Big Data Analytics, and Cyber-Physical Systems—has introduced both opportunities and complexities for supply chains, especially in strategic sectors like the oil industry. These technologies offer significant potential for process optimization; however, their implementation in traditionally structured industries requires a comprehensive understanding of both enabling and inhibiting factors. This study aims to evaluate the impacts of Industry 4.0 technologies on the oil supply chain and proposes a structured implementation framework by accounting for key drivers and barriers to digital transformation.

Materials and Methods: To achieve this objective, a systematic literature review was conducted to identify critical factors influencing technology adoption. Four analytical dimensions—strategic, organizational, technological, and legal-ethical—were derived to guide the analysis. Based on these dimensions, a two-stage system dynamics model was developed to simulate the interactions among variables and explore various implementation scenarios. The model assessed the comparative performance of traditional and technology-enabled methods in the distribution and sales of petroleum products.

Results: Simulation results demonstrated that Industry 4.0 technologies can substantially enhance supply chain performance, particularly through smart inventory management systems that reduce response times, improve order accuracy, and lower inventory holding costs. Enablers such as senior management support, robust technological infrastructure, and regulation-based incentives were found to facilitate digitalization. In contrast, resistance to change, insufficient technical expertise, and legal-ethical constraints posed significant challenges.

* Corresponding author

Email: Sepehrjan110@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-4067-3506>

Conclusion: In conclusion, the study underscores that the successful integration of Industry 4.0 in the oil industry hinges on the concurrent management of both enablers and barriers. The proposed system dynamics model can function as a decision-support tool for guiding digital transformation initiatives in the oil and energy sectors. Moreover, the developed framework offers a transferable roadmap for other traditional industries aiming to adopt intelligent, technology-driven supply chain practices.

Cite this article:

Ghorbani, S. & Bazargani, H. (2025). Analyzing the effects of implementing Industry 4.0 technologies on supply chain performance with a systemic approach. Case study: Oil industry supply chain. . *Journal of Strategic Value Chain Management*, 2(6), 73-91.

DOI: <https://doi.org/10.22075/svcm.2025.38570.1034>

© 2024 authors retain the copyright and full publishing rights. Journal of Strategic Value Chain Management Published by **Semnan University Press**.

This is an open access article under the CC-BY-4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



تحلیل اثرات پیاده سازی فناوری های صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با رویکرد سیستمی مطالعه موردی: زنجیره تأمین صنعت نفت

سپهر قربانی*

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و برنامه ریزی راهبردی، دانشگاه جامع امام حسین علیه السلام، تهران، ایران.

Sepehrjan110@gmail.com

حسین بازرگانی

استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و برنامه ریزی راهبردی، دانشگاه جامع امام حسین علیه السلام، تهران، ایران.

Bazargani@ihu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: با ورود به عصر صنعت ۴.۰، زنجیره تأمین صنایع راهبردی مانند نفت با فرصت ها و چالش های متعددی مواجه شده است. فناوری هایی همچون اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و سیستم های سایبری-فیزیکی ظرفیت بالایی برای بهبود فرآیندهای زنجیره تأمین دارند. با این حال، پیاده سازی این فناوری ها در صنایع سنتی نیازمند شناخت دقیق عوامل تسهیل کننده (محركها) و بازدارنده (موانع) است. هدف این پژوهش، بررسی پیامدهای ناشی از به کارگیری فناوری های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین نفت و ارائه یک چارچوب اجرایی است که بر پایه تحلیل نظام مند محركها و موانع تدوین می شود.
واژه های کلیدی: صنعت ۴.۰، زنجیره تأمین، پویاشناسی سیستم، صنعت نفت، لجستیک.	روش: در گام نخست، با مرور نظام مند ادبیات، چهار بعد راهبردی، سازمانی، فناورانه و قانونی-اخلاقی به عنوان چارچوب تحلیل شناسایی شدند. سپس، یک مدل پویای سیستمی دو مرحله ای برای شبیه سازی تأثیر سناریوهای مختلف پیاده سازی فناوری های نوین طراحی گردید. در ادامه، عملکرد توزیع و فروش فرآورده های نفتی در دو رویکرد سنتی و فناورمحور مقایسه شد.
	یافته ها: نتایج مدل سازی پویا نشان داد که به کارگیری فناوری های صنعت ۴.۰ موجب بهبود شاخص های کلیدی عملکرد زنجیره تأمین، از جمله کاهش موجودی توزیع کنندگان، افزایش بهره وری و بهینه سازی فرایند سفارش گذاری می گردد. نقش تسهیل گر عواملی نظیر حمایت مدیریتی، زیرساخت های فناورانه و چارچوب های قانونی مشوق محور تأیید شد؛ در مقابل، مقاومت سازمانی، فقدان دانش تخصصی و محدودیت های حقوقی-اخلاقی به عنوان موانع عمده شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها حاکی از آن است که تحقق موفق تحول دیجیتال در صنعت نفت مستلزم درک جامع و مدیریت هم‌زمان محرک‌ها و موانع اجرایی است. مدل توسعه‌یافته این پژوهش، به‌عنوان ابزاری تصمیم‌یار، می‌تواند در تدوین سیاست‌ها و برنامه‌ریزی راهبردی دیجیتالی‌سازی صنایع نفت و انرژی کاربرد یابد و همچنین به منزله الگویی برای سایر صنایع سنتی در مسیر هوشمندسازی مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: قربانی، سپهر و بازرگانی، حسین. (۱۴۰۴). تحلیل اثرات پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره‌تأمین با رویکرد سیستمی مطالعه موردی: زنجیره تأمین صنعت نفت. *مدیریت زنجیره ارزش راهبردی*, ۲ (۶), ۷۳-۹۱.
DOI: <https://doi.org/10.22075/svcm.2025.38570.1034>

ناشر: دانشگاه سمنان

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، تحول سریع فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و ادغام آن‌ها با سیستم‌های صنعتی، منجر به شکل‌گیری انقلاب صنعتی چهارم شده است (دلونگار^۱، ۲۰۲۲). این انقلاب، با محوریت فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیاء، سیستم‌های فیزیکی-سایبری، بلاکچین، کلان‌داده، واقعیت افزوده، محاسبات ابری و هوش مصنوعی، مرز میان دنیای فیزیکی و دیجیتال را از میان برداشته است (بارتو^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). در نتیجه، مدل‌های عملیاتی، راهبردهای مدیریتی و فرآیندهای زنجیره تأمین به صورت بنیادین دگرگون شده‌اند تا بتوانند با چالش‌های اکوسیستم‌های پویا و داده‌محور سازگار شوند (راچینگر^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). انتظار می‌رود بیشترین اثرات تحول صنعت ۴.۰ در حوزه‌های تولید، لجستیک، و مدیریت فرآیندهای صنعتی و تجاری بروز یابد (آوان^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). از این رو، دیجیتالی شدن زنجیره تأمین دیگر یک انتخاب راهبردی نیست، بلکه ضرورتی برای بقا در محیط رقابتی امروز محسوب می‌شود (وو^۵ و همکاران، ۲۰۱۶؛ پیرا^۶ و رومرو^۷، ۲۰۱۷).

صنعت نفت به عنوان یکی از بخش‌های راهبردی اقتصاد، دارای ساختاری پیچیده و چندلایه در زنجیره تأمین خود است که از اکتشاف و استخراج تا پالایش، توزیع و صادرات را در بر می‌گیرد. با وجود اهمیت حیاتی این صنعت در رشد اقتصادی، ثبات بازارهای مالی و کنترل تورم، هنوز بهره‌گیری از فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در زنجیره تأمین آن بسیار محدود است. در حالی که بسیاری از صنایع تولیدی پیشرفته به سمت دیجیتالی شدن حرکت کرده‌اند، صنعت نفت همچنان با چالش‌هایی چون عدم شفافیت اطلاعات، ناکارآمدی لجستیکی، و ضعف در یکپارچگی داده‌ها مواجه است. از این رو، بررسی نحوه پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره تأمین صنعت نفت، ضرورتی اساسی برای بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و افزایش چابکی این صنعت محسوب می‌شود.

اگرچه مطالعات متعددی در زمینه طراحی چارچوب‌ها و نقشه‌های راه برای تحول دیجیتال در صنعت ۴.۰ انجام شده‌اند (سرئولا^۸، ۲۰۲۱؛ لوترا^۹ و منگلا^{۱۰}، ۲۰۱۸). اما اغلب این پژوهش‌ها به صنایع تولیدی کشورهای توسعه‌یافته محدود بوده‌اند و نگاه جامعی به ماهیت پویا و پیچیده زنجیره تأمین در صنایع زیرساختی مانند نفت و انرژی نداشته‌اند. در ایران نیز، پژوهش‌هایی در حوزه سلامت، لجستیک و انرژی انجام شده است (رکن الدینی و همکاران، ۱۴۰۲؛ حسینی و همکاران، ۱۴۰۳)، اما بیشتر آن‌ها رویکردی توصیفی داشته و از مدل‌سازی پویا و سیستمی برای تبیین تعامل میان

¹ Delongar

² Barto

³ Rachinger

⁴ Avan

⁵ Woo

⁶ Pereira

⁷ Romero

⁸ Cereola

⁹ Luthra

¹⁰ Mangla

محرك‌ها و موانع پذیرش فناوری‌های فناوری نسل چهارم بهره نگرفته‌اند.

بنابراین، خلأ اصلی در ادبیات پژوهش به فقدان رویکردی پویا، چندبعدی و سیستمی برای تحلیل پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در زنجیره تأمین صنایع پیچیده؛ مانند نفت مربوط می‌شود.

طی چند سال گذشته، تکامل سریع فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و ادغام آنها در زنجیره‌های تأمین منجر به ظهور چهارمین انقلاب صنعتی شده است (دلونگار^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). رقابت در کسب‌وکار و صنایع مختلف افزایش یافته است. این مهم ناشی از نوآوری‌های تکنولوژیکی و تغییر نیازهای مشتری است. این تغییرات تحول‌آفرین در اکوسیستم‌های صنایع و کسب‌وکارهای مختلف عمیقاً بر مدل‌ها و چارچوب‌های عملیاتی و استراتژی‌های مدیریتی به‌منظور انطباق و ادغام با چالش‌های جدید در یک اکوسیستم در حال تکامل تأثیر گذاشته است (بارتو^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). از زمان آغاز انقلاب صنعتی چهارم تاکنون، شمار فزاینده‌ای از شرکت‌ها اصول و فناوری‌های این انقلاب را برای ارتقای عملکرد و افزایش بهره‌وری به کار گرفته‌اند (راچینگر^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). انتظار می‌رود، آشکارترین تأثیر انقلاب صنعتی چهارم در حوزه‌های تولید و مدیریت صنعتی، تدارکات و مدیریت فرآیندهای تجاری باشد (آوان^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). دیجیتالی‌شدن برای بقای سیستم‌های زنجیره تأمین در محیط تجاری بسیار پویا و رقابتی امروزی امری ضروری است (وو^۵ و همکاران، ۲۰۱۶، پریرا و رومرو^۶، ۲۰۱۷). شرکت‌ها باید فناوری‌های نوظهور را در فرآیندهای تجاری خود بپذیرند و جریان فزاینده داده در زنجیره ارزش خود را برای مدیریت مؤثر نسل بعدی زنجیره‌های تأمین دیجیتال مدیریت کنند.

با پیشرفت انقلاب صنعتی چهارم، توجه پژوهشگران و صنایع به استفاده از فناوری‌های نوین در شبکه‌های زنجیره تأمین افزایش یافته است. هرچند مطالعات متعددی در حوزه طراحی چارچوب‌ها و نقشه‌های راه برای تحول دیجیتال و صنعت ۴.۰ انجام شده‌اند (سربولوا^۷، ۲۰۲۱، لاترا و منگل^۸، ۲۰۱۸)، اما بخش قابل توجهی از این پژوهش‌ها بر صنایع تولیدی پیشرفته در کشورهای توسعه‌یافته متمرکز بوده‌اند و کمتر به ماهیت سیستمی و پویایی زنجیره‌های تأمین در بخش‌های خدماتی و زیرساختی مانند بهداشت و درمان در کشورهای در حال توسعه پرداخته‌اند.

در ایران نیز پژوهش‌هایی به بررسی اثرات فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر زنجیره تأمین در حوزه سلامت، انرژی و لجستیک پرداخته‌اند (رکن‌الدینی و همکاران، ۱۴۰۲؛ حسینی و همکاران، ۱۴۰۳)، اما اغلب این مطالعات به‌صورت

¹ Dalenogare

² Barreto

³ Rachinger

⁴ Awan

⁵ Wu

⁶ Pereira & Romero

⁷ Serbulova

⁸ Luthra & Mangla

توصیفی یا مبتنی بر پرسش‌نامه انجام شده‌اند و نگاه پویا و سیستمی به تعامل متغیرهای فناورانه، سازمانی و اخلاقی در پذیرش صنعت ۴.۰ را در مدل‌سازی زنجیره تأمین نداشته‌اند.

براین اساس، شکاف اصلی پژوهش حاضر در ترکیب دیدگاه سیستمی با چارچوب چندبعدی پذیرش صنعت ۴.۰ است تا بتواند تصویری جامع از تأثیر هم‌زمان محرک‌ها و موانع فناوری، سازمانی، حقوقی و اخلاقی بر پویایی زنجیره تأمین ارائه کند.

در این مطالعه، به دو دلیل، بخش صنعت نفت را برای اعتبار بخشیدن به چارچوب پیشنهادی انتخاب می‌کنیم. اولاً، این بخشی است که علی‌رغم تأثیر قابل توجه آن بر اقتصاد، به طور گسترده توسط محققان نادیده گرفته شده است. دوم، دارای ساختار زنجیره تأمین بسیار پیچیده است. صنعت نفت در اقتصاد و سیاست جهانی اهمیت ویژه‌ای دارد و بر تورم، سطح قیمت کالاها، بازار مالی و بورس و رشد اقتصادی تأثیر می‌گذارد. از بین فناوری‌های نوین انقلاب صنعتی چهارم نیز دو فناوری دستگاه شناسایی فرکانس رادیویی^۱ و فناوری بلاکچین^۲ برای بررسی رفتار عملکرد زنجیره تأمین در این تحقیق گنجانده شده‌است. لذا هدف از انجام این تحقیق تأثیر پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر زنجیره تأمین صنعت نفت کشور است. در ادامه پس از مرور ادبیات و توضیح روش تحقیق مدل پویای سیستم پیشنهادی مورد بحث قرار می‌گیرد تا تأثیر پذیرش فناوری‌های نام برده بر زنجیره تأمین صنعت نفت را با در نظر گرفتن محرک‌ها و موانع مختلف این پارادایم نشان داده شود.

۲. پیشینه پژوهش

۱.۲. انقلاب صنعتی چهارم^۳

اولین انقلاب صنعتی پس از دوره تولید صنعتی اولیه به وجود آمد. این تحول در انتهای قرن هجدهم و اوایل قرن نوزدهم آغاز شد و بزرگ‌ترین تغییرات در صنایع در قالب مکانیزه شدن رخ داد. در این زمان، اختراع بسیار مهم ماشین بخار نقش کلیدی در تحول لجستیک ایفا کرد. این نوآوری، به عنوان منبعی جدید از انرژی، موجب شتاب در ساخت و توسعه حمل و نقل ریلی گردید و به رشد سریع اقتصادی در این دوره کمک کرد (جیکو و^۴ ۲۰۲۵؛ لئونگ و گناسان^۵ ۲۰۲۴).

با گذشت یک قرن از این تحولات، جهان وارد انقلاب صنعتی دوم شد. پیشرفت‌های گسترده در زمینه الکترونیک، گاز و نفت موجب دسترسی بشر به منابع جدید انرژی گردید. نتیجه این پیشرفت‌ها، اختراع موتور احتراق داخلی بود که تحولات عظیمی در صنعت و حمل و نقل ایجاد کرد. همچنین رشد تقاضا برای فولاد، سنتز شیمیایی و ظهور فناوری‌های ارتباطی نظیر تلگراف و تلفن از دستاوردهای کلیدی این دوره محسوب می‌شوند. سرانجام، اختراع اتومبیل و هواپیما در اوایل قرن بیستم

^۱ RFID

^۲ Blockchain

^۳ Industry 4.0

^۴ Jivkov

^۵ Leong & Genasan

سبب شد انقلاب دوم به عنوان یکی از مهم ترین تحولات صنعتی در حوزه لجستیک شناخته شود (سموئل و رپل،^۱ ۲۰۲۴؛ لئوما و کانگسوجا،^۲ ۲۰۲۵).

یک قرن دیگر می گذرد و ما شاهد انقلاب صنعتی سوم هستیم. در نیمه دوم قرن بیستم شاهد ظهور یک منبع انرژی جدید تحت عنوان انرژی هسته ای^۳ هستیم. انقلاب صنعتی سوم با پیدایش الکترونیک، ارتباطات از راه دور و رایانه ها معنا پیدا کرد. با بهره گیری از فناوری های نو، انقلاب صنعتی سوم درهای رو به اکتشافات فضایی و بیوفناوری را گشود. در حوزه لجستیک دو اختراع بزرگ یعنی کنترل کننده های منطقی برنامه پذیر^۴ و ربات ها، تحول شگرفی ایجاد نمود.

انقلاب صنعتی چهارم که آن را به اختصار صنعت ۴.۰ می نامند، در طالع هزاره سوم با چیزی که انسان ها امروزه در هر زمانی از آن استفاده می کنند شروع شد؛ اینترنت! (عیسایی و همکاران، ۱۴۰۱)

صنعت ۴.۰ برای اولین بار در نمایشگاه هانوفر آلمان، در آوریل ۲۰۱۱، با اشاره به ادغام اشیاء فیزیکی، بازیگران انسانی، ماشین های هوشمند، خطوط تولید و فرایندهای درون مرزهای سازمانی، به معنای ایجاد سیستمی که در آن تمامی فرآیندها یکپارچه شده و اطلاعات را در زمان واقعی به اشتراک می گذارد، معرفی شد (تسای^۵ و همکاران، ۲۰۱۹).

مفهوم صنعت نسل چهارم، ایجاد یک سیستم کاملاً یکپارچه از تأمین کنندگان، تولید کنندگان و مشتریان را در نظر می گیرد. در پی این مفهوم، راهکارهای فناوری اطلاعات با همه زیرسیستم ها، فرآیندها، منابع سیستم و شبکه های تأمین کنندگان و مشتریان ادغام خواهد شد؛ بنابراین طراحی سیستم فناوری های جدید، تمام زنجیره های تأمین را با ایجاد سیستم های سایبری-فیزیکی یکپارچه خواهد کرد و قادر به اجرای مجموعه ای از توابع و اقدامات جدید اعمال شده از سوی تولید، تدارکات و یا مدیریت خواهد شد (سباستین سانوک و آنا سانوک^۶، ۲۰۱۸). از نظر ویژگی، صنعت ۴.۰ می تواند انعطاف پذیری بیشتری ارائه دهد، زمان سفارش تدارکات را کاهش دهد، در دسته های کوچک سفارشی سازی کرده و هزینه ها را کاهش دهد (لو^۷، ۲۰۱۷). انقلاب صنعتی چهارم توسعه و ادغام فناوری اطلاعات و ارتباطات در فرایندهای تجاری را فرامی گیرد (وگیر^۸ و همکاران، ۲۰۲۰). اینترنت اشیاء^۹، سیستم های فیزیکی-سایبری^{۱۰}، چاپگر سه بعدی^{۱۱}، بلاکچین، کلان داده ها^{۱۲}، واقعیت افزوده^{۱۳}، سنسورهای دیجیتال^{۱۴}، محاسبات ابری^{۱۵} و هوش مصنوعی^{۱۶} از جمله مهم ترین فناوری های صنعت ۴.۰ به حساب می آیند (پاتل^{۱۷}، ۲۰۲۵).

¹ Samuel & Rippel

² Luoma & Kangasojä

³ Nuclear Energy

⁴ Programmable Logic Controller

⁵ Tsai

⁶ Saniuk, S & Saniuk, A

⁷ Lu

⁸ Wagire

⁹ Internet of Things (IoT)

¹⁰ Cyber-physical systems

¹¹ 3D Printer

¹² Big Data

¹³ Augmented Reality

¹⁴ Digital sensors

¹⁵ Cloud computing

¹⁶ Artificial intelligence

¹⁷ Patel

همانطور که در بخش قبل بحث شد، صنعت ۴.۰ از چندین ابزار و فناوری پیشرفته استفاده می‌کند، بنابراین به تعریف مجدد فرایندهای صنعتی معمولی کمک می‌کند. زنجیره‌های تأمین گام بزرگی در جهت دیجیتالی‌شدن، خودکار شدن و چابک شدن در عملیات خود برداشته‌اند. شبکه‌های زنجیره تأمین دیجیتال امروزی از فناوری‌های مختلف زیادی برای توسعه سیستم‌های کارآمد، شفاف، سازگار و انعطاف‌پذیر در مراحل مختلف زنجیره‌های تأمین از جمله توسعه محصول جدید، ساخت، تدارکات، برنامه‌ریزی، تدارکات و بازاریابی استفاده می‌کنند. تأثیرات صنعت ۴.۰ را می‌توان در مراحل مختلف زنجیره تأمین و همچنین در استراتژی‌های مدیریت زنجیره تأمین احساس کرد. به‌عنوان مثال می‌توان به پیش‌بینی و برنامه‌ریزی دقیق‌تر از طریق جریان یکپارچه و افزایش قابلیت ردیابی مواد و محصولات، بهبود عملکرد تأمین‌کننده به دلیل اشتراک‌گذاری و همگام‌سازی بی‌درنگ اطلاعات با تأمین‌کنندگان، انبارداری هوشمند و سیستم‌های مسیریابی خودرو اشاره نمود (بریکل و مولر^۱، ۲۰۲۱).

۲.۲. زنجیره تأمین

زنجیره تأمین به‌عنوان مجموعه‌ای از چند نهاد (سازمان یا افراد) تعریف می‌شود که مستقیماً در جریان بالادستی و پایین‌دستی محصولات، خدمات، امور مالی و یا اطلاعات از یک منبع به مشتری درگیر هستند (بهنکه^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). در سطح مفهومی، مدیریت زنجیره تأمین چیزی جز مدیریت این جریان‌ها برای ایجاد ارزش برای شرکت‌های شریک و مشتری نهایی نیست. مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان به‌عنوان هماهنگی سیستمی و استراتژیک عملکردهای تجاری سنتی و تاکتیک‌ها در سراسر این عملکردهای تجاری در یک شرکت خاص و در بین مشاغل در زنجیره تأمین، به‌منظور بهبود طولانی‌مدت تعریف نمود (پوترو^۳ و همکاران، ۲۰۲۱).

مدیریت زنجیره تأمین یکی از اصلی‌ترین فعالیت‌های ارزش افزای کسب‌وکار است که توجه دست‌اندرکاران و محققین صنعت را به خود جلب کرده است. ادبیات مدیریت زنجیره تأمین با موضوعات تحقیقاتی مانند یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین، زنجیره تأمین چابک هماهنگی زنجیره تأمین، عملکرد زنجیره تأمین، طراحی زنجیره تأمین و غیره غنی شده است (سیمسک^۴ و همکاران، ۲۰۲۱).

۳.۲. زنجیره تأمین صنعت نفت

عملیات زنجیره تأمین نفت به سه بخش عملکردی، یعنی بالادست، میان دست و پایین دست طبقه‌بندی می‌شود. بخش بالادستی زنجیره تأمین نفت بر اساس فعالیت‌های اکتشاف و تولید مربوط به یافتن ذخایر نفت خام است. زنجیره تأمین نفت میانی شامل پردازش، ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل نفت خام به پالایشگاه‌ها می‌شود و در آنجا به محصولات قابل فروش تبدیل می‌شود. در نهایت، بخش پایین‌دستی یک کسب‌وکار حاشیه است، زیرا فعالیت‌های پایین‌دستی ارزش افزوده را از طریق فرایند پالایشگاه فراهم می‌کند و محصولات متعددی را برای مصرف‌کنندگان خود فراهم می‌کند. همه این بخش‌های زنجیره تأمین نفت به طور هم‌زمان با جریان محصولات، سرمایه و اطلاعات سروکار دارند. این فرایند نیازمند یک رویکرد

¹ Birkel & Müller

² Behnke

³ Putro

⁴ Simsek

زنجیره تأمین یکپارچه برای حل مشکلات در کل زنجیره و بهبود کارایی شبکه‌های زنجیره تأمین پیچیده است (آسلام^۱ و همکاران، ۲۰۲۱).

باتوجه به پیچیدگی و چندلایه بودن این ساختار، مدیریت کارای زنجیره تأمین نفت مستلزم بهره‌گیری از فناوری‌های نوین دیجیتال است تا هماهنگی میان بخش‌های بالادست، میاندست و پایین‌دست بهینه شود. در این راستا، انقلاب صنعتی چهارم با معرفی فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیاء، سیستم‌های فیزیکی-سایبری و بلاک‌چین، فرصت‌های جدیدی را برای افزایش شفافیت، قابلیت ردیابی و تصمیم‌گیری هوشمند در زنجیره تأمین نفت فراهم کرده است. بر اساس یک بررسی جامع از ادبیات مربوط به اجرای صنعت ۴.۰ در دو سطح شرکت و زنجیره تأمین، و بحث با متخصصان با تجربه، موانع اصلی و محرک‌های پذیرش صنعت ۴.۰ در زنجیره‌های تأمین در جدول ۱ ارائه شده است (گاج^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول ۱- محرک‌ها و موانع پذیرش صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین (گاج و همکاران، ۲۰۲۰)

ابعاد	محرک‌ها	موانع
سازمانی	افزایش کارایی کاهش هزینه کیفیت بالاتر چابکی تعادل بار و کاهش موجودی	محدودیت‌های مالی عدم حمایت مدیریت مقاومت در برابر تغییر فقدان چشم‌انداز و استراتژی دیجیتال عدم تخصص سیستم‌های شبکه پیچیده
قانونی و اخلاقی	کاهش کار یکنواخت کاهش اثرات زیست محیطی	مسائل حقوقی مشکلات مربوط به هماهنگی و همکاری مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌ها
راهبردی	مدل‌های کسب‌وکار جدید پیشنهادات ارزش جدید برای افزایش رقابت	مشخصات و مسائل پیچیدگی فقدان سیاست‌ها و حمایت‌های دولت عدم تحقیق و توسعه مزایای اقتصادی نامشخص فقدان فرهنگ دیجیتال
فناورانه	شفافیت و پاسخگویی	نبود زیرساخت دیجیتال کیفیت و مدیریت داده ضعیف

۳. روش

این پژوهش از یک طرح دومرحله‌ای ترکیبی بهره می‌برد. در فاز نخست، یک مرور نظام‌مند ادبیات با هدف شناسایی محرک‌ها و موانع پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین صنعت نفت انجام شد. برای این منظور، جست‌وجوی

¹ Aslam

² Ghadge

ساختارمند در پایگاه‌های علمی معتبر نظیر ScienceDirect، Scopus و Google Scholar با استفاده از کلیدواژه‌هایی مانند “implementation”، “Industry 4.0”، “supply chain”، “oil and gas industry”، “drivers”، “barriers” در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ صورت گرفت.

در مرحله‌ی غربال‌گری، مقالات تکراری، غیرمرتبط یا فاقد تحلیل کاربردی حذف شدند و در نهایت، ۶۴ منبع شامل مقالات علمی، گزارش‌های صنعتی، مطالعات موردی، و مستندات فنی مورد تحلیل مضمون (thematic analysis) قرار گرفتند. یافته‌های مرور نظام‌مند نشان دادند که محرک‌ها و موانع اصلی پذیرش صنعت ۴.۰ در زنجیره‌های تأمین را می‌توان در چهار بعد کلیدی سازمانی، فناورانه، استراتژیک، و قانونی - اخلاقی طبقه‌بندی کرد. این چارچوب مفهومی، مبنای طراحی مدل پویایی سیستم در فاز دوم پژوهش قرار گرفت.

در فاز دوم، از رویکرد پویایی سیستم^۱ برای مدل‌سازی رفتار زنجیره تأمین ادغام‌شده با صنعت ۴.۰ استفاده شد. این روش به دلیل توانایی آن در شبیه‌سازی روابط علی و غیرخطی بین متغیرها، ابزاری مناسب برای تحلیل اثرات متقابل محرک‌ها و موانع دیجیتالی‌سازی در صنایع پیچیده‌ای همچون نفت به شمار می‌رود.

رویکرد پویاشناسی سیستم مبتنی بر تفکر سیستمی است و از توسعه مدل‌های شبیه‌سازی برای ارزیابی جامع سیستم‌های پیچیده پشتیبانی می‌کند (ربز^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). توسعه یک مدل پویا شناسی سیستم یک فرایند مرحله‌ای برای تبدیل یک مسئله به نمایش کمی و به دنبال آن شبیه‌سازی است (گلرودباری و زهرایی^۳، ۲۰۱۵). در رویکرد پویاشناسی سیستم ابتدا مشکل تعریف شده و محدوده سیستم بر اساس اطلاعات موجود شناسایی می‌شود. سپس، سیستم با توسعه یک نمودار حلقه‌های علی^۴ که شامل متغیرهای کلیدی سیستم، روابط متقابل بین متغیرها و ساختار حلقه‌های بازخوردی است، مفهوم‌سازی می‌شود (بیل^۵ و همکاران، ۲۰۱۷). نمودارهای حلقه علی ساختار سیستم مورد بررسی را با انعکاس پیوند بین متغیرهای تأثیرگذار مختلف نشان می‌دهند. سپس نمودار حلقه علی برای شبیه‌سازی مبتنی بر رایانه به نمودار جریان و انباشت تبدیل می‌شود. نمودارهای جریان و انباشت، نمایش ریاضی سیستم‌ها با استفاده از متغیرهای انباشت، جریان و کمکی هستند. چندین نرم‌افزار مانند Vensim، Anylogic، DYNAMO، iThink و Powersim برای توسعه مدل‌های پویاشناسی سیستم و انجام مطالعات شبیه‌سازی وجود دارد. در این تحقیق از نرم‌افزار Vensim برای توسعه نمودارهای حلقه علی و نمودارهای جریان و انباشت و انجام تحلیل‌های شبیه‌سازی استفاده شده است.

در این تحقیق، ابتدا یک نمودار حلقه علی برای مفهوم‌سازی تأثیر موانع و محرک‌های شناسایی شده بر پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین صنعت نفت، با گنجانیدن رابطه متقابل بین متغیرهای تأثیرگذار مختلف، ایجاد شد. این متغیرها در چهار حلقه مختلف (استراتژیک، قانونی و اخلاقی، فناوری و سازمانی) به موازات جدول ۱ نشان داده شدند. سپس یک نمودار حلقه علی جامع با ادغام این عوامل در یک سیستم پویای گسترده تر ایجاد شد. از این نمودار گسترده تر برای توسعه دو نمودار انباشت جریان سنتی و مورد پذیرش صنعت ۴.۰ استفاده شد.

¹ System Dynamics

² Rebs

³ Golroudbary, & Zahraee

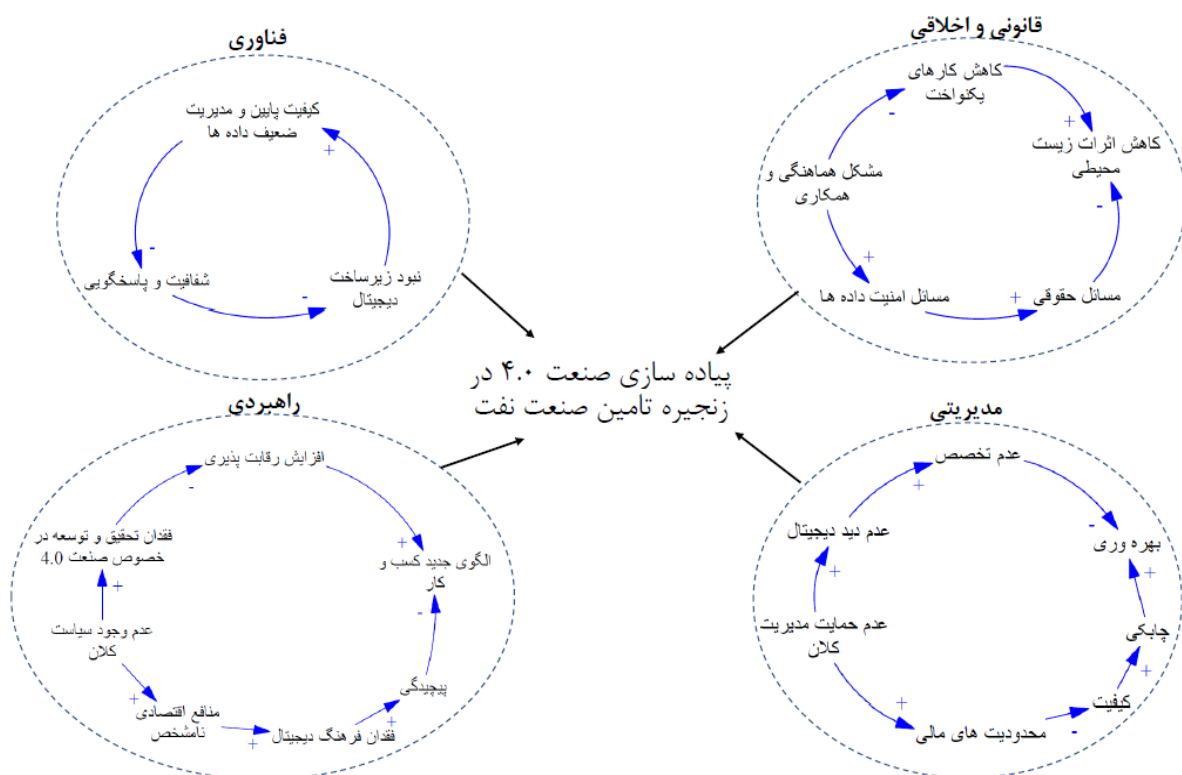
⁴ CLD

⁵ Bala

۴. یافته‌ها

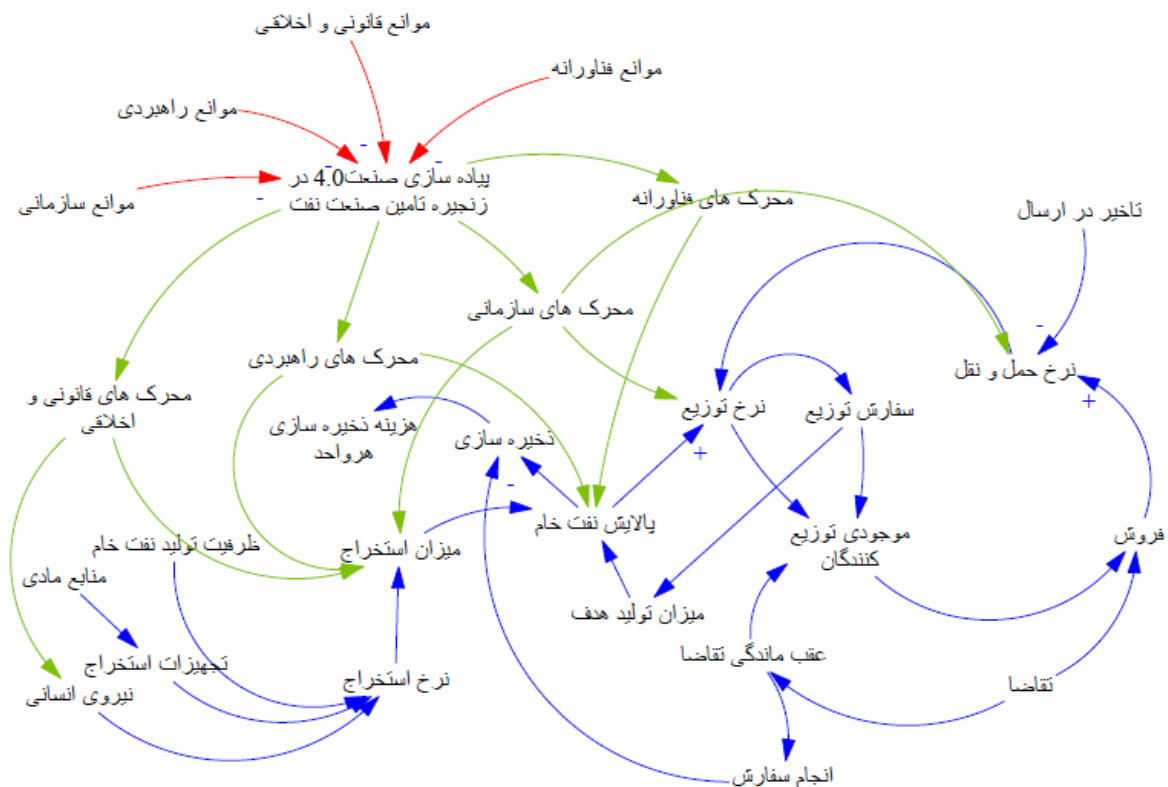
در این بخش، یک مدل پویا برای بررسی رفتار دینامیک زنجیره تأمین صنعت نفت در حین اجرای صنعت ۴۰ توسعه داده شد. قبل از ارائه مدل زنجیره تأمین، درک تاثیرات محرک ها و موانع مختلف صنعت ۴۰ ضروری است. بنابراین، یک نمودار حلقه علی اولیه برای نشان دادن روابط متقابل بین عوامل شناسایی شده در تحقیق ایجاد شد. در شکل ۱، محرک ها و موانع پیاده سازی صنعت ۴۰ در زنجیره تأمین صنعت نفت تحت چهار حلقه علی نشان داده شده است. استراتژیک، قانونی و اخلاقی، فناوری و سازمانی. روابط مثبت و منفی بین متغیرهای مختلف به ترتیب با علائم «+» و «-» نشان داده می شوند. هر چهار بعد بر اجرای شیوه های صنعت ۴۰ در زنجیره تأمین تاثیر می گذارد.

برای بعد استراتژیک کسب و کار، افزایش رقابت باعث ظهور مدل های کسب و کار جدید می شود که یکی دیگر از محرک های صنعت ۴۰ است. فقدان سیاست ها منجر به کمبود مطالعات تحقیق و توسعه، مشکلات در محاسبه منافع اقتصادی و در نتیجه عدم وجود فرهنگ دیجیتال می شود که پیچیدگی پیاده سازی صنعت ۴۰ را افزایش می دهد. برای بعد حقوقی و اخلاقی، افزایش مشکلات هماهنگی و همکاری منجر به بروز مشکلات امنیتی داده ها و در نتیجه مسائل حقوقی می شود. از منظر فناوری، کمبود زیرساخت دیجیتال منجر به مشکل در دسترسی به داده های با کیفیت می شود. از دیدگاه سازمانی، عدم پشتیبانی مدیریت و فقدان دید دیجیتال به طور مستقیم یا غیرمستقیم باعث کاهش کارایی پذیرش صنعت ۴۰ می شود. محدودیت مالی یکی دیگر از عواملی است که از توسعه کاربردهای با کیفیت بالا و موفقیت آمیز فناوری های صنعت ۴۰ جلوگیری می کند.



شکل ۱- نمودار حلقه علی اولیه

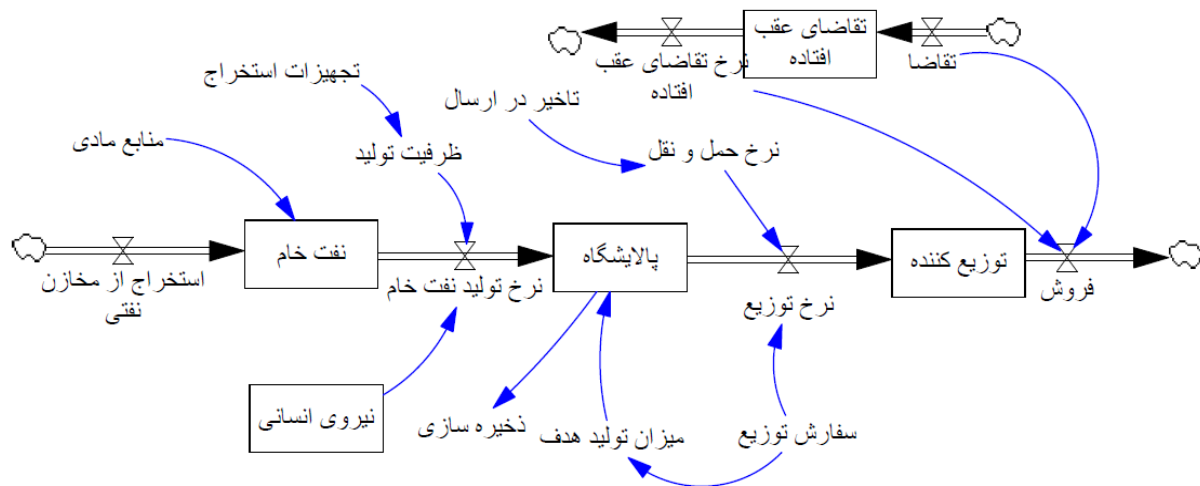
این نمودار حلقه علی اولیه برای ترسیم رابطه بین متغیرهای زنجیره تأمین صنعت نفت (به عنوان مثال نرخ استخراج نفت خام، سطح ظرفیت پالایشگاه‌ها، نرخ حمل و نقل) و پیوند آنها با محرک‌ها و موانع حیاتی برای اجرای صنعت ۴.۰ همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، استفاده شد.



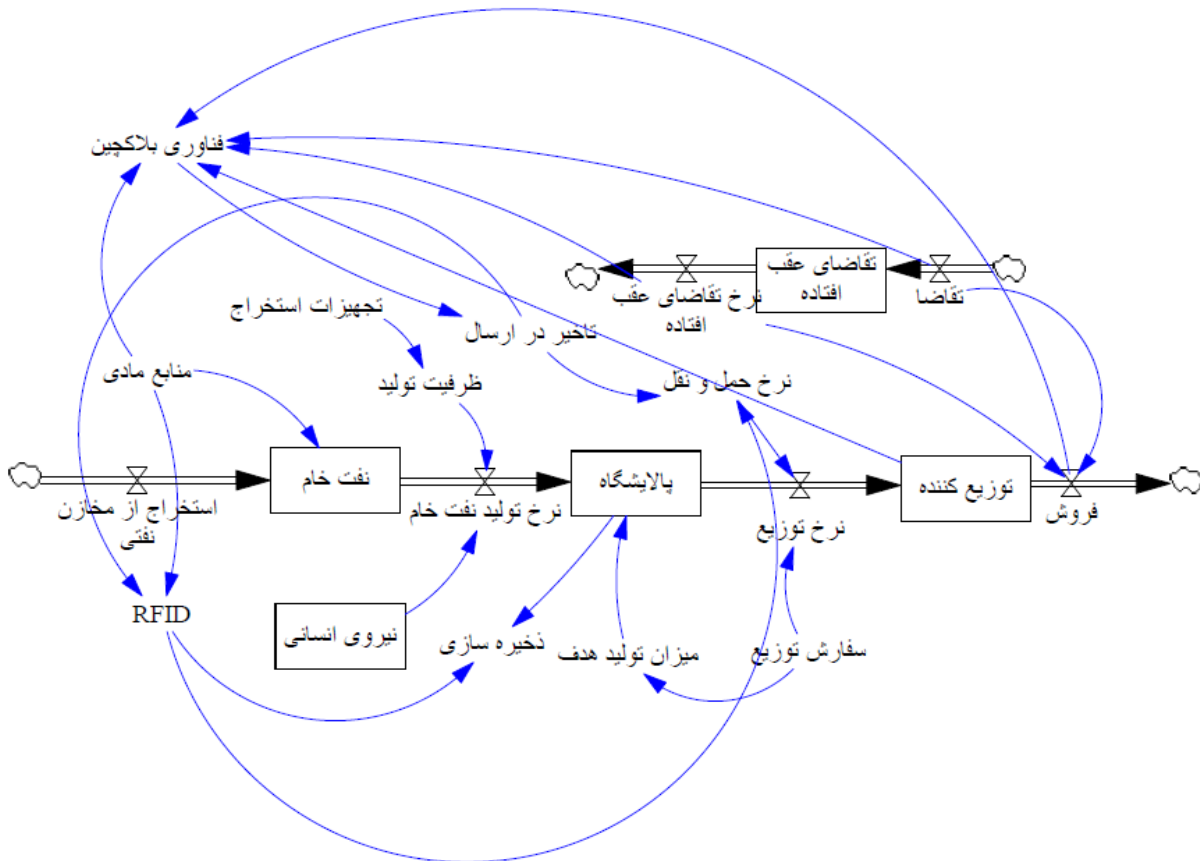
شکل ۲- نمودار حلقه علی

سپس، این نمودار به دو نمودار سهام و جریان مختلف تبدیل شد تا مقایسه ای بین زنجیره تأمین سنتی و صنعت ۴.۰ اتخاذ شود. شکل ۳ نمودار موجودی و جریان یک زنجیره تأمین سنتی را نشان می دهد و شکل ۴ همان زنجیره تأمین را پس از ترکیب دو فناوری مهم صنعت ۴.۰ یعنی بلاکچین و سامانه بازشناسی با امواج رادیویی را نشان می دهد. در زنجیره تأمین های دارای صنعت ۴.۰، پویایی زنجیره تأمین با ارزیابی بهبود عملیات زنجیره تأمین بر اساس قابلیت های پذیرفته شده در بلاکچین ثبت می شود. قابلیت های شبیه سازی شده شامل استفاده از داده ها در مدیریت موجودی، قراردادهای هوشمند و استفاده از ارزشهای دیجیتال از طریق استفاده از بلاکچین و قابلیت مشاهده و ردیابی موجودی و محصولات ارائه شده توسط فناوری سامانه بازشناسی با امواج رادیویی ارائه می شود.

از آنجایی که این مطالعه بر تأثیر پذیرش صنعت ۴.۰ بر زنجیره تأمین صنعت نفت متمرکز است، این مدل به پنج طبقه مختلف برای ردیابی تغییرات در معیارهای عملکرد حیاتی تقسیم می شود. موجودی نفت خام، موجودی پالایشگاه، اپراتور، موجودی توزیع کننده فرآورده های نفتی و تقاضای عقب افتاده.



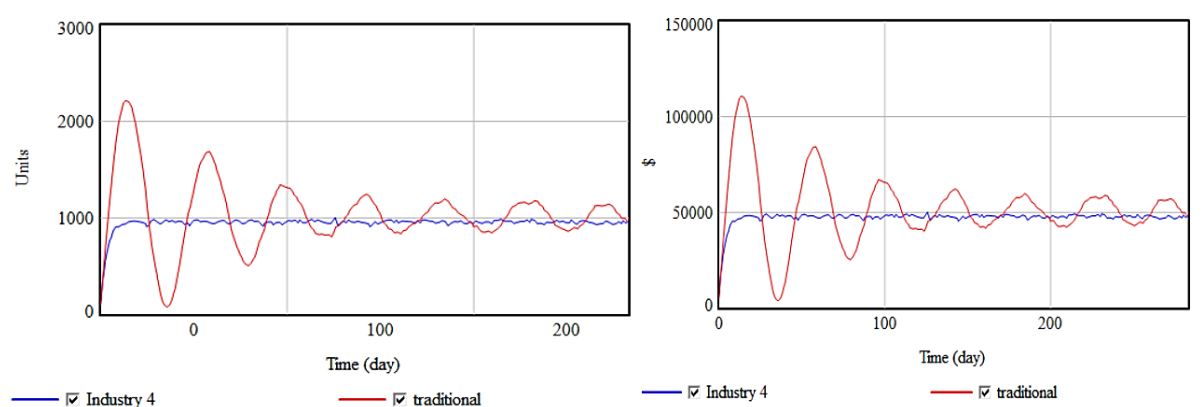
شکل ۳- نمودار موجودی و جریان برای زنجیره تأمین معمولی



شکل ۴- نمودار موجودی و جریان برای زنجیره تأمین ادغام شده در صنعت ۴.۰

در این پژوهش از برنامه ونسیم برای شبیه سازی مدل های سنتی و صنعت ۴.۰ زنجیره تأمین نفت استفاده گردید. سطح موجودی توزیع کننده و میزان فروش معیارهای بسیار مهم عملکرد زنجیره تأمین نفت هستند. بنابراین، این دو مدل با سطوح تکنولوژی متفاوت اساساً بر اساس این ابعاد مقایسه می شوند. نتایج شبیه سازی در شکل ۵ ارائه شده است. همانطور که از

شکل ۵ مشاهده می‌شود، نتایج نشان دهنده بهبود سطوح موجودی توزیع کننده و فروش فرآورده های نفتی با شیوه های مدیریت موجودی مبتنی بر بلاکچین و استفاده از فناوری شناسایی با فرکانس رادیویی^۱ در مقایسه با سیستم سنتی است. در مدل زنجیره تأمین سنتی، موجودی توزیع کننده یک منحنی نوسانی را به دلیل بی ثباتی در فرایند ناشی از مدیریت ضعیف موجودی نشان می‌دهد. در حالی که با معرفی شناسایی با فرکانس رادیویی و فناوری بلاکچین در سیستم، موجودی به دلیل اشتراک گذاری مداوم اطلاعات تقاضا، سفارش، ارسال و خروجی تولید در شبکه زنجیره تأمین صنعت نفت تثبیت می‌شود. هر دو فناوری امکان استفاده از داده ها را برای بهینه سازی عملکرد عملیاتی فراهم می‌کنند. افزایش دید و چابکی ارائه شده توسط فناوری های انقلاب صنعتی چهارم نقش قابل توجهی در ارائه زنجیره های تأمین انعطاف پذیر، چابک، قوی و پایدار دارد.



شکل ۵- سطح موجودی توزیع کننده و میزان فروش

۵. بحث و نتیجه گیری

علیرغم ادبیات روبه رشد در زمینه فناوری های نوین و زنجیره تأمین نفت، مشخص شده است که فقدان رویکردها، استراتژی ها و چارچوب های کل نگر برای بکارگیری فناوری های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین صنعت نفت وجود دارد. لذا این تحقیق برای حصول یک رویکرد سیستماتیک، ابتدا محرک ها و موانع کلیدی صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین نفت را بر اساس ادبیات مربوطه شناسایی کرده، سپس، یک مدل سیستم پویا برای ارزیابی اثرات موانع و محرک های صنعت ۴.۰ بر اجرای آن در زنجیره تأمین نفت توسعه داده شد. گفتنی است درک کلی تأثیر و یادگیری های مرتبط منجر به توسعه چارچوب مفهومی برای پذیرش موفقیت آمیز در زنجیره تأمین دیجیتال می‌شود.

نتایج مدل پویاشناسی سیستم چندین بینش مهم را برای مقایسه زنجیره تأمین سنتی صنعت نفت و زنجیره تأمین ادغام شده با صنعت ۴.۰ فراهم می‌کند. پیاده سازی دو فناوری بلاکچین و شناسایی با فرکانس رادیویی با کاهش نوسانات سطوح موجودی توزیع کننده و به طبع کاهش هزینه های موجودی، به علاوه تثبیت میزان فروش عملکرد عملیاتی را به

¹ RFID

طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. دلیل اصلی این بهبود سطح مدیریت موجودی، دید بالاتر به دلیل نظارت بر موجودی در زمان واقعی و به اشتراک گذاری اطلاعات بین اعضای زنجیره تأمین صنعت نفت است. این بهبود همچنین سازگاری، چابکی و انعطاف پذیری سازمان را افزایش می دهد. مشاهده و شفافیت اطلاعات در زمان واقعی ارائه شده توسط فناوری های به کار گرفته شده نیز برآورد، برنامه ریزی تولید و پالایش، انجام سفارش و پاسخگویی به اختلالات را بهبود می بخشد. بررسی پذیرش صنعت ۴۰ در سطح زنجیره تأمین صنعت نفت اثر تجمعی واقعی این تحول تکنولوژیکی را بر عملیات تجاری صنعت نفت نشان می دهد.

یافته های این پژوهش با مطالعات قبلی که به مزایای پارادایم صنعت ۴۰ در زنجیره تأمین می پردازند سازگار است. از جمله تحقیقاتی که نتیجه پژوهش حاضر را تایید می کنند میتوان به (قربانی و همکاران، ۱۴۰۱ و گاج و همکاران، ۲۰۲۰ و قوباخلو و فتحی^۱، ۲۰۱۹) اشاره نمود. با این وجود، نتایج به دست آمده از طریق مدل سازی پویایی سیستم برای تعیین کمیت تأثیر تجمعی کلی پذیرش صنعت ۴۰ در زنجیره تأمین صنعت نفت مهم هستند.

نتایج مدل شبیه سازی برای ایجاد یک چارچوب کلی برای پیاده سازی فناوری های صنعت ۴۰ در زنجیره تأمین صنعت نفت استفاده می شود. این یک مطالعه منحصر به فرد است که پویایی فناوری های صنعت ۴۰ در سیستم زنجیره تأمین صنعت نفت را با رویکرد پویاشناسی سیستم بررسی کرده است. مطالعات قبلی عموماً مبتنی بر بحث در مورد فناوری های صنعت ۴۰ و توسعه اصول طراحی برای این فناوری ها است. روش شناسی مبتنی بر پویاشناسی سیستم پیشنهادی را برای تعیین کمیت رابطه بین فناوری های صنعت ۴۰ و پویایی زنجیره تأمین صنعت نفت تحت تأثیر موانع و محرک های مختلف فراهم می کند.

چارچوب پیشنهادی کمک ارزشمندی برای پذیرش و تسریع صنعت ۴۰ در مدیریت لجستیک و زنجیره تأمین صنعت نفت تلقی می شود. یافته های مدل پویاشناسی سیستم و چارچوب پیاده سازی صنعت ۴۰، بینش هایی را برای شرکت های نفتی در مورد مزایای سازگاری صنعت ۴۰ و راه های اجرای موفقیت آمیز آن ها در زنجیره های تأمین صنعت نفت ارائه می کند. این مقاله چارچوبی برای پیاده سازی ارائه می دهد که می تواند توسط محققان در آینده آزمایش و تأیید شود. مدل پویاشناسی سیستم توسعه یافته در این تحقیق می تواند به عنوان مبنایی برای توسعه و تحلیل آینده زنجیره تأمین صنعت نفت و تعامل آن با ابزارها و تکنیک های صنعت ۴۰ استفاده شود. مدل توسعه یافته همچنین می تواند به عنوان یک مدل پایه برای شرکت های نفتی برای درک تأثیر کاربرد صنعت ۴۰ در زنجیره های تأمین شان استفاده شوند.

گرچه ویژگی های قابل توجه فناوری های صنعت ۴۰، زنجیره تأمین هر صنعتی به ویژه صنایع نفتی را به دلیل نقش پررنگ آن در شاخص های اقتصادی کشور، به شناسایی و به کارگیری آن ترغیب می کند، اما تعجیل در به کارگیری این فناوری در زنجیره تأمین صنعت نفت نیز، بدون توجه به موانع و چالش های پیش رو و شناخت دقیق آن ها و تلاش نکردن برای رفع این موانع باعث هدر رفت هزینه های سنگین بدون دستیابی به نتایج قابل قبول می شود. به عبارتی دیگر نخستین

¹ Ghobakhloo & Fathi

گام برای به کارگیری فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین صنعت نفت را می‌توان شناسایی موانع و تلاش برای رفع آن‌ها دانست. لذا پیشنهاد می‌شود بر اساس مدل توسعه یافته در این پژوهش، با توجه به مزیت‌های غیر قابل انکار فناوری‌های صنعت ۴.۰ برای زنجیره تأمین صنعت نفت، به چالش‌ها و محرک‌های احصا شده در این مدل توجه عمیق شده و برنامه ریزی‌های اجرایی جهت به کارگیری فناوری‌های نوین در زنجیره تأمین صنعت نفت با توجه به ابعاد چهارگانه این تحقیق تدوین گردد.

تعارض منافع

تعارض منافع نداریم.

ORCID

Sepehr Ghorbani  <https://orcid.org/0009-0004-4067-3506>

Hossein Bazargani  <https://orcid.org/0000-0002-2394-2311>

منابع

- حسینی، سیده خدیجه، مومنی، منصور و حاجی غلام سریزدی، علی. (۱۴۰۳). شناسایی و رتبه‌بندی موانع پیاده‌سازی صنعت نسل ۴ بر مبنای پایداری زنجیره تأمین و اقتصاد دایره‌ای. *مدیریت توسعه فناوری، ۱۲* (۴)، -.
- doi: ۱۰.۲۲۱۰۴/jtdm.۲۰۲۵.۷۲۹۸.۳۳۸۰
- رکن الدینی، سید علیرضا، عندلیب اردکانی، داود، زارع احمدآبادی، حبیب و حسینی بامکان، سید مجتبی. (۱۴۰۲). مدلسازی توانمندسازهای صنعت ۰.۴ در پیاده‌سازی زنجیره تأمین پایدار با رویکرد دیمتل-فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۳* (۱)، ۱۴۱-۱۷۲. [doi: ۱۳.۱.۱۴۱/jimp.۱۰.۴۸۳۰۸.۱۷۲-۱۴۱](https://doi.org/10.48308/172-141/jimp)
- عیسائی، حسین و بیطرف، احمد و قربانی، سپهر، (۱۴۰۱)، روش‌ها و راهکارهای مدیریت اقتصادی در لجستیک نظامی با نگاهی به سبک مدیریت شهید سلیمانی، *اولین همایش سراسری آماد و پشتیبانی دفاعی در گام دوم انقلاب اسلامی، تهران*.
- <https://civilica.com/doc/1765378>
- قربانی، سپهر، قاسمی نژاد، یاسر و مهتدی، محمد مهدی. (۱۴۰۴). شناسایی و اولویت‌بندی ویژگی‌های فناوری بلاک چین در بهبود مدیریت زنجیره تأمین نفت. *علمی اندیشه آماد ۲۴* (۹۲) ۱۴۳-۱۲۱.
- doi: 10.22034/lot.2023.1270782.1244

- Aslam, J., Saleem, A., Khan, N. T., & Kim, Y. B. (2021). Factors influencing blockchain adoption in supply chain management practices: A study based on the oil industry. *Journal of Innovation & Knowledge, 6*(2), 124-134.
- Avan, A., et al. (2022). *Impact of Industry 4.0 on Supply Chain Performance: A Review. Computers & Industrial Engineering, 167*, 107992.
- Awan, U., Gölgeci, I., Makhmadshoev, D., & Mishra, N. (2022). Industry 4.0 and circular economy in an era of global value chains: What have we learned and what is still to be explored?. *Journal of Cleaner Production, 133621*.
- Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2017). System dynamics. *Modelling and Simulation, 274*.

- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia manufacturing*, 13, 1245-1252.
- Barto, L., et al. (2017). *Industrial Ecosystems and Digital Transformation*. *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 45-57.
- Behnke, K., & Janssen, M. F. W. H. A. (2020). Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. *International Journal of Information Management*, 52, 101969.
- Birkel, H., & Müller, J. M. (2021). Potentials of industry 4.0 for supply chain management within the triple bottom line of sustainability—A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125612.
- Cereola, S. (2021). Frameworks for Industry 4.0 Transformation: A Systematic Review. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100234. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100234>
- Dalenogare, L. S., Le Dain, M. A., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2022). Multichannel digital service delivery and service ecosystems: The role of data integration within Smart Product-Service Systems. *Technological Forecasting and Social Change*, 183, 121894.
- Delongar, A., et al. (2022). *Digital Integration in Supply Chains: Drivers and Barriers*. *International Journal of Production Research*, 60(15), 4651-4675.
- Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669-686.
- Ghobakhloo, M., & Fathi, M. (2019). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(1), 1-30.
- Ghorbani, Sepehr, Ghasemi Nejad, Yaser, & Mehtadi, Mohammad Mehdi. (1401). Identifying and prioritizing the characteristics of blockchain technology in improving oil supply chain management. *Scientific Thought Amad*, -. doi: 10.22034/lot.2023.1270782.1244 [In Persian]
- Golroudbary, S. R., & Zahraee, S. M. (2015). System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain. *Simulation modelling practice and theory*, 53, 88-102.
- Issaei, Hossein., Bitarf, Ahmad & Ghorbani, Sepehr.(1401). Methods and solutions of economic management in military logistics with a look at the management style of Martyr Soleimani, First National Conference on Defense Readiness and Support in the Second Step of the Islamic Revolution, Tehran, <https://civilica.com/doc/1765378> [In Persian]
- Jivkov, V. (2025). *What is the Flywheel for*. *International Journal of Engineering and Technology Excellence*, 1(3). Retrieved from <https://aplombpublications.net/wp-content/uploads/2025/08/IJETE-01-0003.pdf>
- Leong, W. Y., & Genasan, N. (2024). *Medical equipment engineering in industrial revolution*. *IET Digital Library*. https://doi.org/10.1049/PBHE054E_ch8
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1-10.
- Luoma, E., & Kangasoja, J. (2025). *Designing Renewable Energy Systems in Industrial Revolutions*. In *Renewable Energy Systems*. Springer. Retrieved from Google Books
- Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating Challenges to Industry 4.0 Initiatives for Supply Chain Sustainability in Emerging Economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>
- Patel, A. B. (2025). *Industrial Revolution 4.0: The Future of Manufacturing*. London: Routledge.
- Pereira, A., & Romero, F. (2017). A Review of the Meaning and Implications of the Industry 4.0 Concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.
- Putro, P. A. W., Purwaningsih, E. K., Sensuse, D. I., & Suryono, R. R. (2022). Model and implementation of rice supply chain management: A literature review. *Procedia Computer Science*, 197, 453-460.
- Rachinger, M., Rauter, R., Müller, C., Vorraber, W., & Schirgi, E. (2018). Digitalization and its influence on business model innovation. *Journal of manufacturing technology management*, 30(8), 1143-1160.

- Rebs, T., Brandenburg, M., & Seuring, S. (2019). System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal of cleaner production*, 208, 1265-1280.
- Samuel, J., & Rippel, W. (2024). *Early all-electric and hybrid vehicles*. *The Institution of Engineering and Technology (IET)*. Retrieved from https://digital-library.theiet.org/doi/abs/10.1049/PBTR044E_ch2
- Saniuk, S., & Saniuk, A. (2018). Challenges of industry 4.0 for production enterprises functioning within cyber industry networks. *Management systems in production engineering*, (4 (26), 212-216.
- Serbulova, N. (2021). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of digital twin technologies. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 273, p. 08098). EDP Sciences.
- Simsek, M., Kantarci, B., Boukerche, A., & Khan, S. (2021). Machine Learning-Backed Planning of Rapid COVID-19 Tests With Autonomous Vehicles With Zero-Day Considerations. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 6(1), 41-52.
- Tsai, W. H., Chu, P. Y., & Lee, H. L. (2019). Green Activity-Based Costing Production Planning and Scenario Analysis for the Aluminum-Alloy Wheel Industry under Industry 4.0. *Sustainability*, 11(3), 756.
- Wagire, A. A., Rathore, A. P. S., & Jain, R. (2020). Analysis and synthesis of Industry 4.0 research landscape: Using latent semantic analysis approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(1), 31-51.
- Woo, J., et al. (2016). *Digital Supply Chain Management in the Fourth Industrial Revolution*. *International Journal of Production Economics*, 181, 354–366.
- Wu, L., Yue, X., Jin, A., & Yen, D. C. (2016). Smart supply chain management: a review and implications for future research. *The international journal of logistics management*, 27(2), 395-417.