



Sustainability Analysis of Foolad Kaveh Kish Supply Chain Using the System Dynamics Approach

Mohammad Ghafournia* 

Assistant professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting,
Hormozgan University, bandarabbas, Iran.

m.ghafournia@hormozgan.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-07-19

Revised: 2025-07-26

Accepted: 2025-08-07

Keywords:

Sustainability Assessment;
Sustainable Supply Chain;
System Dynamics;
Kaveh Jonoub Kish Steel
Company.

Background and Objectives: Sustainability has increasingly become a central theme in the field of supply chain management, particularly as organizations face mounting pressures from environmental regulations, stakeholder expectations, and global competition. Over the past decade, the integration of sustainability into supply chain operations has shifted from a peripheral concern to a strategic necessity. Sustainable supply chain management (SSCM) encompasses economic efficiency, social responsibility, and environmental protection — often referred to as the “triple bottom line.” In this context, the ability of companies to understand, evaluate, and improve sustainability performance within their supply chains plays a crucial role in achieving long-term competitive advantage. The present study addresses this need by developing a system dynamics model to assess and analyze the sustainability of the supply chain in Foolad Kaveh Jonoub Kish, a major steel manufacturing company operating in southern Iran.

Materials and Methods: This study employs a system dynamics approach to develop a comprehensive supply chain sustainability model. This approach analyzes the interdependencies, interactions, and feedback loops among economic, social, and environmental variables, enabling the identification of delays and long-term effects of managerial decisions. Using system dynamics, the conceptual model is then transformed into a quantitative simulation model to examine long-term trends and evaluate various strategic scenarios. The conceptual model was then translated into a quantitative simulation model using Vensim software, which is particularly suited for system dynamics modelling due to its ability to capture non-linear behaviours, delays, and policy impacts over time. The simulation was carried out over a 10-year horizon to explore long-term trends and evaluate various strategic scenarios.

Results: The simulation results provided several important insights. First, environmental improvements—such as reducing carbon emissions and

* Corresponding author.

E-mail: m.ghafournia@hormozgan.ac.ir
<https://orcid.org/0009-0002-4996-9819>

managing industrial waste—had a positive impact not only on ecological outcomes but also on the social and economic dimensions by improving the company's reputation and lowering compliance costs. Second, enhancing information transparency across the supply chain emerged as a critical factor. When suppliers, manufacturers, and distributors shared accurate and timely information, it led to more synchronized decision-making and reduced inefficiencies. Another major finding was the role of collaboration. Higher levels of trust and cooperation between stakeholders improved the adaptive capacity of the supply chain in response to disruptions. In particular, joint investments in cleaner production technologies and collaborative training programs for employees led to synergistic improvements across all sustainability dimensions. The model also allowed for sensitivity analysis and the testing of several policy scenarios, such as government regulations, subsidies for green technologies, and shifts in consumer behavior. Scenarios that combined investment in green technology with community engagement and employee education consistently outperformed those based on isolated interventions. Moreover, it was observed that without coordinated efforts, some well-intentioned policies led to unintended consequences, such as increased short-term costs or trade-offs between environmental and economic performance. These findings underscore the importance of systems thinking in sustainability planning.

Conclusion: This study demonstrates that system dynamics modeling is a powerful tool for understanding the complexity of sustainable supply chains. By capturing the feedback loops and time-lagged effects inherent in socio-environmental systems, the model developed for Foolad Kaveh Jonoub Kish offers actionable insights into how various strategies influence long-term sustainability outcomes. The results highlight that integrated approaches — particularly those that combine environmental investment, capacity building, and stakeholder collaboration — yield the most sustainable outcomes. For decision-makers at Foolad Kaveh Jonoub Kish and similar industrial organizations, the proposed model serves not only as an evaluation mechanism but also as a strategic decision-support system. It enables proactive policy testing and long-term planning based on data-driven insights rather than intuition alone. Furthermore, this modeling approach can be extended to other sectors and adapted for use in national sustainability planning. Ultimately, by adopting such analytical tools and embracing systems thinking, companies can transition toward more resilient and responsible supply chains, contributing to both their own success and the broader goals of sustainable development.

Cite this article:

Ghafournia, M. (2025). Sustainability Analysis of Foolad Kaveh Kish Supply Chain Using the System Dynamics Approach. *Managerial Modelling in Sustainable Development*, 1(1), 165-190.

DOI: <https://doi.org/10.22075/mmsd.2025.38609.1012>

© 2025 authors retain the copyright and full publishing rights. Journal of Managerial Modelling in Sustainable Development 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 پایداری زنجیره تامین شرکت فولاد کاوه کیش با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم ها

محمد غفournیا* 

استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

m.ghafournia@hormozgan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: پایداری به طور فزاینده ای به موضوعی مرکزی در حوزه مدیریت زنجیره تامین تبدیل شده است، مدیریت زنجیره تامین پایدار شامل بهره وری اقتصادی، مسئولیت اجتماعی و حفاظت محیط زیست است. در این چارچوب، توانایی شرکت ها در درک، ارزیابی و بهبود عملکرد پایداری در زنجیره تامین نقش کلیدی در دستیابی به مزیت رقابتی بلندمدت دارد. مطالعه حاضر با هدف پاسخ به این نیاز، مدلی بر پایه پویایی سیستم برای ارزیابی و تحلیل پایداری زنجیره تامین شرکت فولاد کاوه جنوب کیش، یکی از شرکت های بزرگ فولادسازی در جنوب ایران، توسعه داده است.
واژه های کلیدی: ارزیابی پایداری؛ پایداری زنجیره تامین؛ پویایی شناسی سیستم ها؛ شرکت فولاد کاوه کیش.	روش: این مطالعه از رویکرد پویایی سیستم برای توسعه یک مدل جامع پایداری زنجیره تامین استفاده می کند. این رویکرد به تحلیل وابستگی ها، تعاملات و بازخوردهای متقابل میان متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی می پردازد و امکان شناسایی تأخیرها و اثرات بلندمدت تصمیمات مدیریتی را فراهم می آورد. با استفاده از پویایی سیستم، مدل مفهومی به یک مدل شبیه سازی کمی تبدیل می شود تا روندهای بلندمدت و سناریوهای مختلف بررسی و ارزیابی شوند. در این تحقیق شبیه سازی در بازه زمانی ۱۰ سال انجام شد تا روندهای بلندمدت بررسی و سناریوهای مختلف ارزیابی شوند.
	یافته ها: پس از بررسی نتایج آنالیز متغیرهای مختلف و تحلیل اثرگذاری آنها بر روی همدیگر در بازه های زمانی مورد نظر، شاخصهای تأثیرگذار و تعیین کننده بر عملکرد زنجیره تامین پایدار شناسایی شده و سناریوهای مختلف به منظور دستیابی به استراتژیهای کارآمد ارائه شد. در این تحقیق دو سیاست خوش بینانه و بدبینانه به صورت ترکیبی با استفاده از نظر خبرگان و مدل طراحی شده، در نظر گرفته شده است. سیاست خوشبینانه، بر اساس این ادراک می باشد که اوضاع فعلی بهبود یافته و تقاضا برای محصولات افزایش می یابد و به طبع تولید افزایش یافته و درآمد شرکت

نیز افزایش می‌یابد بر اساس سیاست بدبینانه تقاضا برای محصولات نسبت به روند فعلی با شیب کمتری افزایش خواهد یافت و بر اساس روابط علی باعث افزایش کمتر درآمد شرکت خواهد شد. **نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد که رویکردهای یکپارچه، به‌ویژه آن‌هایی که سرمایه‌گذاری زیست‌محیطی، ظرفیت‌سازی و همکاری ذی‌نفعان را ترکیب می‌کنند، بهترین نتایج پایداری را به همراه دارند. برای تصمیم‌گیرندگان در فولاد کاوه جنوب کیش و سازمان‌های صنعتی مشابه، مدل پیشنهادی نه تنها به عنوان مکانیزم ارزیابی بلکه به عنوان سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری استراتژیک عمل می‌کند. علاوه بر این، مدل بدست آمده امکان آزمون سیاست‌های پیشگیرانه و برنامه‌ریزی بلندمدت مبتنی بر داده را فراهم می‌کند و فراتر از شهود عمل می‌کند.

استناد: غفورنیا، محمد. (۱۴۰۴). تحلیل پایداری زنجیره تامین شرکت فولاد کاوه کیش با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها. *مدل‌سازی مدیریتی در توسعه پایدار*، ۱(۱)، ۱۶۵-۱۹۰.

DOI: <https://doi.org/10.22075/mmsd.2025.38609.1012>

ناشر: دانشگاه سمنان

۱. مقدمه

بحث پایداری در زنجیره‌ی تأمین، از جمله موضوعات نوظهور و تأثیرگذاری است که در سال‌های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران و متخصصان این حوزه را به خود جلب کرده است (موسوی و سرینگ، ۲۰۲۵). امروزه، با توجه به اثرات فزاینده‌ی رشد جمعیت جهانی و افزایش فعالیت‌های انسانی، مفهوم پایداری در طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین به مسئله‌ای راهبردی برای سازمان‌ها، دولت‌ها و جوامع - به‌ویژه حامیان محیط‌زیست - تبدیل شده است (الصالح و فاروق، ۲۰۲۴). مدیریت زنجیره‌ی تأمین پایدار، توسعه‌ی مفهوم سنتی مدیریت زنجیره‌ی تأمین با افزودن ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی/اخلاقی به آن است و بر این باور است که تمرکز صرف بر ملاحظات زیست‌محیطی، بدون توجه به جامعه‌ی انسانی و پیامدهای اجتماعی توسعه، می‌تواند پیامدهایی معکوس برای سازمان‌ها به‌دنبال داشته باشد (کلیفت^۱، ۲۰۰۴). در واقع، توجه هم‌زمان به نیازهای زیست‌محیطی و اجتماعی، منافع اقتصادی قابل توجهی برای اعضای زنجیره‌ی تأمین به همراه دارد (یاکولوا^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). در شرایط رقابتی و پویای امروز، مدیران برای موفقیت در محیط کسب‌وکار و ارتقای کارایی و اثربخشی عملیات زنجیره‌ی تأمین، نیازمند سیستم‌هایی برای سنجش عملکرد هستند که نه تنها عملکرد یک بنگاه منفرد، بلکه کل زنجیره‌ی تأمین را ارزیابی کنند (پیوگ^۳، ۱۹۹۸). عملکرد زنجیره‌ی تأمین، فراتر از مرزهای سازمانی است و کلیه‌ی فعالیت‌ها از تأمین مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی به مشتری از طریق کانال‌های مختلف را در بر می‌گیرد (فیض‌آبادی و جعفرنژاد، ۱۳۸۴). در دهه‌ی اخیر، تمایل به ادغام سنجش پایداری در مدل‌های زنجیره‌ی تأمین افزایش یافته است؛ چراکه فشارهای ناشی از جهانی‌سازی، پیشرفت فناوری، و الزامات پاسخ‌گویی زیست‌محیطی و اجتماعی، سازمان‌ها را به بازنگری در رویکردهای سنتی کسب‌وکار واداشته است (بیتیتی^۴ و همکاران، ۲۰۰۹). ارزیابی عملکرد پایدار زنجیره‌ی تأمین، مستلزم تعیین اهداف روشن و بهره‌گیری از ابزارهای تحلیلی مناسب جهت تحلیل داده‌های مرتبط با ابعاد مختلف پایداری است با وجود این، مطالعات انجام‌شده در این حوزه همچنان پراکنده، محدود و عمدتاً ایستا هستند و بر داده‌های تاریخی تکیه دارند؛ مسئله‌ای که باعث شده نتایج این پژوهش‌ها کمتر مورد پذیرش جامعه‌ی علمی قرار گیرد (آهی و سرسی^۵، ۲۰۱۵). بر این اساس، هدف پژوهش حاضر، مدل‌سازی پویای زنجیره‌ی تأمین پایدار با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها^۶ است. این رویکرد، با تمرکز بر درک کل‌نگر از سیستم، تحلیل تعاملات میان اجزا و شناسایی بازخوردها بدون تجزیه‌ی نظام، به‌عنوان روشی مناسب برای مدل‌سازی شبکه‌های پیچیده‌ی زنجیره‌ی تأمین مطرح شده است (استرمن^۷، ۲۰۰۰). با وجود اهمیت روزافزون موضوع، بسیاری از شرکت‌های ایرانی از جمله شرکت فولاد کاوه کیش با چالش‌های متعددی در زمینه‌ی پایداری زنجیره‌ی تأمین روبه‌رو هستند. این چالش‌ها شامل وابستگی به منابع محدود، نوسانات بازار مواد اولیه، فشارهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی و تولید آلاینده‌ها، و ضعف در توجه به مسئولیت‌های اجتماعی است که عملکرد پایدار آن‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. از سوی دیگر، مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌های متعددی به سنجش شاخص‌های پایداری پرداخته‌اند، اما کمتر مطالعه‌ای به مدل‌سازی

¹ Clift² Yakovleva³ Pugh⁴ Bititci⁵ Ahi & Searcy⁶ System Dynamics⁷ Sterman

پویا و شبیه‌سازی اثرات بلندمدت تصمیمات مدیریتی در زنجیره‌ی تأمین پایدار پرداخته است. این خلأ پژوهشی سبب شده که مدیران نتوانند از ابزارهای تحلیلی کارآمد برای درک پیامدهای تصمیمات خود در بلندمدت بهره‌مند شوند. بر همین اساس، پژوهش حاضر می‌کوشد با بهره‌گیری از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها، نه تنها وضعیت فعلی پایداری زنجیره‌ی تأمین شرکت مورد مطالعه را تحلیل کند، بلکه سناریوهای مختلف بهبود آن را نیز شبیه‌سازی نماید تا راهکاری عملی و علمی برای ارتقای عملکرد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ارائه شود.

۲. پیشینه پژوهش

۱.۲. زنجیره تأمین پایدار

زنجیره تأمین برای نخستین بار در ادبیات علمی بیش از سی سال پیش ظاهر شد، زمانی که الیور و وبر اولین تعریف رسمی را برای مدیریت چنین سیستم‌هایی پیشنهاد دادند. از آن زمان، توجه به حوزه مدیریت زنجیره تأمین به‌طور قابل ملاحظه‌ای در هر دو سطح دانشگاهی و صنعتی افزایش یافته است و اکنون زنجیره تأمین به‌عنوان یکی از سیستم‌های پایه‌ای در هر سازمان تلقی می‌شود. زنجیره تأمین، در شکل کلاسیک آن، به‌عنوان ترکیبی از فرآیندها برای پاسخ‌گویی به تقاضای مشتری شامل همه نهادهای شبکه‌ای نظیر تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشان و مشتریان تعریف می‌شود که هدف اصلی آن‌ها رضایت مشتری با حداقل هزینه است (باربوسا^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). با این حال، این هدف در طول زمان گسترش یافته و زنجیره‌های تأمین، فعالیت‌های خود را به‌سوی ادغام جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی گسترش داده‌اند. از یک‌سو، در دهه‌های اخیر، ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی مانند کاهش منابع خام، افزایش پسماند و آلودگی، از موضوعات مهم برای سازمان‌ها محسوب می‌شود. همچنین، عدم رعایت مسئولیت‌های اخلاقی می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های کسب‌وکار و کاهش سودآوری شود (باربوسا و همکاران، ۲۰۱۷). از سوی دیگر، جهانی‌سازی و برون‌سپاری امکان ایجاد شبکه‌های گسترده تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و ارائه‌دهندگان خدمات را برای شرکت‌ها فراهم کرده است. این فعالیت‌ها اغلب مسائل پایداری را در پی دارند (آهی و سرسی، ۲۰۱۵). اصطلاح «پایداری» به معنی تأمین نیازهای فعلی بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده در برآورده ساختن نیازهای خود تعریف شده است اگرچه پایداری می‌تواند شامل مفاهیمی مانند مسئولیت اجتماعی، اخلاق کسب‌وکار و مدیریت زیست‌محیطی باشد، اما تمرکز اصلی در سال‌های اخیر بر جنبه‌های زیست‌محیطی آن به دلیل افزایش حساسیت جهانی است (حقیقی و همکاران، ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر، این روند گسترش یافته و شامل نگرانی‌های اجتماعی نیز شده است؛ که منجر به شکل‌گیری حوزه «زنجیره تأمین پایدار» شده است که اکنون توجه بسیاری را از دانشگاهیان و فعالان صنعتی به خود جلب کرده است. تعاریف مختلفی برای زنجیره تأمین پایدار ارائه شده است. برای نمونه، سیورینگ و مولر پایداری را در چارچوب زنجیره تأمین به‌صورت «ادغام معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی برای دستیابی به پایداری بلندمدت اقتصادی» تعریف می‌کنند. مدیریت جریان مواد، اطلاعات و سرمایه، همراه با همکاری میان سازمان‌ها در طول زنجیره تأمین، باید با در نظر گرفتن سه بُعد پایداری یعنی اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی صورت گیرد (هان^۲ و همکاران، ۲۰۱۵). توسعه مفهوم سستی زنجیره تأمین از طریق افزودن ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی/اخلاقی نیز از دیگر پیشرفت‌های مهم است. با افزایش

¹ Barbosa

² Hahn

آگاهی عمومی از مسائل پایداری، شرکت‌ها ناگزیر به اجرای سیاست‌هایی برای ارزیابی عملکرد پایدار زنجیره تأمین شده‌اند. اما این اقدامات با چالش‌هایی همراه است؛ از جمله، تضاد بین اهدافی مانند حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی هزینه‌ها، کاهش اثرات زیست‌محیطی، و افزایش رضایت اجتماعی. در نتیجه، سازمان‌ها به ابزارهایی نیاز دارند که تصمیم‌گیری پایدار را در سطوح مختلف تسهیل کنند (باربوسا و همکاران، ۲۰۱۷). تولید پایدار به عنوان یک دغدغه جهانی مطرح شده و به‌ویژه در صنایعی مانند صنعت فولاد اهمیت بالایی دارد. تولید فولاد، به عنوان یک صنعت مصرف‌کننده منابع و تولیدکننده آلاینده، سالانه حدود ۶٪ از کل گازهای گلخانه‌ای انسان‌ساخت را تولید می‌کند. تولید پایدار به عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که ضمن کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، مصرف انرژی و منابع طبیعی را به حداقل رسانده، برای کارکنان و مصرف‌کنندگان ایمن بوده و از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه باشد (آمرینا و ویلسی، ۲۰۱۵).

۲.۲. ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار

ارزیابی عملکرد در لغت به معنای یافتن ارزش، سنجش و بررسی میزان تحقق ارزش‌هاست. ارزیابی در حالت کلی، فرآیندی نمادین است که برای نمایش جنبه‌های مختلف واقعیت در جهان تحلیلی مورد استفاده محقق قرار می‌گیرد. هدف این فرآیند، انتقال ویژگی‌ها و خواص رویدادهای تجربی به گونه‌ای است که امکان تحلیل علمی آن‌ها را فراهم سازد. از منظر مدیریت، ارزیابی به عنوان یکی از رویکردهای علمی و از مهم‌ترین فعالیت‌های مدیریتی در راستای کمی‌سازی روابط میان متغیرها و شاخص‌ها شناخته می‌شود (ژانگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۵). مانند سایر فعالیت‌های تجاری، مدیریت زنجیره تأمین پایدار نیز با هدف دستیابی به عملکرد مشخصی در حال اجراست. بسته به نوع تمرکز (اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی یا تلفیقی)، این اهداف با شاخص‌های مختلفی سنجیده می‌شوند. شاخص‌های عملکرد متداول اقتصادی در مدیریت زنجیره تأمین شامل کیفیت، سرعت، قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری و هزینه هستند. دستیابی هم‌زمان به عملکرد بالا در تمام این ابعاد، چالشی بزرگ است. با معرفی پایداری در مدیریت زنجیره تأمین، ضرورت توجه به شاخص‌های جدیدی احساس شد. نخست، شاخص‌های رایج پیش‌گفته عمدتاً به ابعاد اقتصادی محدودند و برای ارزیابی زنجیره‌های تأمین پایدار کافی نیستند. دوم، سنجش عملکرد پایداری، به‌ویژه در بُعد اجتماعی، دشوار و اغلب ذهنی است. سوم، تناقض‌هایی در اهداف ممکن است بروز یابد؛ به عنوان مثال، کاهش آلودگی محیط‌زیست ممکن است موجب افزایش هزینه تولید شود (هان و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از راهکارهای مقابله با این چالش‌ها، تعریف اولویت‌های استراتژیک و انتخاب تصمیمات راهبردی است که شفافیت بیشتری در مسیر بهبود عملکرد ایجاد می‌کنند. سنجش عملکرد واقعی در سه بُعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، نقطه شروع درک مفهوم پایداری در زنجیره تأمین به شمار می‌رود. این سنجش می‌تواند ابزاری مؤثر برای بهبود فرآیندها و سنجش اثربخشی استراتژی‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار باشد (باستاس و لیاناج^۳، ۲۰۱۸). با پیچیده‌تر شدن این حوزه، نیاز به توسعه و به‌کارگیری شاخص‌های عملکردی دقیق‌تر افزایش یافته است. این شاخص‌ها نه تنها برای ارزیابی عملکرد، بلکه برای انتخاب تأمین‌کننده و توسعه روابط نیز به کار می‌روند یکی از ابعاد بحرانی در سیستم‌های عملکردی زنجیره تأمین پایدار، شناسایی شاخص‌های کلیدی عملکرد است در حالی که در کسب و کارهای سنتی صدها شاخص برای ارزیابی عملکرد وجود دارد، در زنجیره‌های تأمین پایدار، با ورود ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی، این تعداد

¹ Amrina & Vils

² Zhang

³ Bastas & Liyanage

افزایش یافته و ضرورت تمرکز بر شاخص های کلیدی بیشتر شده است. شاخص های کلیدی عملکرد باید همسو با برنامه ریزی استراتژیک باشند تا از آن ها برای تصمیم گیری یکپارچه در زنجیره های پیچیده استفاده شود. این عوامل، شامل فعالیت ها، دستورالعمل ها و معیارهایی هستند که موفقیت رقابتی سازمان را تضمین می کنند. با وجود اهمیت موضوع، ادبیات علمی مرتبط با سنجش عملکرد در زنجیره تأمین پایدار پراکنده و محدود است. علل این پراکندگی به سه دسته تقسیم می شود: نخست، پارامترهای اندازه گیری باید به درستی تعریف شوند و بر اساس اهداف عملکردی مشترک تدوین گردند. دوم، باید شاخص هایی تدوین شوند که در سراسر زنجیره، شفاف، قابل اندازه گیری و مقایسه پذیر باشند. سوم، ابزارهای اندازه گیری باید میان تمام شرکای زنجیره قابل اتکا و هماهنگ باشند. در دهه های گذشته، ابزارهای متنوعی برای ارزیابی عملکرد در SSCM معرفی شده اند، از جمله کارت امتیازی متوازن، ارزیابی چرخه عمر و ردپای کربن که هدف آن ها ارتقای تصمیم گیری در راستای پایداری است (آهی و سرسی، ۲۰۱۵). اصطلاحات «شاخص» و «معیار» در این حوزه اغلب به جای هم استفاده می شوند. بر اساس تعاریف واژه نامه ای، «معیار» استاندارد برای سنجش است و «شاخص» نمایانگر وجود یا وضعیت چیزی است به طور معمول، معیارها کمی تر و شاخص ها کیفی ترند و برای ارزیابی یا انگیزش حرکت در مسیر اهداف پایداری به کار می روند. هر دو، ابزارهای مفیدی برای تصمیم گیری در مدیریت زنجیره تأمین سبز و پایدار محسوب می شوند. با بررسی مطالعات پیشین، مشخص می شود که در ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین پایدار، تمرکز عمدتاً بر ابعاد اقتصادی و زیست محیطی بوده و به بُعد اجتماعی کمتر پرداخته شده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۵). در پژوهش حاضر، برای پر کردن این شکاف، هر سه بُعد پایداری به طور جامع در کنار یکدیگر مد نظر قرار گرفته اند و عملکرد زنجیره تأمین پایدار با در نظر گرفتن این ابعاد ارزیابی شده است.

۳.۲. پیشینه تجربی پژوهش

بخشی زاده برج و همکاران (۱۴۰۳) پژوهشی را با هدف شناسایی و اولویت بندی پیشران های بهینه سازی زنجیره ارزش پایدار در صنعت پتروشیمی ایران انجام دادند. آنان با به کارگیری رویکرد آینده نگاری راهبردی و روش تحلیل اثرات متقابل ساختاری (MICMAC) و جمع آوری داده ها از طریق مصاحبه نیمه ساختاریافته و پرسشنامه از ۱۵ نفر از خبرگان دانشگاهی و مدیران عالی، دریافتند که مهم ترین پیشران های اثر گذار شامل ارتقاء فرهنگ توسعه پایدار و مسئولیت اجتماعی شرکتی، توسعه فناوری های نوین و دیجیتال سازی فرآیندها، استقرار سیستم های نظارتی بر استانداردهای ایمنی، محیط زیست و بهداشت شغلی و همچنین افزایش انعطاف پذیری و یکپارچگی در زنجیره تأمین و تولید است. نتایج تحقیق آنان نشان داد که توجه به این پیشران ها می تواند راهنمای مؤثری برای سیاست گذاران و مدیران صنعت پتروشیمی در جهت حرکت به سوی توسعه پایدار و ارتقای رقابت پذیری باشد.

کامیابی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهش خود بیان می کنند که در طول سال های اخیر انتخاب تأمین کننده مناسب در زنجیره تأمین به یک موضوع استراتژیک مهم تبدیل شده است. ماهیت این تصمیمات معمولاً پیچیده و ساختار نیافته است. از طرفی، فرآیند انتخاب تأمین کننده مناسب که قادر به فراهم کردن نیاز خریداران باشد، یکی از ضروری ترین فعالیت ها برای ایجاد زنجیره تأمین مناسب است. بنابراین خریداران برای افزایش بهره وری در یک سیستم زنجیره تأمین به منظور ارزیابی و رتبه بندی تأمین کنندگان اقدام می کنند. در ارزیابی تأمین کنندگان، با توجه به معیارهای گوناگونی که می بایست به دقت مورد بررسی قرار گیرند، توجه به معیارهای پایداری شامل معیارهای اقتصادی و زیست محیطی در کنار معیارهای

سنتی برای حفظ مزیت رقابتی و تفکری نوین در عرصه ارزیابی تأمین کنندگان لازم به نظر می‌رسد. در این مقاله با رویکرد ارزیابی عملکرد تأمین کنندگان پایدار، به شناسایی معیارهای تأثیرگذار بر عملکرد پایداری پرداختیم. پس از آن، با استفاده از روش آنتروپی به وزندهی به این معیارها پرداختیم و با ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی به دنبال یافتن بهترین تأمین کننده بر اساس معیارهای پایداری از میان دیگر تأمین کنندگان بودیم. با تحلیل عملکرد سه تأمین کننده و با به دست آوردن معیارهای مناسب و قرار دادن داده‌ها در الگوی مورد بررسی و حل مسئله به کمک نرم‌افزار لینگو، حد پایین، حد وسط و حد بالا برای هر واحد تصمیم‌گیری به دست آمد و در نهایت با به دست آوردن وزن‌های واحدهای تصمیم‌گیری، آن‌ها را رتبه‌بندی کرده و جواب بهینه به دست آمد. در نهایت شرکت برنز تهران به عنوان بهترین تأمین کننده انتخاب شد. الفت و مزروعی (۱۳۹۴) بیان می‌کنند با توجه به اهمیت عملکرد زنجیره تأمین، بررسی رابطه عملکرد زنجیره تأمین با پایداری زنجیره تأمین دارای اهمیت زیادی است. از طرف دیگر، بررسی نقش توانمندسازها در این رابطه نیز از مواردی است که در مدل اصلی تحقیق به آن پرداخته می‌شود. هدف اصلی این تحقیق ارائه مدلی جهت تبیین رابطه توانمندسازها با عملکرد زنجیره تأمین در صنعت فرش ماشینی ایران است. این تحقیق از نوع توصیفی-همبستگی بوده و بعد از شناسایی سنجه‌های پایداری، سنجه‌های عملکرد زنجیره تأمین و توانمندسازهای زنجیره، با استفاده از تکنیک دلفی آن‌ها مورد بازبینی قرار گرفتند. سپس پرسشنامه‌ای بر مبنای طیف لیکرت طراحی و بین ۲۱۷ شرکت دارای بیش از ۵۰ نفر کارگر توزیع شد. در ادامه سنجه‌های عملکرد و توانمندسازها با استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی دسته‌بندی شدند. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ایموس، مدل تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که توانمندسازها تأثیر مستقیمی بر پایداری ندارند و از طریق عملکرد بر پایداری اثر می‌گذارند. به عبارت دیگر، عملکرد نقش میانجی بین توانمندسازها و پایداری ایفا می‌کند. در این بین، مدیریت دانش و اطلاعات و روابط مناسب از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار شناخته شدند. همچنین، تفاوت معناداری بین اهمیت عوامل عملکرد زنجیره تأمین و ابعاد پایداری وجود نداشت.

لی و چانگ^۱ (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای با مدل‌سازی دینامیکی، نشان دادند که چگونگی تعامل عوامل داخلی و خارجی زنجیره تأمین، نظیر سطح موجودی، قیمت مواد اولیه و مقررات زیست‌محیطی، می‌تواند به بروز رفتارهای غیرخطی در پایداری بینجامد. مدل آن‌ها به‌ویژه در شناسایی نقاط حساس برای مداخله سیاستی مفید بود.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) با طراحی مدلی دینامیکی برای ارزیابی استراتژی‌های سبز در زنجیره‌های تأمین صنعتی، نشان دادند که زمان‌بندی اجرای سیاست‌ها نقش مهمی در موفقیت آن‌ها دارد. نتایج آن‌ها تأیید کرد که تأخیر در سیاست‌گذاری زیست‌محیطی ممکن است باعث افزایش هزینه‌ها و کاهش مزایای اجتماعی شود.

نیو و وانگ^۲ (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای موردی در صنعت سیمان، مدل پویایی سیستم را برای تحلیل استراتژی‌های کاهش کربن به کار گرفتند. آن‌ها نشان دادند که ترکیب سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک و استفاده از سوخت‌های جایگزین می‌تواند همزمان منجر به بهبود سود اقتصادی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود.

حسن (۲۰۲۴) در مقاله‌ای با عنوان «تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی برای زنجیره‌های تأمین پایدار: کاهش ردپای کربن در ایالات متحده» به بررسی نقش هوش مصنوعی در بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌های زنجیره تأمین با هدف کاهش ردپای کربن در آمریکا پرداخته است. نویسنده نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری

¹ Li & Chang

² Niu & Wang

ماشین، تحلیل پیش‌بینی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌تواند بهره‌وری زنجیره تأمین را افزایش داده و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. همچنین مقاله به چالش‌ها و فرصت‌های پیاده‌سازی راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در جهت ارتقای پایداری زنجیره‌های تأمین و پاسخ به الزامات نظارتی و نیازهای مصرف‌کنندگان می‌پردازد.

الصالح و فاروق (۲۰۲۴) در مقاله‌ای با عنوان «مدل‌های شبیه‌سازی برای زنجیره تأمین جهانی خودروهای برقی پایدار، مقاوم و بهینه‌شده» به ارائه مدل‌های شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین خودروهای برقی پرداخته‌اند. پژوهشگران نشان دادند که استفاده از مدل بهینه‌سازی پیشنهادی می‌تواند اثرات منفی زیست‌محیطی و آسیب‌پذیری‌های زنجیره تأمین را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. مقاله به بررسی ابعاد پایداری، مقاومت و بهینه‌سازی در زنجیره تأمین جهانی خودروهای برقی می‌پردازد و نشان می‌دهد که به کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی و تحلیل داده‌ها می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک شرکت‌ها برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش کارایی زنجیره تأمین داشته باشد.

بستاس و همکاران (۲۰۱۸) بیان می‌کنند که زنجیره تأمین یکی از عوامل کلیدی در ایجاد مزیت رقابتی است و ارزیابی پایداری آن نیازمند ابزارهای مناسب است. این مطالعه با تحلیل ۱۰۴ مقاله منتشرشده، روش‌های ارزیابی عملکرد پایدار زنجیره تأمین را بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP، روش فازی، کارت امتیازی متوازن و تحلیل پوششی داده‌ها، رایج‌ترین ابزارها هستند. این مطالعه یک چارچوب مفهومی جدید برای ارزیابی زنجیره تأمین پایدار ارائه کرده و چالش‌هایی مانند اشتراک‌گذاری داده‌ها، استانداردسازی شاخص‌ها و همکاری بین ذی‌نفعان را معرفی می‌کند.

راجف^۱ و همکاران (۲۰۱۷) نیز به بررسی تحولات پایداری در مدیریت زنجیره تأمین از منظر تکاملی پرداخته‌اند. آن‌ها با تحلیل ۱۰۶۸ مقاله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵، یک چارچوب مفهومی برای طبقه‌بندی عوامل پایداری در زنجیره تأمین ارائه کردند. آن‌ها تأکید می‌کنند که مطالعاتی که هر سه بعد پایداری (اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی) را پوشش دهند، بسیار اندک‌اند و بیشتر تمرکز بر مسائل زیست‌محیطی بوده است. آن‌ها پیشنهاد می‌دهند تحقیقات آینده باید به مسائل خاص صنایع آلاینده و ابعاد اجتماعی بیشتر توجه کنند.

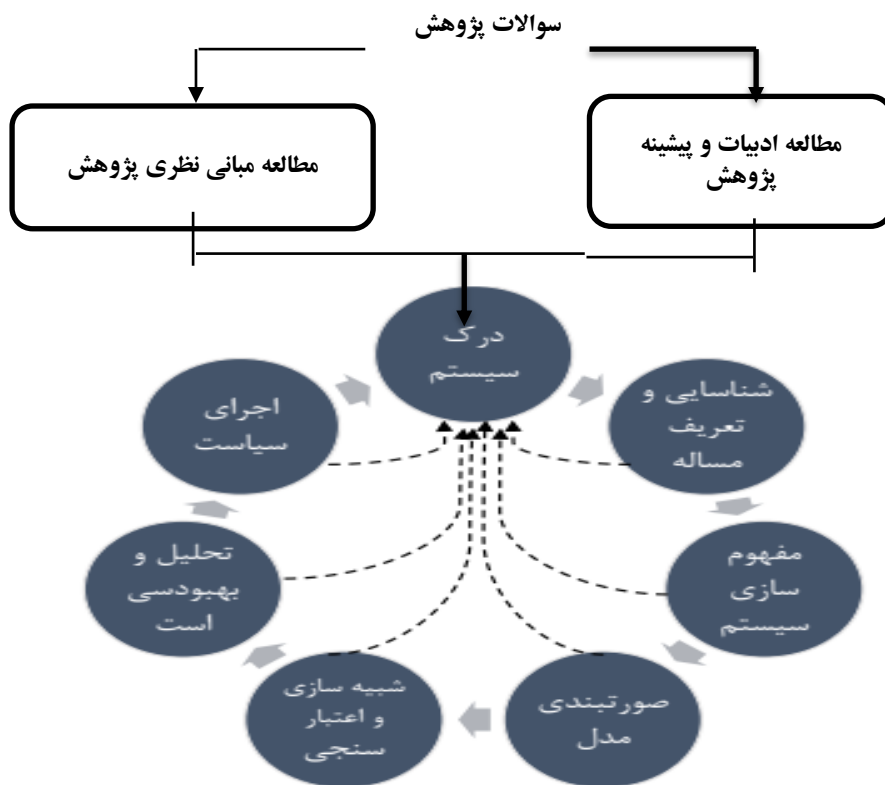
از سوی دیگر، بعد اجتماعی پایداری نیز در برخی پژوهش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه، موسوی و زویریگ (۲۰۲۵) با ارائه یک مدل پویایی برای ارزیابی شاخص‌های اجتماعی در زنجیره تأمین، به بررسی روابط پیچیده میان اشتغال، شرایط کار و فشارهای بازار پرداختند. بنائیان و همکاران (۲۰۲۴) با ترکیب مفهوم تاب‌آوری و پایداری در یک چارچوب دینامیکی، نشان دادند که زنجیره‌های تأمین قادر به مقابله همزمان با بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی خواهند بود، در صورتی که استراتژی‌های آن‌ها با درک درست از پویایی‌ها طراحی شود. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پژوهش‌های متعددی به سنجش و تحلیل پایداری زنجیره تأمین پرداخته‌اند و روش‌های متنوعی برای این منظور به کار رفته است. برخی مطالعات بر شاخص‌های کیفی و کمی پایداری متمرکز بوده‌اند، برخی با استفاده از تحلیل آماری و رگرسیون روابط میان متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را بررسی کرده‌اند و برخی دیگر از مدل‌های بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی ریاضی برای بهبود عملکرد زنجیره استفاده کرده‌اند. همچنین، شبیه‌سازی گسسته (DES) و مدل‌سازی مبتنی بر عامل (ABM) نیز در برخی پژوهش‌ها برای تحلیل رفتار سیستم در سطح خرد به کار رفته‌اند. با وجود این تلاش‌ها، کمتر مطالعه‌ای به مدل‌سازی پویا و شبیه‌سازی اثرات بلندمدت تصمیمات مدیریتی پرداخته است؛ به‌طوری

¹ Rageev

که مدیران اغلب نمی توانند پیامدهای بلندمدت تصمیمات خود را به طور دقیق درک کنند. پویایی شناسی سیستم ها با تمرکز بر روابط علت و معلولی، حلقه های بازخورد و اثرات زمانی، امکان تحلیل رفتار سیستم در بلندمدت و شبیه سازی سناریوهای مختلف بهبود را فراهم می کند. بنابراین، استفاده از این رویکرد برای مطالعه پایداری زنجیره تامین مزیت قابل توجهی نسبت به سایر روش ها دارد و می تواند راهکاری علمی و عملی برای ارتقای عملکرد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی ارائه نماید.

۳. روش شناسی پژوهش

حوزه ی پویایی های سیستم در سال ۱۹۵۶ و در مؤسسه فناوری ماساچوست شکل گرفت. رویکرد پویایی سیستم ها را جی فارستر از دانشگاه MIT در اوایل دهه شصت معرفی کرد. ایده اولیه شکل گیری این حوزه، پروژه ای بود که فارستر برای شرکت جنرال الکتریک انجام داد. پویایی سیستم ها روشی برای مطالعه و مدیریت سیستم های پیچیده و دارای بازخورد است. این سیستم ها می توانند در حوزه های مختلفی مثل کسب و کار، اقتصاد، محیط زیست، مدیریت انرژی، مسائل شهری و سایر حوزه های اجتماعی و انسانی وجود داشته باشند. این ابزار به حل مسائل مدیریت عالی کمک می کند و در تحلیل، حل مسئله و شبیه سازی سیستم های پیچیده کاربرد دارد (تیموری، ۲۰۱۴). فارستر پس از معرفی پویایی های سیستمی، رویه ای را برای مدل سازی و حل یک مسئله با آن ارائه کرد. مطالعات بعدی وی نشان داد که رویه مدل سازی یک مسئله با رویکرد پویایی های سیستمی به تکامل نرسیده است. گذر از چشم انداز علت و معلولی خطی نسبت به دنیای اجتماعی و انتقال به چشم انداز بازخور چرخشی جامع تر، بیانگر یک تغییر در پارادایم است که برای بسیاری از مدیران دشوار است. ایجاد درک و شناخت رفتار پویا در کسب و کار ممکن است مستلزم سال ها تلاش و خلق شیوه های جدید اندیشه باشد. با این حال، می توانیم به آینده ای بنگریم که در آن افراد در حرفه کاری خود از چارچوب پویایی سیستم به عنوان مبنای تفکر خویش بهره می برند. با وقوع تغییرات فنی، اجتماعی و اقتصادی، مسائل مدیریتی در حال پیچیده شدن است. غلبه بر این پیچیدگی با کمک رویکرد مدیریت سنتی مبتنی بر مدل های ذهنی، شهود، تجربه و قضاوت، مدیران را با مشکل مواجه کرده است (تیموری، ۲۰۱۴). تکنیک پویایی سیستم براساس تئوری اطلاعات-بازخورد شکل گرفته است. در این تکنیک از نمادهایی برای نگاشت سیستم های کسب و کار در قالب نمودار و معادلات استفاده می شود و از زبان برنامه نویسی برای شبیه سازی کامپیوتری بهره گرفته می شود. یکی از مهم ترین اهداف مدل سازی پویایی سیستم بررسی سیاست های بالقوه مختلف برای بهبود عملکرد سیستم است. از میان این سیاست ها، سیاستی که بهترین نتایج را ارائه دهد برای اجرا در سیستم انتخاب می شود. در این رویکرد، تصویری از سیستم بر اساس بازخوردها و تأخیرهای موجود ایجاد می شود تا درک بهتری از رفتار دینامیکی سیستم های پیچیده فیزیکی، زیستی و اجتماعی حاصل شود. می توان گفت مهم ترین اصل اساسی که پویایی های سیستم بیان می کند این است که بازخوردها و تأخیرها رفتار سیستم ها را می سازند و پویایی سیستم نتیجه ساختار حاکم بر سیستم است. بنابراین، لازم است که با استفاده از ابزارهای انتخاب و ساختاردهی اطلاعات موجود، به دانش مدیر شکل داده، آن را معجم کنیم و با کمک مدل های رسمی به پیامدها و نتایج دست یابیم و مدیر بتواند کارکرد سیستم را بهتر درک کند و سیاست ها را بهبود دهد. با توجه به فرآیند روش پویایی های سیستم و متغیرهای موثر در عملکرد زنجیره تامین و اثرات آن متغیرها بر ابعاد پایداری، این پژوهش از نوع مدل سازی برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار می باشد. روش این پژوهش براساس روش شناسی استرمن به صورت مراحل زیر بررسی و ارزیابی می شود.



شکل ۱. فرآیند پژوهش

۴. یافته ها

۴.۱. درک سیستم

صنعت فولاد، با توجه به اهمیت مهمی که در سازندگی و آبادانی کشور دارد، باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا با توجه به بحث پایداری که باید نیاز نسل حاضر بدون اینکه نیاز نسل آینده به خطر افتد، برآورده شود. برای برطرف کردن نیاز جامعه و همچنین توجه به نسل های آینده، باید در بحث پایداری که همان ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی باید سرمایه گذاری بلند مدتی انجام گیرد تا نیازهای نسل های آینده را نیز تامین شود. صنعت فولاد، با توجه به اینکه جز دومین صنعت آلوده کننده محیط زیست شناخته شده، و از طرف دیگر چون بخش عظیمی از این صنعت مربوط به حمل و نقل مواد اولیه و محصولات می باشد، باید توجه خاص و ویژه ای به آن شود تا قدم های موفقیتی در بحث پایداری برداشته شود. با توجه به اینکه پتانسل کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در کشور به دلیل فرسودگی صنایع مصرف کننده حامل های انرژی بالاست، باید از سیاست های اصلی تولید انرژی با استفاده از فناوری های پاک و پر بهره، بهینه سازی فناوری وسایل حمل و نقل استفاده نمود. افزایش بهره وری انرژی یکی از اقتصادی ترین گزینه ها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می باشد. با استفاده بهینه از حامل های انرژی و افزایش سهم گاز طبیعی در سبد تقاضا می توان نرخ انتشار سالانه دی اکسید کربن را کاهش داد. در همین راستا روش های کاهش مبتنی بر بهره وری انرژی شامل افزایش سهم نیروگاه های سیکل ترکیبی در تولید برق، تدوین استانداردهای مناسب مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی و تجاری، اجباری کردن استفاده از برچسب های انرژی برای لوازم برقی خانگی و تقویت تکنولوژی وسایل نقلیه می باشد.

۲.۴. شناسایی و تعریف مساله

با توجه به موضوع پژوهش که هدف آن ارزیابی عملکرد پایداری زنجیره تامین می باشد، پس ابعاد پایداری را مشخص کرده و مدل بر اساس آن طراحی می شود. با توجه به اهمیت موضوع پایداری عملکرد زنجیره تامین، به دلیل افزایش جمعیت و کاهش منابع طبیعی، و همچنین افزایش فضای رقابتی بین زنجیره های تامین، نیاز به ارزیابی عملکرد زنجیره تامین است تا عملکرد پایداری زنجیره تامین را سنجیده و بتوان خود با شرایط ایده آل امروزی وفق داد. از طرف دیگر توجه به هر سه بعد پایداری برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین بسیار ضروری می باشد چرا که ابعاد پایداری حلقه هایی هستند که باهم در ارتباط بوده و عدم توجه کافی به هر کدام از این حلقه ها باعث می شود عملکرد پایداری به درستی سنجیده نشود.

۳.۴. مفهوم سازی سیستم

افق زمانی مدل، از سال ۱۳۹۱ الی ۱۴۱۰ در نظر گرفته شده است. مدل با توجه به داده های متغیرها از ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۳ تدوین و طراحی شده است و برای بازه ۱۴۰۴ به بعد روند متغیرها شبیه سازی شده است. متغیرهای مورد استفاده در مدل پژوهش با استفاده از مطالعه مبانی نظری و پیشینه پژوهش مطابق جدول ۱ بر حسب نوع پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست-محیطی) مشخص شده است. لازم به توضیح است که در پویایی شناسی سیستم ها، متغیر درونی متغیری است که رفتار و تغییرات آن عمدتاً توسط اجزای داخلی سیستم و روابط میان آن ها شکل می گیرد، در حالی که متغیر بیرونی متغیری است که از خارج سیستم وارد می شود و تغییرات آن مستقل از فرآیندهای داخلی سیستم است و سیستم بر آن کنترلی ندارد.

جدول ۱. عوامل تاثیر گذار بر عملکرد زنجیره تامین پایدار

ردیف	متغیر	تعریف	نماد	نوع متغیر
۱	مبلغ فروش	این متغیر از فروش خالص در سال به دست می آید	Sales	درونی
۲	تولید	میزان فروش (تن) تقسیم بر نرخ فروش	Production	درونی
۳	هزینه تولید	مجموع هزینه ها برای تولید یک واحد محصول	Production cost	درونی
۴	موجودی کالای آماده تبدیل	موجودی مواد اولیه آماده ساخت	Inventory of raw material	درونی
۵	تقاضا	تعداد درخواست مشتریان در روز	Demand	درونی
۶	هزینه تحقیق و توسعه	مجموع فعالیت های واحد تحقیق و توسعه	R&D cost	درونی
۷	میزان درآمد تحویل کالا	درآمد حاصل از تعداد کالای تحویل داده شده در روز	Revenue of delivered product	درونی
۸	افزایش ظرفیت تولید	افزایش تولید در سال های اخیر	Production capacity increase	درونی
۹	حساسیت به هزینه های دراز مدت	میزان تغییر قیمت نهایی با توجه به نرخ تورم	Sensitivity to long term expenses	بیرونی
۱۰	هزینه دفع مواد زائد	مجموع هزینه های صورت گرفته برای دفع مواد زائد	Waste disposal cost	درونی

ردیف	متغیر	تعریف	نماد	نوع متغیر
۱۱	هزینه مصرف منابع اولیه	مجموع هزینه های مصرف منابع برای تولید محصول	Cost of using Initial resources	بیرونی
۱۲	صادرات محصول نهایی	این متغیر از قیمت محصول نهایی با توجه صادرات در میزان محصول صادر شده به دست می آید	End product export	درونی
۱۳	کیفیت	افزایش کیفیت کالا بر اساس استانداردهای بین المللی	Quality	درونی
۱۴	مقدار تحویل کالا در روز	این متغیر از نسبت کالاهای تحویل داده شده سالم به کل کالای آماده برای تحویل به دست می آید	Delivered product daily	درونی
۱۵	بازاریابی موثر	میزان به دست آوردن بازارهای داخل استان و استان های همجوار	Effective marketing	درونی
۱۶	هزینه بازاریابی	مجموع هزینه هایی که برای رقابت با سایر رقبا انجام میگیرد	Cost of marketing	درونی
۱۷	هزینه تحویل	مجموع فعالیت های انجام برای تحویل کالا به مقصد	Delivered cost	درونی
۱۸	سود خالص از صادرات محصول	این متغیر از درآمد حاصل از صادرات محصولات بتوجه به کسر هزینه حمل و نقل به دست می آید	Net profit of export	درونی
۱۹	کاهش میزان انبارداری	درصد کاهش موجودی انبار در سالهای گذشته	Reducing the amount of warehousing	درونی
۲۰	کاهش درصد زمان چرخه تولید محصول	کاهش زمان ورود منابع اولیه تا تبدیل شدن به محصول نهایی	Reducing of production time	درونی
۲۱	بهبود سرعت تحویل کالا	کاهش زمان سفارش محصول تا تحویل کالا	Product delivery race productivity	درونی
۲۲	شرایط مالی عرضه کننده	میزان توانایی عرضه کننده در تامین منابع اولیه در مقدار های بسیار بالا	Financial ability of manufacturer	بیرونی
۲۳	توسعه تامین کنندگان با کیفیت بالا	تمدید قرارداد یا بستن قرارداد با عرضه کنندگان منابع اولیه	Expanding high quality suppliers	بیرونی
۲۵	ارتباط مستقیم با تامین کنندگان	ارتباط مستقیم با تامین کنندگان بدون واسطه	Direct link with suppliers	درونی
۲۶	موقعیت جغرافیایی	نزدیک بودن به تامین کنندگان مختلف	Geographical state	بیرونی
۲۷	طراحی محصولات سازگار با محیط زیست	طراحی محصولات با توجه به معیارهای زیست محیطی	Designing products compatible with environment	درونی
۲۸	تعداد برگشت سفارشات	تعداد بارهای مرجوعی در سال	Rejected orders	درونی

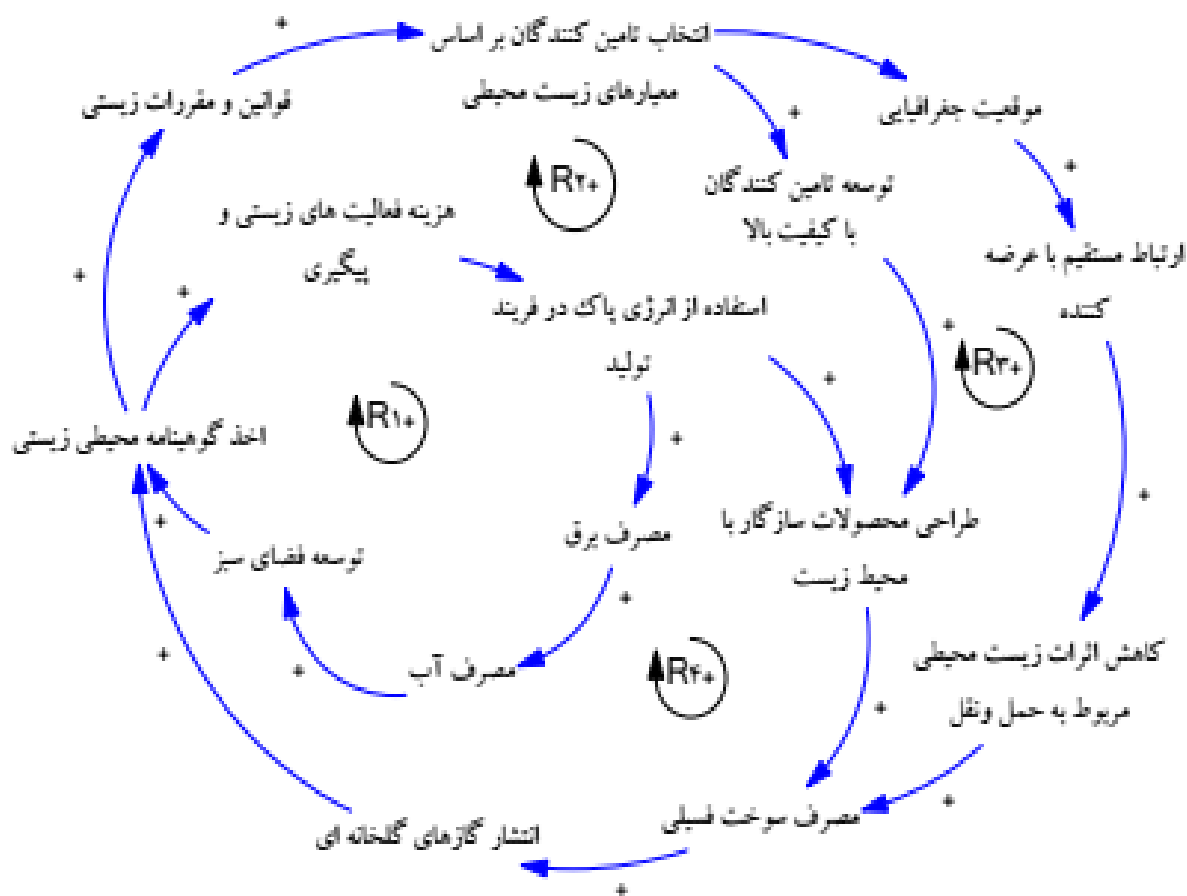
ردیف	متغیر	تعریف	نماد	نوع متغیر
۲۹	انعطاف پذیری محصول	این متغیر با توجه به هزینه تحقیق و توسعه و کاهش زمان چرخه تولید به دست می آید	Product flexibility	درونی
۳۰	استفاده از تکنولوژی پاک در فرایند تولید	تولید محصول براساس تکنولوژی های جدید برای کاهش میزان الودگی	Using pure energy in production process	درونی
۳۱	میزان انتخاب تامین کنندگان بر اساس معیارهای زیست محیطی	این متغیر انتخاب تامین کنندگان بر حسب گواهینامه های زیست محیطی را نشان میدهد	The amount of choosing suppliers based on environmental factors	درونی
۳۲	کاهش اثرات زیست محیطی مربوط به حمل و نقل	استفاده از وسایل حمل و نقل که استانداردهای زیست محیطی بالایی دارند	Reducing environmental effect of transportation	درونی
۳۳	هزینه فعالیت های محیط زیستی و پیگیری	مجموع هزینه های فعالیت های زیست محیطی و نظارت بر آن	The cost of Environmental activities and following up	بیرونی
۳۴	مصرف سوخت فسیلی مترمکعب بر تن	این متغیر میزان مصرف سوخت فسیلی را به ازای هر تن فولاد نشان می دهد	Use of fossil fuel	بیرونی
۳۵	مصرف برق کیلو وات ساعت بر تن	این متغیر میزان مصرف برق را در هر تن فولاد نشان می دهد	Using of electricity	درونی
۳۶	مصرف آب مترمکعب بر تن	میزان استفاده از انرژی تجدید پذیر در فرایند تولید	Using of water	درونی
۳۷	انتشار گازهای گلخانه ای	میزان انتشار گازهای گلخانه ای	Greenhouse gas emission	درونی
۳۸	اخذ گواهینامه های محیط زیستی	تعداد گواهینامه های زیست محیطی که کسب کرده اند	Environmental certificates	درونی
۳۹	قوانین و مقررات محیط زیستی	قوانین مقررات مقررات محیطی زیستی از طرف دولت	Environmental rules	بیرونی
۴۰	ایجاد فضای سبز	این متغیر میزان فضای سبز ایجاد شده را نشان می دهد	Creating green space	درونی
۴۱	میانگین ساعات آموزش در طول سال	این متغیر آموزش کارکنان در طول سال را بر حسب ساعت نشان می دهد	The average of training time yearly	درونی
۴۲	هزینه آموزش	این متغیر هزینه آموزش در طول یک سال را نشان می دهد.	Training cost	درونی
۴۳	درآمد عادلانه برای کارکنان	میزان درآمدی که همه افراد در سطوح مختلف رضایت داشته باشند	Fair revenue for workforce	درونی

ردیف	متغیر	تعریف	نماد	نوع متغیر
۴۴	سطح تلاش برای انگیزش کارکنان	فعالیت هایی که باعث ایجاد انگیزش در افراد می شود	The effort level for workforce motivation	درونی
۴۵	رضایت کارکنان	میزان حضور کارکنان در شرکت را نشان می دهد	Workforce satisfactory	درونی
۴۶	وجود برنامه های رفاهی برای تشویق کارکنان به اتخاذ شیوه زندگی	برگزاری فعالیت های عمومی در طول سال (جشن دهه فجر، اعیاد مذهبی، مراسم تجلیل از کارمندان نمونه)	Recreational program for workforce	درونی
۴۷	میزان مشارکت در برنامه های اجتماعی	فعالیت های شرکت در جامعه	Cotribution in social programs	درونی
۴۸	رضایت مشتری	میزان وفاداری مشتریان به محصولات را نشان می دهد	Customer satisfaction	درونی
۴۹	پاسخ گویی مناسب به شکایات مشتریان	این متغیر پاسخ به شکایات مشتریان در طول روز را نشان می دهد	Appropriate response to customer complaint	درونی
۵۰	بهداشت و ایمنی کار	مجموع هزینه های که باعث ایجاد محیط بهداشتی و ایمن می شود	Health and safety at work	درونی
۵۱	قیمت مناسب	قیمت نهایی محصول را نشان می دهد	Viable price	درونی

۴.۴. صورت بندی مدل پویایی شناسی سیستم ها (نمودارهای علی)

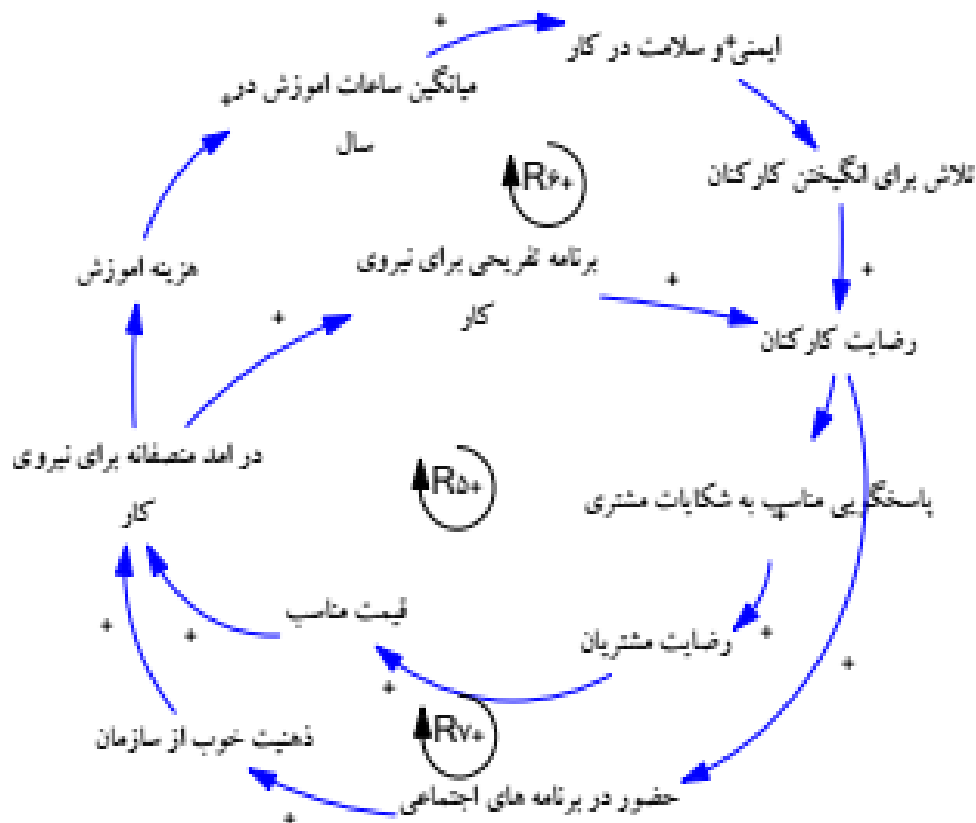
پس از تعیین متغیرهای مدل، در این مرحله با استفاده از مبانی نظری و نظر خبرگان به ترسیم روابط علی متغیرها پرداخته می شود. همان طور که در شکل ۲ نمودار علی بعد زیست محیطی نشان داده شده است وجود قوانین و مقررات زیستی باعث انتخاب تامین کنندگان براساس معیارهای زیست محیطی می شود، و از طرفی می تواند در انتخاب موقعیت جغرافیایی تامین کننده تاثیر داشته باشد، زمانی که موقعیت جغرافیایی کارخانه نزدیک با منابع اولیه باشد ارتباط مستقیم با عرضه کننده بیشتر می شود و این باعث کاهش اثرات زیست محیطی می شود و همچنین در بخش حمل و نقل مواد اولیه باعث کاهش مصرف سوخت فسیلی می شود و انتشار گازهای گلخانه ای کاهش می یابد. این فعالیت های در راستای محیط زیست باعث اخذ گواهی نامه های زیستی می شود. از طرف دیگر با اخذ گواهی نامه های زیستی، شرکت مجبور به پیگیری فعالیت های زیستی در سطح کارخانه و حتی بیرون کارخانه می شوند. با توجه به پیگیری های انجام داده در زمینه محیط زیست و فشار جامعه، به دنبال استفاده از فرایندهای تولید پاک می شوند که این فرایندها باعث کاهش مصرف آب و برق می شوند و از طرف دیگر شرکت برای دریافت گواهی نامه های زیست محیطی به توسعه فضای سبز در اطراف محیط کارخانه می پردازد. انتخاب تامین کنندگان براساس معیارهای زیست محیطی، باعث توسعه تامین کنندگان با کیفیت بالا می باشد در همین راستا، تامین منابع اولیه با کیفیت بالا، باعث می شود محصولاتی طراحی و تولید شوند که با محیط زیست سازگاری بیشتری دارند، که در الودگی محیط زیست نقش کمتری دارند و همچنین در تولید محصولات نیز مصرف سوخت های فسیلی کاهش می یابد. همچنین زمانی که در فرایند تولید از انرژی های پاک استفاده می شود، فرایند تولید با قوانین موجود در محیط

زیست سازگار بوده و این سازگاری با محیط زیست باعث می شود میزان انتشار گازهای گلخانه ای کاهش یابد.



شکل ۲. نمودار علت و معلولی بعد زیست محیطی

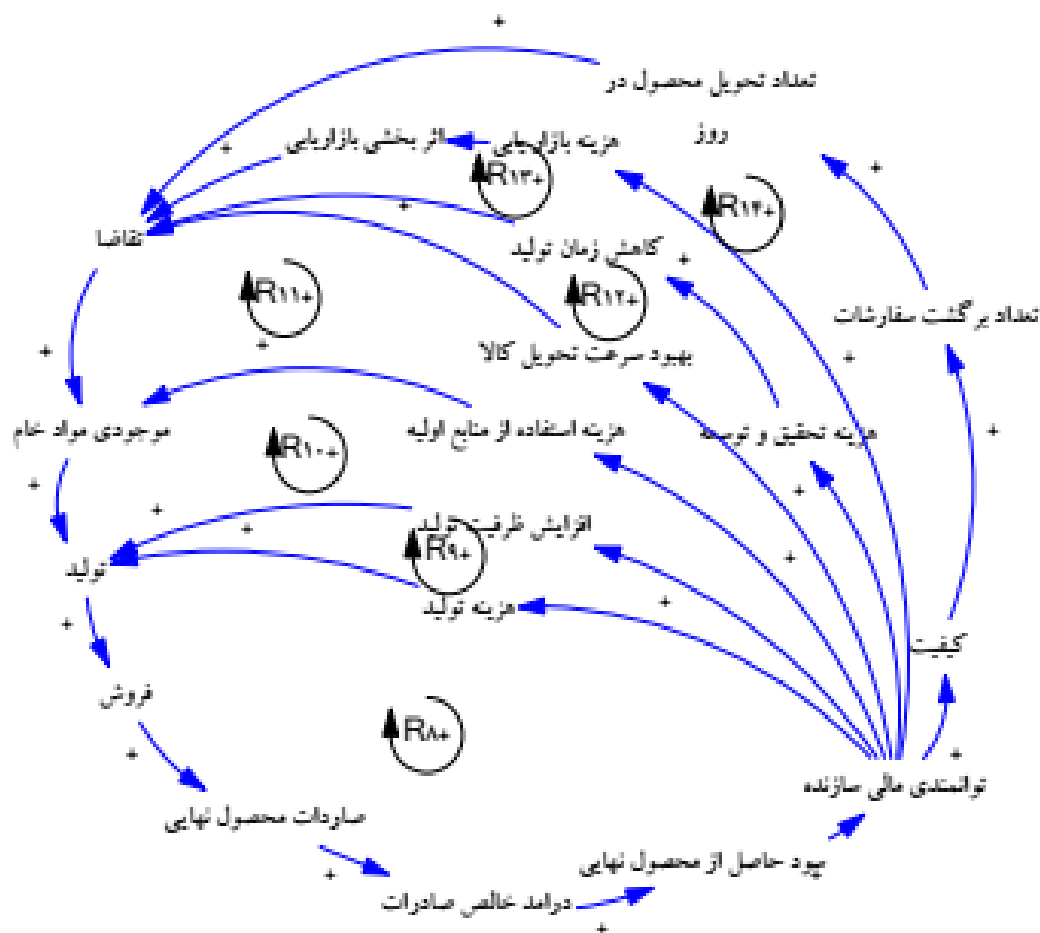
همان طور که در شکل ۳ نمودار علت و معلولی بعد اجتماعی نشان داده شده است با افزایش هزینه آموزش، و افزایش ساعات آموزش، میانگین ساعات آموزش در سال افزایش می یابد. با توجه با اینکه کارکنان آموزش های لازم در حین خدمت را یاد می گیرند میزان سلامت و ایمنی کارکنان افزایش می یابد و این عاملی می شود که کارکنان در انجام وظایفشان انگیزه بیشتری داشته باشند و رضایت از محیط کار برای کارکنان افزایش یابد. با افزایش رضایت کارکنان، و با انگیزه بودن کارکنان، میزان پاسخ گویی به مشتریان افزایش می یابد، که این افزایش باعث می شود رضایت مشتریان نیز از کارخانه بیشتر شود. زمانی که رضایت مشتریان از کارخانه بیشتر می شود، سیستم بازاریابی کارخانه برای حفظ مشتریان و همچنین به دست آوردن مشتریان بیشتر قیمت نهایی محصول را با توجه به سایر رقبا در این صنعت مناسب تر بقیه اعلام کرده یا تخفیفات ویژه ای را برای فروش در نظر می گیرد و باعث می شود درآمد نهایی کارخانه افزایش یابد و این افزایش درآمد برای کارخانه باعث می شود که میزان پرداختی به کارکنان بیشتر شود که این افزایش حقوق برای کارکنان و وجود برنامه های تفریحی رضایت کارکنان را افزایش می دهد. از طرفی با توجه به رضایت بالای کارکنان، میزان حضور شرکت در برنامه های اجتماعی بیشتر شده، که باعث می شود ذهنیت مناسبی از کارخانه در جامعه صورت گیرد.



شکل ۳. نمودار علت و معلولی بعد اجتماعی

همانطور که در شکل ۴ نمودار علت و معلولی بعد اقتصادی نشان داده شده است افزایش تقاضا محصول از طرف مشتریان باعث می‌شود تامین‌کننده مواد خام، مواد اولیه بیشتری تامین کند، در ازای تامین مواد اولیه و با توجه به تقاضای بالای مشتریان، تولید افزایش یابد. با توجه به افزایش تولید محصول نهایی، فروش افزایش می‌یابد و افزایش فروش، درآمد حاصل از فروش را افزایش می‌دهد، از طرف دیگر با توجه به افزایش تولید و تقاضای خارجی، صادرات محصول نیز افزایش می‌یابد و افزایش صادرات، درآمد حاصل از آن را افزایش می‌دهد و در نهایت در آمد فروش افزایش می‌یابد که این افزایش، سود نهایی محصولات را افزایش می‌دهد. با توجه به افزایش سود نهایی از فروش و صادرات محصول نهایی به دست می‌آید، توانایی مالی تولیدکننده افزایش می‌یابد. این افزایش توانمندی تولیدکننده، باعث می‌شود، که در هزینه‌های تولید، از جمله خرید دستگاه‌های بروز، گسترش دستگاه‌ها، استخدام نیروهای ماهر و ... تولید افزایش یابد. توانمندی مالی تولیدکننده، با توجه به خرید دستگاه‌های تولیدی جدید، ظرفیت تولیدی نیز افزایش یابد، که به نوبه خود باعث افزایش تولید می‌شود. از طرفی زمانی که شرکت دارای توانایی مالی بالایی باشد، در بخش تهیه مواد اولیه برای تولید نیز بیشتر می‌تواند هزینه کند که این هزینه باعث افزایش موجودی مواد اولیه می‌شود که در افزایش تولید نیز موثر می‌باشد، همچنین می‌تواند در بحث تحقیق و توسعه نیز سرمایه‌گذاری بیشتری انجام دهد، که بتواند زمان تولید محصول را کاهش داده و نسبت به سایر رقبا در تامین منابع نهایی نیز موفق‌تر عمل کرده و بتواند تقاضای بیشتری را به خود جلب کند. افزایش توانمندی مالی، باعث سرمایه‌گذاری در بخش بازاریابی می‌شود که با افزایش تقاضا از محصول این هزینه به درآمد برای شرکت تبدیل می‌شود. زمانی که شرکت با توجه به توانایی مالی سعی در افزایش کیفیت کالا با توجه به خرید منابع اولیه

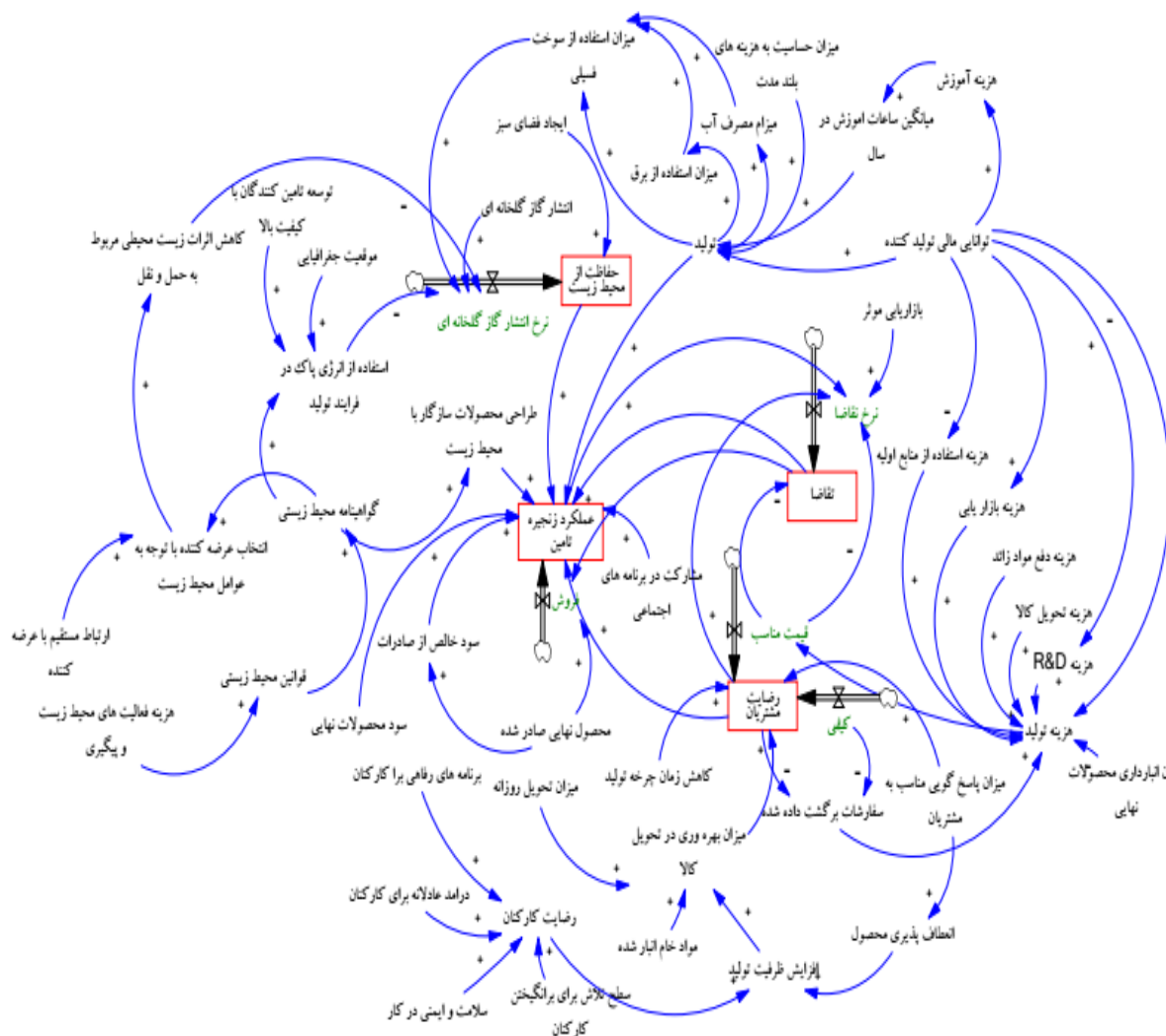
مناسب کند، کیفیت محصولات افزایش پیدا می کند و این افزایش با عث می شود تعداد برگشت محصول در طول روز کاهش یابد و از طرفی، تعداد تحویل کالا افزایش یابد که در کل باعث افزایش تقاضا می شود و این روند توضیح داده شده یک روند تقویت کننده بوده و در جهت تقویت یکدیگر، با هم ارتباط دارند.



شکل ۴. نمودار علت و معلولی بعد اقتصادی

۵.۴. صورت بندی مدل پویایی شناسی سیستم ها (نمودار انباشت جریان)

پس از توضیح روابط بین متغیرها در قالب نمودارهای علت و معلولی، نمودار انباشت جریان مدل ارزیابی پایداری زنجیره تامین در قالب شکل ۵ طراحی و نشان داده شده است که بر اساس آن در ادامه به نتایج شبیه سازی متغیرها پرداخته می شود. در این نمودار روابط ریاضی بین متغیرها بر اساس روابط علی بخش قبل با استفاده از مبانی نظری و داده های موجود بر اساس افق زمانی تعیین شده محاسبه شده است. لازم به توضیح است که در مواردی که رابطه ریاضی مشخصی بین متغیرهای علت و معلول وجود ندارد از تابع لوکاپ در ونسیم استفاده می شود.



همانطور که در شکل ۵ مشخص است در این مدل چهار متغیر حالت در نظر گرفته شده است: تقاضا، رضایت مشتری، مراقبتهای زیست محیطی و عملکرد زنجیره تامین که در واقع متغیر اصلی مورد بررسی این تحقیق نیز همان عملکرد زنجیره تامین پایدار است. درآمد منصفانه برای نیروی کار، اهمیت و رعایت ایمنی و سلامت آنها، تلاش برای تحریک آنها به تلاش و برنامه های تفریحی برای نیروی کار از جمله مواردی هستند که میتوانند رضایت آنها را افزایش دهند؛ نیروی کار راضی با احساس مسئولیتی که از این رضایت نشئت گرفته با دلسوزی و سرعت بیشتری کار میکند تا ظرفیت تولید را بالا ببرد. هرچند که انعطاف پذیری تولید نیز در این میان دخیل است. افزایش ظرفیت تولید به معنی محصول نهایی بیشتر و در نتیجه پاسخگویی سریعتر به بازار است که در واقع سرعت ارسال محصول به مصرف کننده را افزایش داده است. این کاهش زمان انتظار برای دریافت محصول، رضایت مشتری را افزایش میدهد. افزایش رضایت مشتری تعداد مرجوعی کالا را کاهش میدهد و در نتیجه هزینه را کم میکند. کاهش هزینه میتواند به کاهش قیمت کمک کند و دوباره رضایت مشتری را جلب نماید. افزایش رضایت مشتری بر میزان تقاضا موثر است و میتواند باعث ثبات یا رشد آن شود. ثبات (یا افزایش)

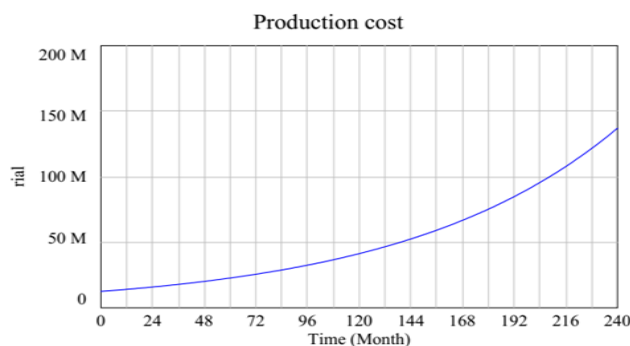
تقاضا بر عملکرد زنجیره تامین پایدار موثر است. عواملی مانند هزینه منابع اولیه، هزینه بازاریابی، هزینه دفع مواد زائد، هزینه ارسال و هزینه تحقیق و توسعه، هزینه تولید را ایجاد میکنند. هزینه تولید نیز قیمت فروش را مشخص میکند که مستقیماً بر سطح رضایت مشتری موثر است. از طرف دیگر بازاریابی موثر، نوسانات قیمت، رضایت مشتری و عملکرد زنجیره بر نرخ تقاضا اثر گذارند تا میزان تقاضا را تعیین نموده و نوع عملکرد را مشخص کنند. ارتباط مستقیم با تامین کنندگان و شناخت بیشتر آنها باعث میشود که زنجیره قادر به انتخاب تامین کننده مناسب با سازگاری بالاتر با فاکتورهای زیست محیطی شود. تامین کننده سبز بر کاهش اثرات زیست محیطی حمل و نقل اثر میگذارد و آن نیز قاعدتاً بر میزان انتشار گازهای گلخانه ای. تعیین گواهی نامه های زیست محیطی و عمل به آنها میتواند بازیگران زنجیره را وادار به استفاده از انرژی های پاک در فرایند تولید نماید و در نهایت به کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای منجر شود و اصل حفاظت از محیط زیست در یک زنجیره تامین پایدار را عملی نماید. حفاظت از محیط زیست، تقاضا و رضایت مشتری که هر کدام به صورت متغیرهای حالت با مجموعه متغیرهای تاثیر گذار مجزا هستند، بر عملکرد زنجیره تامین اثر میگذارند. در این مدل، متغیر حالت حفاظت از محیط زیست با متغیر نرخ میزان انتشار گازهای گلخانه ای، متغیر حالت تقاضا با متغیر نرخ تقاضا، متغیر حالت رضایت مشتری با متغیر نرخ نوسانات قیمت و کیفیت و متغیر حالت عملکرد زنجیره تامین با متغیر نرخ فروش در ارتباط مستقیم هستند.

۶.۴. شبیه سازی مدل

با توجه به تعداد زیاد متغیرهای مدل و عدم امکان نمایش خروجی همه متغیرها، در این بخش نتایج برخی از شاخص های مهم با توجه به نظر خبرگان پرداخته شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی شاخص های اقتصادی در ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. نمودار شبیه سازی متغیر میزان تحویل کالا در روز



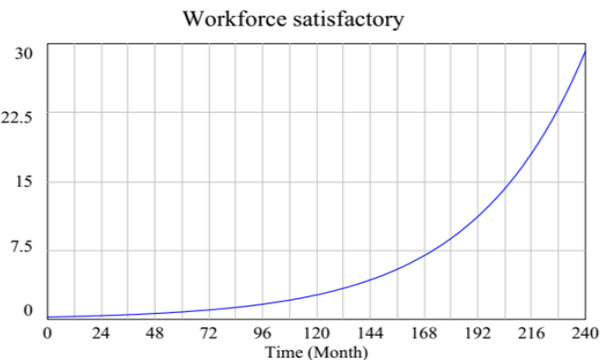
شکل ۶. نمودار شبیه سازی متغیر هزینه تولید

با توجه به نتایج شبیه سازی، شاخص های هزینه تولید و میزان تحویل کالا مورد بررسی قرار گرفته شد. با توجه به روند صعود هزینه های تولید، به طور واضح بیان می کند که روند افزایش قیمت در سال های آینده نیز وجود دارد و هزینه های تولید (منابع اولیه، سوخت، نیروی انسانی، تعمیرات و نگهداری و...) در حال افزایش می باشد. میزان تحویل کالا در روز نیز با توجه به افزایش تولید با یک شیب ملایم در حال افزایش خواهد بود.

در بررسی شاخص‌های اجتماعی و زیست محیطی با توجه به شکل‌های ۸ و ۹، متغیر قیمت در حال افزایش می‌باشد. از طرف دیگر، با افزایش قیمت نهایی محصول و توانمندی شرکت در مدیریت منابع انسانی و همچنین برگزاری کلاس‌های آموزش ایمنی و بهداشت و سلامت، و همچنین ایجاد امکانات رفاهی میزان رضایت کارکنان از شرکت روند افزایشی رو به رشدی دارد.

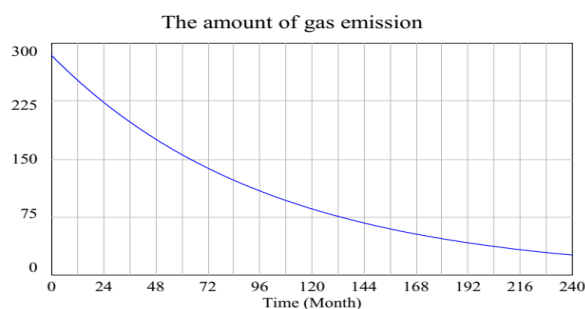


شکل ۹. نمودار شبیه سازی متغیر قیمت مناسب

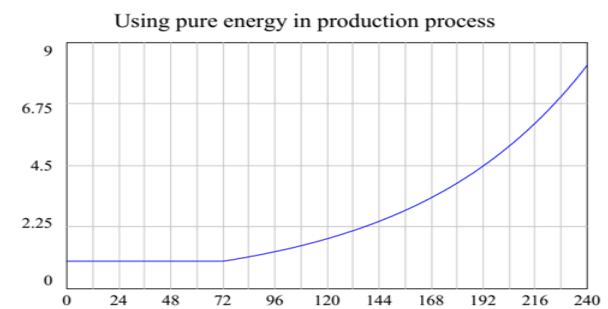


شکل ۸. نمودار شبیه سازی متغیر رضایت کارکنان

با توجه شکل‌های ۱۰ و ۱۱ توانایی مالی بالای شرکت، روند استفاده از انرژی پاک در فرایند تولید و بخصوص تامین برق مصرفی در حال افزایش می‌باشد. همچنین در پی افزایش استفاده از انرژی‌های پاک در تولید محصولات و افزایش فضای سبز و همچنین استفاده از فیلترهای به روز، میزان انتشار گاز گلخانه‌ای روند کاهشی چشمگیری دارد به صورتی که میزان انتشار آلاینده‌ها در هوا به ۰/۰۵ میلی متر مکعب در تن کاهش یافته است که این روند را نمودار به خوبی نشان می‌دهد. با توجه به فعالیت‌های بسیار گسترده شرکت در حفظ محیط‌زیست و هزینه‌های که در این زمینه پرداخته است جز چند شرکت برتر در کاهش میزان آلودگی‌های محیط‌زیستی در کشور بوده و گواهی‌نامه‌های معتبر داخلی و خارجی بسیار زیادی دریافت کرده است.

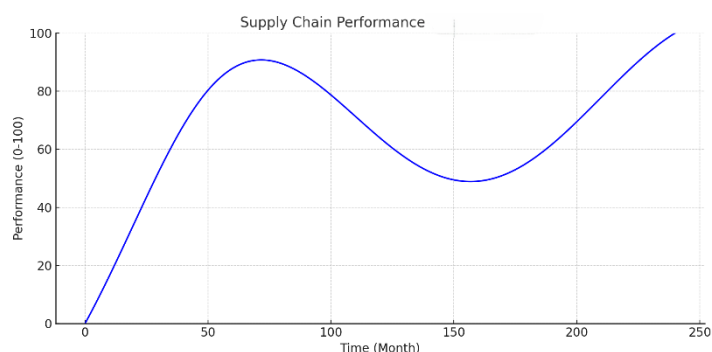


شکل ۱۱. نمودار شبیه سازی متغیر میزان انتشار گاز گلخانه‌ای



شکل ۱۰. نمودار شبیه سازی متغیر استفاده از انرژی پاک فرایند تولید

در نهایت با توجه شکل ۱۲، می‌توان گفت که شرکت در حوزه ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار، جزء یکی از شرکت‌های موفق در صنعت تولیدی ایران بوده و می‌تواند و روند حرکتی نمودار زیر این صحت گفتار را تایید می‌کند. روند حرکت به سمت توسعه پایدار یک روند چشمگیر بوده که دلیل آن، توجه بالا به موضوع توسعه پایدار، فشارهای جامعه و وجود قوانین و مقررات برای اجرای توسعه پایدار می‌باشد و بعد از سال‌های ۹۸ به بعد روند حرکت به سمت توسعه پایدار یک روند افزایشی با سرعت کم است که این هم به این دلیل است که شرکت در بحث پایداری به یک سطح قابل قبولی رسیده است.



شکل ۱۲. نمودار شبیه سازی پایداری زنجیره تامین

۷.۴. اعتبار سنجی مدل

جهت اعتبار سنجی مدل مقادیر در مرحله اول از درصد خطای مجذورات ($RMSPE$)، ضریب نابرابری (UT) و خطاهای مبنا، انحراف و نابرابری کوواریانس برای متغیرهای کلیدی مدل مطابق جدول ۲ محاسبه شده است. این شاخص ها تفاوت بین نتایج واقعی و شبیه سازی مدل را نشان می دهند. نتایج این شاخص ها نشان از تفاوت کم بین داده های واقعی و نتایج شبیه سازی و اعتبار مدل می باشد.

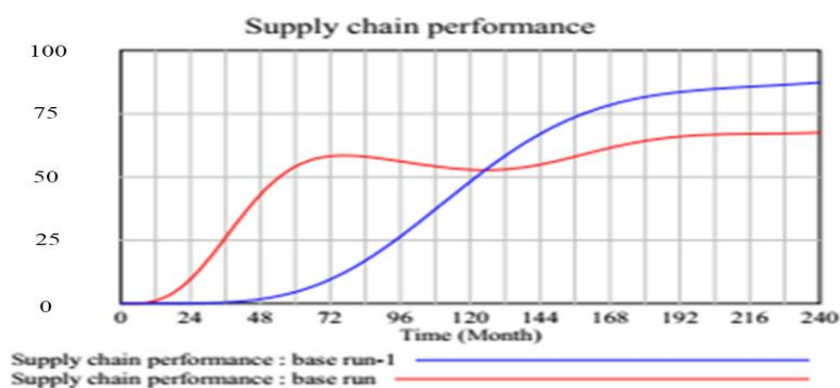
جدول ۲. محاسبه میزان خطای متغیرهای کلیدی

محاسبه ریشه های خطا			شاخص نابرابری UT	درصد حداقل خطای مجذورات ($RMSPE$)	شاخص از مون متغیر
U_c	U_s	U_m			
۰/۹۷۳	۰/۰۲۴	۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	۹/۲۵	هزینه تولید
۰/۵۰۳	۰/۱۳۳	۰/۳۶۵	۰/۰۴۷	۸/۲۵	تقاضا
۰/۵۳۱	۰/۰۱۶	۰/۴۵۳	۰/۰۴	۹/۳۲	هزینه های پیگیری فعالیت های زیستی
۰/۱۲۲	۰/۱۲	۰/۷۵۸	۰/۰۵۴	۱۵/۱۶	مصرف سوخت فسیلی
۰/۴۱۲	۰/۳۱۱	۰/۲۷۷	۰/۱۴۸	۱۵/۱۴	هزینه آموزش
۰/۹۱۰	۰/۰۶۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۸/۲۱	میزان مشارکت در برنامه های اجتماعی

۸.۴. ارائه سیاست ها

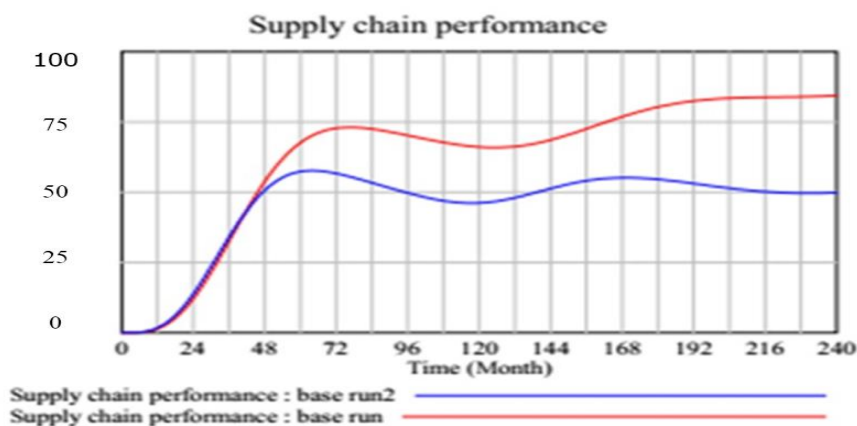
پس از بررسی نتایج آنالیز متغیرهای مختلف و تحلیل اثرگذاری آنها بر روی متغیر اصلی در بازه های زمانی موردنظر، شاخصهای تأثیرگذار و تعیین کننده بر عملکرد زنجیره تامین پایدار شناسایی شده و تصمیم گیرنده را قادر به برگزیدن سناریوهای به منظور دستیابی به استراتژیهای کارآمد می نماید. در این تحقیق دو سیاست خوش بینانه و بدبینانه به صورت ترکیبی با استفاده از نظر خبرگان و مدل طراحی شده، در نظر گرفته شده است. سیاست خوشبینانه، بر اساس این ادراک می باشد که اوضاع فعلی بهبود یافته و تقاضا برای محصولات افزایش می یابد و به طبع تولید افزایش یافته و درآمد شرکت نیز افزایش می یابد. با افزایش درآمد توان مالی شرکت نیز افزایش می یابد و شرکت قادر به سرمایه گذاری در بخش های زیست محیطی و اجتماعی می شود. در شکل ۱۳ نمودار قرمز روند فعلی بدون اجرای سیاست و منحنی آبی روند عملکرد پایداری را پس از اجرای سیاست نشان می دهد. با اجرای این سیاست، روند عملکرد پایداری زنجیره تامین از روند فعلی

پیشی خواهد گرفت و در واقع باعث پایداری بیشتر زنجیره تامین خواهد شد. بر اساس شکل زیر مقدار پایداری در انتهای دوره شبیه سازی به بیش از ۸۰٪ می‌رسد.



شکل ۱۳. نمودار عملکرد زنجیره تامین در صورت اجرای سیاست اول

بر اساس سیاست بدبینانه که نتیجه آن در شکل ۱۴ نشان داده شده است تقاضا برای محصولات نسبت به روند فعلی با شیب کمتری افزایش خواهد یافت و بر اساس روابط علی باعث افزایش کمتر در آمد شرکت خواهد شد. به همین دلیل شرکت توانایی مالی برای اینکه در بخش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی سرمایه‌گذاری کند به میزان قابل توجهی کاهش یافته و حتی توانایی اینکه روند حرکتی فعلی را ادامه دهد نیز ندارد. همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده در صورت تحقق این سناریو، عملکرد پایداری زنجیره تامین شرکت در انتهای دوره شبیه سازی به کمتر از ۵۰٪ خواهد رسید.



شکل ۱۴. عملکرد زنجیره تامین در صورت اجرای سیاست دوم

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، عملکرد زنجیره تامین پایدار شرکت فولاد کاوه کیش با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. این رویکرد امکان تحلیل پویای عملکرد شرکت را در افق زمانی بلندمدت فراهم می‌سازد که از جمله مزایای مهم آن نسبت به سایر روش‌های ارزیابی است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که شرکت فولاد کاوه کیش از جمله صنایع فعال در حوزه توسعه پایدار محسوب می‌شود. با توجه به روند فعلی بازار و پیش‌بینی افزایش تقاضا در سال‌های آتی، استفاده بیشتر از منابع طبیعی، افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. از این رو، شرکت تصمیم گرفته است در زمینه‌هایی که بر پایداری تأثیر گذار هستند، سرمایه‌گذاری نماید. این زمینه‌ها شامل افزایش بودجه تحقیق و توسعه،

کاهش سطح انبارداری، افزایش ظرفیت تولید، توسعه شبکه تأمین کنندگان با کیفیت، کاهش مصرف سوخت، ارتقاء برنامه‌های رفاهی کارکنان، استفاده از تجهیزات تولیدی مدرن و موارد مشابه است. هدف از این اقدامات، بهبود عملکرد پایداری شرکت در سه بُعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. در بُعد اجتماعی، افزایش ساعات آموزشی کارکنان در زمینه‌های ایمنی و حفاظت از محیط‌زیست پیشنهاد می‌شود تا این مفاهیم به عنوان اصول بنیادین در فعالیت‌های کارخانه نهادینه شوند. در بُعد اقتصادی نیز، توسعه بازارهای مصرف، به‌روزرسانی خطوط تولید و استفاده از تجهیزات پیشرفته باید در دستور کار قرار گیرد تا ضمن پاسخگویی به نیاز مشتریان، عملکرد اقتصادی شرکت بهبود یابد. همچنین جهت افزایش صادرات شرکت، بازاریابی مؤثر می‌تواند موجب بهبود عملکرد صادرات و در نتیجه افزایش درآمد شرکت شود. این درآمد می‌تواند در جهت سرمایه‌گذاری مجدد در ابعاد سه‌گانه پایداری مورد استفاده قرار گیرد و عملکرد پایداری شرکت را ارتقا دهد.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع ندارم.

ORCID

Mohammad Ghafournia  <https://orcid.org/0009-0002-4996-9819>

منابع

- الفت، لعیا، و مزروعی، اسماعیل. (۱۳۹۴). مدلی برای سنجش پایداری زنجیره تأمین: مطالعه موردی صنعت فرش ماشینی ایران. *فصلنامه علوم مدیریت ایران*، ۳۳.
- بخشی‌زاده برج، ک.، حمزوی، ح.، و جمالی، م. (۱۴۰۳). شناسایی و اولویت‌بندی پیشران‌های بهینه‌سازی زنجیره ارزش پایدار صنعت پتروشیمی ایران با رویکرد آینده‌نگاری راهبردی. *مدیریت زنجیره ارزش راهبردی*، ۱(۳)، ۱-۲۶. https://svcm.semnan.ac.ir/article_9565.html
- فیض‌آبادی، جواد و جعفرنژاد، احمد. (۱۳۸۵). ارائه یک چارچوب مفهومی برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین با تأکید بر یکپارچگی. *فصلنامه مدیریت دانش*، ۶۸.
- قاسمی، احمدرضا، رعیت‌پیشه، محمد علی و عزیزی، جواد. (۱۳۹۴). زنجیره تأمین پایدار. تهران: انتشارات نگاه دانش.
- کامیابی، محمود، جعفرزاده افشاری، احمد، و هرسج، فاطمه. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد تأمین کنندگان پایدار با استفاده از DEA فازی با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی: مطالعه موردی شرکت ایران خودرو. *کنفرانس بین‌المللی مدیریت و حسابداری*، تهران: مؤسسه آموزش عالی نیکان.
- تیموری، ابراهیم، نورعلی، علیرضا، و ولیزاده، نریمان. (۱۳۹۳). پویایی‌شناسی سیستم‌ها: رویکرد کاربردی برای مسائل مدیریتی. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

References

- Ahi, P., & Searcy, C. (2015). An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 86, 360–377.
- Alsaleh, T., & Farooq, B. (2024). Simulation models for sustainable, resilient, and optimized global electric vehicles supply chain. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2409.06004>
- Bastas, A., & Liyanage, K. (2018). Sustainable supply chain quality management: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 181, 726–744.
- Banaeian, N., Mobli, H., & Ahmadi, M. (2024). A system dynamics-based approach for evaluating resilient and sustainable supply chain strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 189, 109036.

- Barbosa-Póvoa, A. P., da Silva, C., & Carvalho, A. (2017). Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective. *European Journal of Operational Research*. (In press)
- Bititci, U., Garengo, P., Dörfler, V., & Mendibil, K. (2009). Performance measurement: Questions for tomorrow. In *Advanced Production Management Systems*.
- Clift, R. (2004). Metrics for supply chain sustainability. In S. K. Sikdar, P. Glavič, & R. Jain (Eds.), *Technological Choices for Sustainability* (pp. xx-xx). Springer.
- Amrina, E., & Vilsa, A. L. (2015). Key performance indicators for sustainable manufacturing evaluation in cement industry. *Procedia CIRP*, 26, 19-23.
- Hahn, T., Pinkse, J., Preuss, L., & Figge, F. (2015). Tensions in corporate sustainability: Towards an integrative framework. *Journal of Business Ethics*, 127(2), 316.
- Hasan, M. R. (2024). AI-enhanced decision-making for sustainable supply chains: Reducing carbon footprints in the USA. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2501.10364>
- Lee, J., & Chang, R. (2025). *System dynamics modeling for sustainability assessment in global supply chains*. *Sustainability*, 17(2), 645.
- Mousavi, S. M., & Seuring, S. (2025). Social sustainability in supply chains: A system dynamics approach. *International Journal of Production Economics*, 263, 108977.
- Niu, H., & Wang, S. (2024). System dynamics-based evaluation of carbon mitigation strategies in the cement supply chain. *Journal of Environmental Management*, 338, 117807.
- Pugh, R. (1998). *The executive training system*. Cambridge, MA: Pugh-Roberts Associates.
- Rajeev, A., Pati, R. K., Padhi, S. S., & Govindan, K. (2017). Evolution of sustainability in supply chain management: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 162, 299-314.
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill.
- Yakovleva, N., Sarkis, J., & Sloan, T. (2010). Sustainability indicators for the food supply chain. In *Environmental assessment and management in the food industry: Life Cycle Assessment and related approaches* (pp. 297-329). Woodhead Publishing.
- Zhang, Y., Liu, H., & Chen, J. (2025). Dynamic assessment of green supply chain practices using system dynamics: Evidence from manufacturing industry. *Resources, Conservation & Recycling*, 198, 107284.

References [In Persian]

- Bakhshi Zadeh Boruj, K., Hamzavi, H., & Jamali, M. (2025). Identifying and prioritizing drivers for optimizing the sustainable value chain of Iran's petrochemical industry with a strategic foresight approach. *Strategic Value Chain Management*, 1(3), 1-26.
https://svcm.semnan.ac.ir/article_9565.html
- Olfat, L., & Mazrooei, I. (2015). A model for measuring supply chain sustainability: Case study of Iran's machine carpet industry. *Iranian Journal of Management Sciences*, (33).
- Feyzabadi, J. J., & Jafarnejad, A. (2005). A conceptual framework for supply chain performance evaluation with emphasis on integrity. *Knowledge Management Journal*, (68).
- Ghasemi, A. R., Azizi, J., & Rastalpeshah, M. A. (2015). *Sustainable supply chain*. Tehran: Shah Knowledge Publishing.
- Kamyabi, M., Jafarzadeh Afshari, A., & Harsaj, F. (2016). Evaluation of sustainable suppliers' performance using fuzzy DEA considering economic and environmental criteria: Case study of Iran Khodro Co. International Management and Accounting Conference, Tehran, Nikan Institute of Higher Education.
- Teymouri, E., Noraali, A., & Valizadeh, N. (2014). *System dynamics: Applied approach for management issues*. Tehran: University of Science and Technology Publishing.