



Improvement Strategies in the Water and Wastewater Industry: Dynamic Modeling and Performance Management

Nahid Foroughi 

Ph.D. Candidate in Industrial Management, Management Department, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran

Keikhosro Yakideh *

Associate Prof., Management Department, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran

Salim Karimi Takalo 

Assistant Prof., Management Department, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran

**Mohammad Rahim
Ramazanian** 

Associate Prof., Management Department, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran

Abstract

This study investigated the impact of improvement strategies on key performance indicators in the water and wastewater sector using a system dynamics approach. The main objective was to develop models for simulating the complex interactions between strategies and performance variables to enhance sustainability and performance management. Performance indicators were categorized as input indicators (including accounts receivable period, per-capita subscriber debt, non-revenue water, and labor cost share of sales) and output indicators (such as asset turnover ratio, per-capita subscriber coverage, market growth, and employee professionalism). Based on the literature, policy documents, company reports, and expert opinions, 14 improvement strategies were identified and incorporated into two

* Corresponding Author: m.moradi@guilan.ac.ir

How to Cite: Foroughi, N., Yakideh, K., Karimi Takalo, S., Ramazanian, M. R. (2025). Improvement Strategies in the Water and Wastewater Industry: Dynamic Modeling and Performance Management, *Industrial Management Studies*, 23(77), 175-236.

system dynamics models. Results indicated that implementing these strategies reduced accounts receivable periods and labor costs while improving asset turnover, service coverage, market growth, and employee skills. These findings demonstrate that system dynamics modeling is an effective tool for strategic decision-making and performance improvement in the water and wastewater sector.

Introduction

With the increasing complexity and rapid changes in competitive environments, organizations require innovative approaches to enhance performance and achieve sustainable competitive advantage. Performance management is a fundamental approach that, in addition to evaluation, encompasses continuous feedback, goal setting, training, and incentive systems (Aguinis & Pierce, 2008). Prior research has emphasized that analyzing causal relationships and dynamic interactions within organizations, particularly under multi-factor conditions, can enhance decision-making (Tseng & Levy, 2019). In this context, systems thinking and simulation models have gained importance as tools for predicting policy impacts and designing improvement strategies (Shafiee et al., 2021; Eidin et al., 2024). Nevertheless, many studies have primarily focused on ranking and benchmarking performance rather than addressing operational interventions (Kameli et al., 2023). In the Iranian water and wastewater sector, limited resources and deteriorating infrastructure further highlight the necessity of adopting advanced analytical approaches (Hejazi et al., 2024). Accordingly, this study applies system dynamics modeling to examine how improvement strategies influence key input and output indicators in the water and wastewater sector, while providing a framework for enhancing sustainability and supporting strategic decision-making.

Literature Review

The system dynamics approach, introduced by Forrester (1961), is a framework grounded in systems science and computer-based simulation that enables the analysis of complex system behavior and the prediction of long-term policy effects. Features such as feedback loops, stocks and flows, nonlinear relationships, and mutual interactions make it an effective tool for modeling organizational and infrastructural systems (Mustafee et al., 2010; Mielczarek, 2016).

Numerous studies have demonstrated that system dynamics is an effective method for performance analysis and strategic decision-making, including in wastewater network asset management, automotive supply chains, urban and water resource management, and complex projects (Mohammadifardi et al., 2019; Norouzian-Maleki et al., 2022; Calderon-Tellez et al., 2024). However, most studies have focused only on partial analyses of performance indicators, and integrated evaluations of multiple strategies and both input and output indicators remain scarce. In the water and wastewater sector, the development of separate models for resource-related input indicators and performance-related output indicators, along with the simulation of their interactions, remains limited. The present study addresses this gap by introducing two distinct models and analyzing the combined effects of improvement strategies, thereby providing an innovative and context-specific framework for comprehensive performance assessment in this sector.

Methodology

This descriptive-analytical study employed a system dynamics approach to examine the long-term effects of 14 improvement strategies on key performance indicators in water and wastewater companies. Eight input indicators (accounts receivable period, per-capita subscriber debt, non-revenue water, and labor cost share) and output indicators (asset turnover ratio, per-capita subscriber coverage, market growth, and employee professionalism) were identified based on the literature and expert opinions. Two system dynamics models were developed, encompassing financial, operational, and human resource subsystems. Reinforcing loops represented the positive effects of network expansion, reduction of non-revenue water, and employee motivation, while balancing loops captured the moderating effects of accounts receivable management and constraints associated with sales growth. These models enabled the simulation of improvement scenarios and the identification of key leverage points affecting system performance.

Results

Using Sterman's five-step modeling process (2000), input and output system dynamics models were simulated for the selected indicators. Variable relationships were established based on financial data, industry standards, water and wastewater regulations, and the opinions

of ten experts to evaluate the long-term effects of improvement strategies on key company performance metrics.

Structural and behavioral tests confirmed the validity of the models, and sensitivity analysis showed that the provincial pricing coefficient had the greatest impact on net sales, with a $\pm 20\%$ change resulting in approximately a 20% change in sales. In contrast, other key parameters, such as the conversion rate of unauthorized connections and government funding allocation, had minimal effects (less than 0.1%) on the growth rate of service units. These results indicate that the models are stable with respect to input variations, with the primary sensitivity associated with pricing policies.

Eight scenarios were developed: four aimed at improving operational efficiency and reducing financial constraints, and four targeting productivity enhancement and market growth. Simulation of the input model showed that the simultaneous implementation of incentive/punitive strategies, private sector involvement, and network expansion reduced accounts receivable issues, controlled resource losses, and optimized labor costs. The output model demonstrated that a combination of developmental actions, tariff adjustments, and human resource empowerment improved asset productivity and service coverage, stabilized market growth, and enhanced employee skills and expertise. Overall, the results indicate that the coordinated and targeted application of strategies creates an optimal balance between short-term efficiency, financial sustainability, and long-term development. The developed models provide water and wastewater managers with a systematic tool to support strategic decision-making and evaluate long-term impacts.

Discussion

This study demonstrated that, through system dynamics modeling, the simultaneous interaction of managerial, financial, and infrastructure strategies significantly affects the efficiency and sustainability of water and wastewater companies. Separating input and output indicators and designing distinct models enabled the analysis of the combined effects of 14 improvement strategies, showing that enhancements in accounts receivable management, reduction of resource losses, and optimization of labor costs were accompanied by increased asset productivity, network expansion, and improved employee skills. The results confirmed that a combination of incentive-based strategies, financing

of smart technologies, and infrastructure development can effectively balance short-term objectives with long-term goals. Financial resource constraints and external factors, such as inflation and demand fluctuations, emphasize the importance of active management and complementary policies. Overall, the findings indicate that successful management in these companies requires an integrated and synergistic approach across human capital, financial structure, and infrastructure.

Conclusion


This study confirmed the effectiveness of the system dynamics approach in analyzing and predicting the long-term effects of improvement strategies in water and wastewater companies. The developed models, by simulating the complex interactions among 14 strategies and key performance indicators, enable evidence-based decision-making with a systems perspective. The results showed that a combination of managerial actions, infrastructure development, and human capital empowerment not only enhances operational efficiency but also strengthens financial sustainability and service accessibility. This study recommends that companies focus on integrated strategies and continuous performance monitoring, while future research should consider the impact of external factors such as climate change and emerging technologies in future models. Overall, this study offers a practical and context-specific framework for comprehensive performance improvement in water and wastewater companies.

Keywords: System Dynamics, Simulation, Performance Indicators, Improvement Strategies, Performance Management




استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد


دانشجوی دکتری رشته مدیریت صنعتی، گروه مدیریت،
دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

ناهد فروری 


دانشیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه
گیلان، رشت، ایران

محمود مرادی *

استادیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه
گیلان، رشت، ایران

کیخسرو یاکیده 

دانشیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه
گیلان، رشت، ایران

محمد رحیم رمضانیان 

چکیده

این پژوهش به بررسی تأثیر استراتژی‌های بهبود بر شاخص‌های کلیدی عملکرد در صنعت آب و فاضلاب با بهره‌گیری از رویکرد پویایی سیستم پرداخت. هدف اصلی مطالعه، توسعه مدل‌هایی جامع برای شبیه‌سازی روابط پیچیده و تعاملات میان استراتژی‌ها و متغیرهای عملکردی با هدف ارتقای پایداری و مدیریت عملکرد بود. شاخص‌های عملکرد به دو دسته ورودی (شامل دوره وصول مطالبات، سرانه بدهی آحاد مشترکین، آب به حساب نیامده و سهم هزینه نیروی کار به فروش) و خروجی (شامل نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین، رشد بازار آب و فاضلاب و درجه حرفه‌ای کارکنان) تقسیم شدند. بر اساس ادبیات پیشین، اسناد بالادستی، گزارش‌های شرکت‌های آب و فاضلاب و نظرات خبرگان، ۱۴ استراتژی بهبود برای ارتقای عملکرد شناسایی و تبیین گردید. سپس دو مدل پویایی سیستم برای تحلیل این شاخص‌ها طراحی و توابع ریاضی مرتبط با هر متغیر تعریف شد. شبیه‌سازی سناریوهای تدوینی نشان داد که

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته مدیریت صنعتی دانشگاه گیلان است.

* نویسنده مسئول: m.moradi@guilan.ac.ir

استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد؛ فروغی و همکاران | ۱۸۱

اعمال استراتژی‌ها، به کاهش دوره وصول مطالبات و سهم هزینه نیروی کار به فروش و همچنین بهبود نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشتریان، رشد بازار و ارتقای درجه حرفه‌ای کارکنان منجر شده است. این پژوهش ابزاری کارآمد برای تحلیل سیستماتیک عملکرد و تصمیم‌گیری استراتژیک در صنعت آب و فاضلاب ارائه نمود.

کلیدواژه‌ها: پویایی سیستم، شبیه‌سازی، شاخص‌های عملکردی، استراتژی‌های بهبود، مدیریت عملکرد.



مقدمه

با تغییرات سریع و پیچیدگی‌های روزافزون در محیط‌های رقابتی و عملیاتی، سازمان‌ها به دنبال راهکارهایی برای ارتقای عملکرد و کسب مزیت رقابتی هستند. مدیریت عملکرد یکی از رویکردهای اساسی در این مسیر است که به سازمان‌ها در پایش اهداف و تخصیص بهینه منابع یاری می‌رساند. طراحی چارچوب‌های مفهومی پویا با شناسایی متغیرهای کلیدی و درک روابط علی میان عوامل عملکرد می‌تواند به بهبود در تصمیم‌گیری و تقویت سیستم‌های مدیریت عملکرد منجر گردد (Oladimeji et al., 2021). مدیریت عملکرد شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌ها، خط‌مشی‌ها و مداخلاتی است که باهدف ارتقای عملکرد کارکنان و همسویی با اهداف استراتژیک سازمان طراحی می‌شوند. این فرآیند از ارزیابی عملکرد آغاز می‌شود، اما به آن محدود نمی‌ماند و بازخورد مستمر، هدف‌گذاری، برنامه‌های آموزشی و نظام‌های پاداش را نیز در بر می‌گیرد (Aguinis & Pierce, 2008). با توجه به تأثیر مستقیم مدیریت عملکرد بر نتایج سازمانی، این رویکرد باید فراتر از ارزیابی‌های سنتی و دوره‌ای عمل کند و به‌صورت پویا و پیوسته طراحی شود. در این میان، تحلیل ساختارهای تعاملی در درون سازمان، به‌ویژه در شرایط پرچالش و چندعاملی، ضرورت می‌یابد (Tseng & Levy, 2019). از منظر تفکر سیستمی، مطالعات مفهومی جدید در حوزه سازمان‌های خدمات‌محور تأکید دارند که تصمیم‌گیری‌های سازمانی باید در بستر سیستم‌های تطبیق‌پذیر و مبتنی بر بازخورد مورد تحلیل قرار گیرد؛ به‌گونه‌ای که حلقه‌های علی، تأثیرات پیوسته تصمیمات گذشته را بر آینده منعکس کنند (Carrubbo et al., 2025).

مدل‌های شبیه‌سازی به‌عنوان ابزارهای تحلیلی، امکان پیش‌بینی تأثیر تغییرات در سیستم‌های موجود و ارزیابی عملکرد ساختارهای جدید را فراهم می‌کنند. رویکرد پویایی سیستم^۱ با ارائه دیدگاهی دینامیک و شبیه‌سازی اثرات تصمیمات بر آینده، تحلیل رفتار در سازمان را تسهیل می‌کند. این روش از طریق طراحی نمودارهای حلقه‌ای علی، مدلی پویا برای سنجش تأثیر سیاست‌های بهبود ارائه می‌دهد و بررسی هدفمند اثرات عملیاتی این

استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد؛ فروغی و همکاران | ۱۸۳

اقدامات بر شاخص‌های عملکردی را ممکن می‌سازد (Shafiee et al., 2021). پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که مدل‌های پویایی سیستم، توانایی تحلیل روابط پیچیده سازمانی و درک تغییرات بلندمدت را به‌طور قابل توجهی ارتقا می‌دهند (Eidin et al., 2024). با این حال، در بسیاری از مطالعات کاربردی، تمرکز صرفاً بر مقایسه عملکرد، رتبه‌بندی و هدف‌گذاری بوده و اقدامات عملیاتی برای بهبود به‌صورت جامع بررسی نشده‌اند؛ درحالی‌که طراحی استراتژی‌های متناسب با زمینه سازمانی و یادگیری از تجارب موفق، نقش کلیدی در تحقق بهبود واقعی دارد (Kameli et al., 2023).

وجود چالش‌های متعدد در صنایع مختلف، به‌ویژه در صنعت آب و فاضلاب، نشان‌دهنده ضرورت اصلاح و بهینه‌سازی فرآیندهای مدیریتی است. در ایران، این صنعت با مشکلاتی نظیر محدودیت منابع، فرسودگی زیرساخت‌ها و نیاز به ارتقاء بهره‌وری روبه‌رو است. پژوهش‌های اخیر در این زمینه بر اهمیت پیاده‌سازی سامانه‌های مدیریت عملکرد هوشمند و استفاده از استراتژی‌های نوین در راستای بهبود کارایی و پایداری شرکت‌های آب و فاضلاب تأکید نموده‌اند (حجازی و همکاران، ۱۴۰۳). با توجه به نقش محوری صنعت آب و فاضلاب در تأمین آب شرب بهداشتی و تصفیه فاضلاب، بهره‌گیری از مدل‌های تحلیلی نوین می‌تواند به شبیه‌سازی نتایج بلندمدت و تحلیل پیامدهای پیچیده سیاست‌های بهبود عملکرد کمک نماید. مدل‌سازی پویایی سیستم، به‌خصوص در صنایع زیرساختی مانند آب و فاضلاب، ابزاری مؤثر برای ارزیابی تأثیر استراتژی‌های بهبود بر شاخص‌های عملکردی به‌شمار می‌رود (Bai et al., 2021).

این پژوهش با تمرکز بر ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی صنعت آب و فاضلاب ایران، به بررسی تأثیر سیاست‌های بهبود بر معیارهای عملکردی می‌پردازد. هدف اصلی آن، توسعه مدل‌هایی مبتنی بر پویایی سیستم است که با شبیه‌سازی تعاملات پیچیده میان استراتژی‌های بهبود و متغیرهای کلیدی، اثرات این اقدامات بر آینده سیستم را ارزیابی کند. این مدل به شرکت‌های آب و فاضلاب کمک می‌کند تا تأثیر تصمیمات استراتژیک خود بر پایداری و بهره‌وری بلندمدت را با دقت بیشتری تحلیل کرده و برنامه‌های بهبود عملکرد

کارآمدتری طراحی کنند.

پیشینه پژوهش

- پیشینه نظری

شناسایی سیاست‌ها و تدوین راهبردهای بهینه جهت بهبود کارایی و ارتقای عملکرد در سازمان‌ها از ضروریات فرآیند مدیریت عملکرد محسوب می‌شود. در این راستا، رویکرد پویایی سیستم که نخستین بار توسط فارستر معرفی شد، به‌عنوان چارچوبی مبتنی بر علم سیستم‌ها و شبیه‌سازی کامپیوتری، امکان تحلیل رفتار سیستم‌ها در شرایط پیچیده و ارزیابی تأثیرات بلندمدت سیاست‌های مختلف را فراهم می‌سازد (Forrester, 1961). ویژگی‌های اصلی شبیه‌سازی با این رویکرد شامل حلقه‌های بازخورد، انباشت، توابع جریان و تأخیرهای زمانی است که همگی برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی سیستم‌ها به کار می‌روند. آنچه پویایی سیستم را از سایر رویکردهای تحلیل سیستم‌های پیچیده متمایز می‌سازد، بهره‌گیری از همین عناصر کلیدی است. به‌ویژه حلقه‌های بازخورد، انباشت و جریان، نقش مهمی در نمایش و تحلیل اثرات غیرخطی در سیستم‌هایی دارند که در ظاهر ساده به نظر می‌رسند (Mustafee et al., 2010).

حلقه‌های بازخورد در پویایی سیستم، به دو دسته تقسیم می‌شوند: حلقه‌های تقویت‌کننده^۱ (مثبت) که موجب رشد یا زوال مداوم می‌شوند و حلقه‌های متعادل‌کننده^۲ (منفی) که به ثبات سیستم کمک می‌کنند. فرایند SD شامل دو مرحله است: ترسیم حلقه‌های علی و ساخت مدل کمی و کامپیوتری. این مطالعات می‌توانند کیفی یا کمی باشند؛ در مواردی که هدف صرفاً درک وضعیت بوده یا داده‌های کمی در دسترس نیست، مطالعه ممکن است در مرحله ترسیم حلقه‌های علی متوقف شده و به‌صورت کیفی باقی بماند (Mingers & White, 2010). در مدل‌سازی پویایی سیستم، حتی تغییرات جزئی می‌توانند واکنشی زنجیره‌ای را در پی داشته باشد که از طریق حلقه‌های بازخوردی به دیگر

1. Reinforcing Loops
2. Balancing Loops

استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد؛ فروغی و همکاران | ۱۸۵

اجزا منتقل می‌شوند. این حلقه‌ها روابط درونی و تأثیر متقابل اجزای سیستم را نشان می‌دهند و ابزار مؤثری برای تحلیل سیستم‌های پیچیده و پویا با تعاملات متعدد و پیش‌بینی‌ناپذیر هستند (Mielczarek, 2016).

در دهه‌های اخیر، رویکرد پویایی سیستم به‌طور گسترده در زمینه‌های مختلف از جمله مدیریت پروژه، توسعه سیاست، زنجیره تأمین و تدارکات و برنامه‌ریزی استراتژیک استفاده شده و موفقیت‌های چشمگیری در تحلیل پایداری سیستم‌ها در سطوح خرد و کلان به دست آورده است (Sun et al., 2017).

- پیشینه تجربی

پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که رویکرد پویایی سیستم، ابزاری مؤثر برای تحلیل و بهبود عملکرد در حوزه‌های مختلف سازمانی و زیرساختی است. با استفاده از این روش، سیاست‌های مؤثر بر ارتقای ظرفیت جذب دانش و بهبود عملکرد در اداره گاز اصفهان بررسی شده است. در این مطالعه، با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم، تأثیر سیاست‌ها به‌صورت مستقل و مقایسه‌ای ارزیابی شده و نشان داده شد که ترکیب افزایش ساعات آموزش، ارتقای تخصص کارکنان و تعامل بیشتر با کارکنان بازنشسته می‌تواند سطح دانش سازمانی را بهینه نماید. این پژوهش بر اهمیت تحلیل دقیق اجزای داخلی سازمان و تعاملات آن‌ها برای تصمیم‌گیری بهینه تأکید دارد و پایه‌ای برای مطالعات بعدی در زمینه بهبود عملکرد سازمانی فراهم می‌کند (جهانیان و همکاران، ۱۳۹۷). با تمرکز بر زیرساخت‌ها، پایداری تصمیمات مدیریت دارایی در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با استفاده از پویایی سیستم تحلیل شده است. بر اساس نتایج، افزایش نرخ بازسازی لوله‌ها می‌تواند هزینه‌های بلندمدت را کاهش دهد و هم‌زمان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به حداقل برساند. این پژوهش کاربرد پویایی سیستم را در تحلیل اثرات زیست‌محیطی و مالی استراتژی‌های مدیریت زیرساخت‌های فاضلاب برجسته می‌کند (Mohammadifardi et al., 2019).

با گسترش کاربرد پویایی سیستم در حوزه مالی، روشی برای پیش‌بینی کارایی در بانک‌های ایران ارائه شده است. بدین صورت که ابتدا با طراحی حلقه‌های بازخورد و

اجرای مدل پویایی، مقادیر متغیرهای ورودی و خروجی برای واحدهای تصمیم‌گیرنده پیش‌بینی شده و سپس با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی واحدها تعیین و معیاری برای شناسایی بانک‌های ناکارآمد پیشنهاد شده است. تلفیق روش‌ها نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری پویایی سیستم در ترکیب با ابزارهای دیگر برای تحلیل عملکرد است (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۹).

در بررسی تأثیر شیوه‌های مدیریتی بر پایداری عملکرد، مطالعه‌ای در صنعت قطعه‌سازی خودرو در ایران انجام شده است. نتایج نشان داد که سناریوهای بهبود مانند اجرای مدیریت کیفیت جامع و تولید به موقع، عملکرد پایدار زنجیره تأمین را تقویت می‌کند. این مطالعه بر قابلیت پویایی سیستم در شناسایی نقاط بهبود و ارزیابی اثربخشی استراتژی‌ها تأکید دارد و به کاربرد این رویکرد در صنایع اشاره می‌کند (ایزدیار و همکاران، ۱۴۰۰). این ایده در زمینه حمل‌ونقل شهری نیز توسعه یافته است، درجایی که ترکیبی از پویایی سیستم و تحلیل پوششی داده‌ها برای شناسایی سیاست‌های کارآمد به کار گرفته شد. در این راستا، ۲۳ سناریو برای افزایش تقاضای حمل‌ونقل عمومی و کاهش استفاده از وسایل نقلیه شخصی طراحی شده و کارایی نسبی آن‌ها ارزیابی گردیده است. بر اساس نتایج، تکرار مدل DEA می‌تواند سیاست‌های مؤثر در کاهش تراکم ترافیک را مشخص کند، اما سناریوها هنوز به کارایی حداکثری نرسیده‌اند و نیاز به بازنگری دارند. این مطالعه، اهمیت تحلیل دینامیکی را در سیستم‌های پیچیده شهری نشان می‌دهد (Norouzian-Maleki et al., 2022).

در حوزه منابع طبیعی، مدیریت منابع آب و تعاملات عرضه و تقاضا در مراکش تحلیل شده است. با تعریف یک شاخص پایداری، مشخص شد که سیاست‌های فعلی نمی‌توانند مدیریت پایدار آب را تضمین کنند و برداشت از منابع زیرزمینی افزایش یافته است. این پژوهش به چالش‌های پایداری در مدیریت منابع اشاره دارد که با مسائل صنعت آب و فاضلاب هم‌راستا است (Guemouria et al., 2023).

رویکرد پویایی سیستم در مدیریت پروژه نیز گسترش یافته است، به طوری که پیوند

1. Data Envelopment Analysis (DEA)

میان این رویکرد و پاسخ به نیازهای اجتماعی، نوآوری و پایداری بررسی شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که پویایی سیستم به تدوین استراتژی‌های جامع برای مواجهه با عدم قطعیت‌ها و تغییرات محیطی کمک می‌کند و ابزاری کارآمد برای مدیریت پروژه‌های پیچیده است (Calderon-Tellez et al., 2024). به‌طور مشابه، رابطه بین آب، غذا و انرژی با مدل‌سازی پویایی سیستم مورد تحلیل قرار گرفت. مدل پیشنهادی، اثربخشی سیاست‌های مدیریتی در مصرف آب و انرژی را طی ۲۰ سال شبیه‌سازی کرده و نشان داده‌اند که ترکیب سیاست‌های مدیریت تقاضا بیشترین تأثیر را دارد. از این رو، بر توانایی پویایی سیستم در تحلیل تعاملات چندبخشی تأکید شده است (Zahedi et al., 2024).

استفاده از پویایی سیستم در مدیریت عملکرد و استراتژی‌های کسب‌وکار نیز بررسی و تفاوت مدل‌های پویا و ایستا ارزیابی شده است. با توجه به نتایج، پویایی سیستم به شبیه‌سازی سناریوهای عملکرد در شرایط متغیر بازار و تطبیق با نیازهای جدید کمک می‌کند. مدل‌های پویا به دلیل انعطاف‌پذیری و توانایی حل مسائل، ابزار بهتری برای مدیریت استراتژیک و نوآوری ارائه می‌دهند (Gozali et al., 2024). در بررسی سیاست‌های عملکردی در حوزه‌های سازمانی، پژوهشی به تحلیل استراتژی‌های منابع انسانی برای ارتقای کارایی نیروی کار پرداخته است. این مطالعه با تمرکز بر یکپارچگی فناوری، بهبود تجربه کارکنان و توسعه مهارت‌ها و رهبری، چارچوبی پویا برای تحلیل تعاملات سازمانی ارائه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که رویکردهای انسان‌محور همراه با فناوری، یادگیری مستمر و هم‌راستایی با نیازهای متغیر را تقویت می‌کند. این پژوهش قابلیت انطباق با تحلیل‌های پویا را در مدیریت منابع انسانی برجسته می‌سازد (Ayanponle et al., 2024). با توجه به اهمیت به‌کارگیری سیستم‌های مدیریت عملکرد برای ارتقای کارایی سازمانی، مطالعه‌ای با مرور نظام‌مند ۱۲۲ پژوهش منتشر شده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳، روندهای کلیدی در طراحی و اجرای این سیستم‌ها را تحلیل کرده است. نتایج این پژوهش بیانگر تفاوت‌های منطقه‌ای قابل توجه در اولویت‌های اجرایی می‌باشد؛ به گونه‌ای که در برخی مناطق بر تحلیل داده‌های عملکرد و مشارکت عمومی و در مناطقی دیگر بر

شاخص‌های کیفیت و اثربخشی تأکید شده است. این مطالعه، اقدامات استراتژیک در طراحی سیستم‌های مدیریت عملکرد را راهکاری مؤثر برای مواجهه با چالش‌های موجود در بخش عمومی معرفی می‌کند (Pudjono et al., 2025).

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در به کارگیری رویکرد پویایی سیستم برای تحلیل عملکرد سازمانی و زیرساختی، بررسی‌ها نشان‌دهنده وجود شکاف‌هایی در ادبیات موجود است. اغلب مطالعات پیشین، نظیر پژوهش‌های جهانیان و همکاران (۱۳۹۷)، شفیع‌ی و همکاران (۱۳۹۹) و Gozali و همکاران (2024)، صرفاً به جنبه‌هایی خاص از عملکرد مانند منابع انسانی، کارایی مالی یا زنجیره تأمین پرداخته‌اند و کمتر به تحلیل یکپارچه تأثیر استراتژی‌های چندگانه بر شاخص‌های عملکرد در سیستم‌های پیچیده‌ای همچون شرکت‌های آب و فاضلاب توجه شده است. همچنین، در حالی که مطالعاتی از جمله Mohammadifardi و همکاران (2019) و Guemouria و همکاران (2023)، مدیریت زیرساخت‌های فاضلاب و منابع آب را بررسی نموده‌اند، طراحی مدل‌های پویایی جداگانه برای شاخص‌های ورودی (مانند دوره وصول مطالبات و آب به حساب نیامده) و خروجی عملکرد (مانند نسبت گردش دارایی‌ها و رشد بازار) و شبیه‌سازی تعاملات این شاخص‌ها در یک چارچوب یکپارچه، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش با طراحی دو مدل پویایی سیستم مجزا برای شاخص‌های ورودی و خروجی و ارزیابی تأثیر ترکیبی استراتژی‌های متنوع (از مدیریت مطالبات و کاهش هدررفت آب تا توسعه زیرساخت‌ها) بر عملکرد شرکت‌های آب و فاضلاب، چارچوبی نوآورانه و بومی‌سازی شده برای تحلیل جامع عملکرد شرکت‌های آب و فاضلاب ارائه می‌دهد. در جدول ۱، مقایسه‌ای میان مطالعات پیشین و ویژگی‌های متمایز این پژوهش ارائه شده است.

جدول ۱. تفاوت بین پژوهش حاضر و مطالعات پیشین

ردیف	پژوهش	حوزه مسئله	متغیرهای کلیدی	روش	ویژگی‌ها	شکاف نسبت به پژوهش حاضر
۱	جهانیان و همکاران، ۱۳۹۷	مدیریت دانش (اداره)	ساعات آموزش،	پویایی سیستم	تحلیل سیاست‌های	تمرکز بر مدیریت دانش، عدم توجه به

ردیف	پژوهش	حوزه مسئله	متغیرهای کلیدی	روش	ویژگی‌ها	شکاف نسبت به پژوهش حاضر
		گاز)	تخصص کارکنان		دانش سازمانی	عملکرد آب و فاضلاب
۲	Mohammadifardi et al., 2019	مدیریت زیرساخت فاضلاب	نرخ بازسازی، هزینه‌ها، انتشار گاز	پویایی سیستم	تحلیل زیست‌محیطی و هزینه	تمرکز محدود به زیرساخت، عدم بررسی شاخص‌های مالی، عملیاتی و منابع انسانی
۳	شفیعی و همکاران، ۱۳۹۹	کارایی بانک‌ها	کارایی ورودی-خروجی	پویایی سیستم + DEA	ترکیب پویایی و DEA	تمرکز بر بانکداری
۴	ایزدیار و همکاران، ۱۴۰۰	زنجیره تأمین (خودرو)	کیفیت، تولید به موقع	پویایی سیستم	تحلیل سناریوهای زنجیره تأمین	تمرکز بر حوزه خودرو
۵	Norouzian-Maleki et al., 2022	حمل و نقل شهری	تقاضای حمل و نقل	پویایی سیستم + DEA	کاهش تراکم ترافیک	تمرکز بر حمل و نقل
۶	Guemouria et al., 2023	مدیریت منابع آب	عرضه و تقاضای آب	پویایی سیستم	پایداری منابع آب	تمرکز بر منابع طبیعی، عدم بررسی شاخص‌های مالی و عملیاتی
۷	پژوهش حاضر	آب و فاضلاب	متغیرهای وصول مطالبات، آب به حساب نیامده، سرانه بدهی و هزینه نیروی کار، گردش دارایی، پوشش سرانه	دو مدل پویایی سیستم در شبیه‌سازی استراتژی‌های بهبود عملکرد	به کارگیری شاخص‌های بومی آب و فاضلاب، طراحی مدل‌های مجزا برای تعامل استراتژی‌ها و شاخص‌های ورودی و	-تدوین استراتژی‌های بهبود -شبیه‌سازی ترکیبی - تمرکز بر شاخص‌های آب و فاضلاب

ردیف	پژوهش	حوزه مسئله	متغیرهای کلیدی	روش	ویژگی‌ها	شکاف نسبت به پژوهش حاضر
			مشترکین، رشد بازار و درجه حرفه‌ای شرکت		خروجی عملکرد	

روش

این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی است که با به کارگیری رویکرد پویایی سیستم به بررسی اثرات بلندمدت استراتژی‌های بهبود عملکرد بر شاخص‌های کلیدی در شرکت‌های آب و فاضلاب می‌پردازد. روش پویایی سیستم با تحلیل تعاملات پیچیده و روابط خطی و غیرخطی، امکان شبیه‌سازی تغییرات تدریجی و بلندمدت عملکرد سیستم را فراهم می‌آورد (Ji et al., 2023). از این رو، ابتدا شاخص‌های کلیدی صنعت آبفا با بهره‌گیری از نظرات خبرگان و مرور ادبیات مرتبط، باهدف ارزیابی جامع اثرات استراتژی‌های بهبود بر جنبه‌های مختلفی چون کارایی عملیاتی، پایداری مالی، بهره‌وری منابع، کیفیت خدمات و توسعه بازار انتخاب شدند. جدول ۲، نسبت‌های تمامی این شاخص‌ها را نشان داده و توضیحات مرتبط با هر یک از آن‌ها بیان شده است.

جدول ۲. شاخص‌های عملکردی شرکت‌های آب و فاضلاب

ردیف	عنوان شاخص	فرمول محاسبه	نوع شاخص	منبع
۱	دوره وصول مطالبات- سال	(حساب‌های دریافتی جاری+حساب‌های دریافتی سال قبل) فروش خالص * ۲	ورودی	داودآبادی و دولتشاهی (۱۴۰۰)
۲	سرنانه بدهی آحاد مشتری	مانده حساب‌های دریافتی تجاری آحاد مصرف‌کننده آب و فاضلاب	ورودی	
۳	آب به حساب نیامده- درصد	۱۰۰* حجم تولید آب - حجم آب فروش رفته حجم تولید آب	ورودی	داودآبادی و قنادی (۱۳۹۳)
۴	سهم نیروی کار به	هزینه نیروی کار	ورودی	

ردیف	عنوان شاخص	فرمول محاسبه	نوع شاخص	منبع
	فروش	فروش خالص		
۵	نسبت گردش دارایی‌ها	فروش خالص کل دارایی‌ها	خروجی	
۶	پوشش سرانه مشترکین (آحاد) - فقره	تعداد آحاد آب + تعداد آحاد فاضلاب تعداد کارکنان (رسمی و خدماتی)	خروجی	داودآبادی و دولتشاهی (۱۴۰۰)
۷	رشد بازار آب و فاضلاب (آحاد)	مشترکین جدید طی دوره آب و فاضلاب (آحاد) مشترکین ابتدای دوره آب و فاضلاب (آحاد)	خروجی	داودآبادی و دولتشاهی (۱۴۰۰)
۸	درجه حرفه‌ای شرکت - درجه	درجه * (دکتری + کارشناس ارشد + کارشناس + فوق‌دیپلم + دیپلم + زیردیپلم) تعداد کارکنان	خروجی	داودآبادی و قنادی (۱۳۹۳)

تعداد هشت شاخص ورودی و خروجی برای شرکت‌های آب و فاضلاب در نظر گرفته شده است که از این بین، شاخص‌های دوره وصول مطالبات، سرانه بدهی آحاد^۱ مشترکین، آب به حساب نیامده و سهم هزینه نیروی کار به فروش به عنوان ورودی و شاخص‌های نسبت گردش دارایی‌ها، نسبت پوشش سرانه مشترکین، رشد بازار آب و فاضلاب (آحاد) و درجه حرفه‌ای شرکت از نوع خروجی می‌باشند.

۱. دوره وصول مطالبات: این شاخص، مدت زمان استاندارد بین صدور صورتحساب و دوره تنفس با لحاظ فرصت پرداخت توسط مشترکین را در صنعت آب و فاضلاب نشان می‌دهد. کاهش این نسبت بر نقدینگی و تسریع در وصول مطالبات از مشترکین تأثیر می‌گذارد.

۲. سرانه بدهی مشترکین (آحاد): نشان‌دهنده میزان بدهی مشترکین به ازای آحاد مصرف‌کننده می‌باشد. بررسی این شاخص برای تعیین تأثیر افزایش تعداد آحاد آب و فاضلاب بر میزان مطالبات اهمیت دارد و می‌تواند به مدیریت بهینه بدهی‌ها و بهبود نقدینگی کمک نماید (داودآبادی و دولتشاهی، ۱۴۰۰).

۱. تعداد واحدهای آپارتمانی تحت پوشش آب و فاضلاب ناشی از یک انشعاب می‌باشد.

۳. آب به حساب نیامده: بیان‌کننده حجم آب تولیدی است که در فرآیند ارائه خدمات از دست‌رفته و در حساب‌ها ثبت نمی‌شود. افزایش این شاخص به معنای اتلاف منابع تولید و عدم تبدیل بخشی از تولید به درآمد است.

۴. سهم هزینه نیروی کار به فروش: این نسبت نشان می‌دهد که فروش خالص چه میزان از هزینه نیروی کار را پوشش داده است. با توجه به اینکه هزینه نیروی کار یکی از عوامل ورودی تأثیرگذار بر عملکرد است، مقایسه این مؤلفه به صورت نسبتی از فروش، دیدگاه تازه‌ای برای تحلیل عملکرد ارائه می‌دهد.

۵. نسبت گردش دارایی‌ها: این شاخص اثربخشی دارایی‌ها در ایجاد درآمد را اندازه‌گیری می‌کند و نشان می‌دهد که آیا افزایش دارایی‌ها به رشد فروش منجر شده است یا خیر. پایین بودن این شاخص می‌تواند حاکی از سرمایه‌گذاری‌های ناکارآمد و بازدهی نامطلوب باشد (داودآبادی و قنادی، ۱۳۹۳).

۶. نسبت پوشش سرانه مشترکین: این نسبت بیان می‌کند که هر یک از کارکنان، چند مشترک (معادل آحاد) را پوشش می‌دهند. افزایش تعداد آحاد از اهداف شرکت‌های آب و فاضلاب بوده که بر ایجاد درآمد، کاهش بدهی و افزایش رضایت مشتری تأثیر می‌گذارد.

۷. رشد بازار آب و فاضلاب (آحاد): نشان‌دهنده رشد تعداد آحاد مشترکین و توسعه بازار در بخش آب و فاضلاب است که تأثیر مستقیمی بر بهبود عملکرد و وضعیت مالی شرکت‌های آبفا دارد (داودآبادی و دولتشاهی، ۱۴۰۰).

۸. درجه حرفه‌ای شرکت: حاکی از سطح علمی و تخصصی کارکنان است. افزایش این شاخص می‌تواند تأثیر مثبتی بر کیفیت و کارایی عملکرد شرکت داشته باشد و به بهبود بهره‌وری سازمانی کمک نماید (داودآبادی و قنادی، ۱۳۹۳).

برای بهبود و مدیریت مؤثر هر یک از شاخص‌های کلیدی عملکرد، لازم است که اقدامات و سیاست‌های مناسبی طراحی و به اجرا گذاشته شود. در این راستا، مجموعه‌ای از اسناد بالادستی، مطالعات پیشین و گزارش‌های سازمانی در صنعت آب و فاضلاب بررسی

استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد؛ فروغی و همکاران | ۱۹۳

شد. این اسناد شامل برنامه‌های ششم و هفتم توسعه، گزارش‌های هیئت‌مدیره بودجه، صورت‌های مالی، برنامه استراتژیک و سیاست‌های کلان شرکت‌های آب و فاضلاب در سطح کشور می‌باشد که برای تحلیل و شناسایی استراتژی‌های بهینه مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، برای افزایش دقت و اثربخشی استراتژی‌های تدوین‌شده از نظرات و تجربیات خبرگان و متخصصان این حوزه به‌طور ویژه بهره گرفته شد.

ابتدا، با تحلیل اسناد و گزارش‌ها، مجموعه‌ای از اقدامات و سیاست‌های بهبود شامل ۳۵ استراتژی اولیه شناسایی گردید که توانایی تأثیرگذاری بر شاخص‌های کلیدی عملکرد را داشتند. سپس، با استفاده از نظرات خبرگان صنعت، این استراتژی‌ها بر اساس معیارهایی همچون قابلیت اجرایی بودن، گستره تأثیرگذاری بر شاخص‌ها، کارایی و انطباق با شرایط عملیاتی مورد ارزیابی و غربال‌گری قرار گرفتند. نهایتاً، ۱۴ استراتژی بهبود با تأکید بر تناسب با مدل‌سازی پویایی سیستم انتخاب شد. این فرآیند باهدف تمرکز بر نیازها و چالش‌های واقعی، به‌جای ارائه راهکارهای عمومی، منجر به تدوین سیاست‌های دقیق و مختص به هر شاخص گردید. در جدول ۳، استراتژی‌ها و شاخص‌های عملکردی تأثیرپذیر از هر یک آورده شده است.

جدول ۳. استراتژی‌های بهبود و شاخص‌های تأثیرپذیر شرکت‌های آب و فاضلاب

ردیف	استراتژی‌های بهبود	شاخص‌های تأثیرپذیر	منبع استخراج استراتژی
۱	اعمال سیاست‌های تشویقی یا تنبیهی برای پرداخت به‌موقع قبوض.	دوره وصول مطالبات، سرانه بدهی مشترکین	(برنامه استراتژیک شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۱)
۲	بهره‌گیری از توان‌بخش خصوصی در وصول مطالبات.	دوره وصول مطالبات، سرانه بدهی مشترکین، سهم نیروی کار به فروش	(گزارش فعالیت هیئت‌مدیره بودجه شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۱)
۳	مدیریت عملکرد کارکنان و پاداش.	دوره وصول مطالبات، سهم نیروی کار به فروش، پوشش سرانه مشترکین، درجه حرفه‌ای شرکت	(سند توسعه منابع انسانی شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۱ - Ibrahim & Minja, 2024)
۴	برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های	آب به‌حساب نیامده	(قانون برنامه پنج‌ساله ششم

ردیف	استراتژی‌های بهبود	شاخص‌های تأثیرپذیر	منبع استخراج استراتژی
	عملیاتی کاهش هدررفت و آب بدون درآمد مانند رفع نشتی‌ها.		توسعه، ۱۳۹۶-۱۴۰۰، (گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۲)
۵	شناسایی و رفع انشعابات غیرمجاز.	آب به حساب نیامده، سهم نیروی کار به فروش، نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین، رشد آحاد آب و فاضلاب	(گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۱)
۶	تعویض کنتورهای فرسوده، کم کار و معیوب برای مشترکین موجود باهدف افزایش درآمد.	آب به حساب نیامده، سهم نیروی کار به فروش، نسبت گردش دارایی‌ها	(قانون برنامه پنج‌ساله هفتم توسعه، ۱۴۰۳-۱۴۰۷، (گزارش فعالیت هیئت‌مدیره بودجه شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۰)
۷	استفاده از ظرفیت فاینانس تولیدکنندگان برای تهیه و نصب کنتورهای اندازه‌گیری هوشمند دارای استاندارد.	آب به حساب نیامده، سهم نیروی کار به فروش، نسبت گردش دارایی‌ها	(قانون برنامه پنج‌ساله هفتم توسعه، ۱۴۰۳-۱۴۰۷، (گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۲)
۸	ارتقاء و توسعه نظام جذب، توانمندسازی و نگهداشت منابع انسانی متناسب با نیازهای تخصصی و مدیریتی.	سهم نیروی کار به فروش، درجه حرفه‌ای شرکت، پوشش سرانه مشترکین	(سند توسعه منابع انسانی شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۱-۱۴۰۵)
۹	ارتقای ضریب قیمتی آب‌بها در مناطق دارای مشکل منابع آبی.	سهم نیروی کار به فروش، نسبت گردش دارایی‌ها	(گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۲)

ادامه جدول ۳. استراتژی‌های بهبود و شاخص‌های تأثیرپذیر شرکت‌های آب و فاضلاب

ردیف	استراتژی‌های بهبود	شاخص‌های تأثیرپذیر	منبع استخراج استراتژی
۱۰	استفاده از اعتبارات دولتی در راستای برقراری خدمات آب شرب پایدار برای خانوارهای	سهم نیروی کار به فروش، پوشش سرانه مشترکین، رشد آحاد آب و فاضلاب	(Joseph et al., 2024)

		ساکن در مناطق فاقد تأسیسات آب‌رسانی.	
(گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۲)، (Moradi Shahdadi et al., 2023).	نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین، رشد آحاد آب و فاضلاب	توسعه خطوط انتقال و شبکه توزیع با استفاده از ظرفیت‌های اعتبارات دولتی.	۱۱
(گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان، ۱۴۰۱)	رشد آحاد آب و فاضلاب	تبدیل املاک نسق به انشعاب (فروش آب به املاک نسقی).	۱۲
(برنامه استراتژیک شرکت‌های آب و فاضلاب آذربایجان غربی و هرمزگان، ۱۴۰۰)	دوره وصول مطالبات، نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین، رشد آحاد آب و فاضلاب	تخصیص بخشی از درآمدهای جاری و نیز جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی در راستای توسعه خطوط انتقال آب و شبکه آب‌رسانی.	۱۳
(Gilani et al., 2022)	آب به حساب نیامده، نسبت گردش دارایی‌ها	مهندسی مجدد تأسیسات تولید و توزیع آب در راستای ارتقای راندمان و بهره‌وری در شبکه‌ها و تأسیسات آب و فاضلاب.	۱۴

– فرضیه‌های دینامیکی

برای تحلیل تأثیر استراتژی‌های بهبود عملکرد بر شاخص‌های کلیدی صنعت آب و فاضلاب، دو مدل پویایی سیستم طراحی شده است:

۱. مدل ورودی‌ها که تمرکز اصلی مدل بر شاخص‌های منعکس‌کننده وضعیت نقدینگی، کارایی عملیاتی، بهره‌وری منابع و کیفیت خدمات می‌باشد و تأثیر استراتژی‌های عملکردی بر آن‌ها را بررسی می‌کند.

۲. مدل خروجی‌ها که نشان‌دهنده میزان پایداری مالی، گسترش بازار، بهره‌وری منابع انسانی و درجه حرفه‌ای بودن ساختار سازمانی در نتیجه اعمال استراتژی‌ها است. در چارچوب پویایی سیستم، فرضیه‌های دینامیکی در قالب حلقه‌های علی به منظور تبیین رفتار سیستم در

مدل‌ها از طریق بررسی‌های میدانی، ادبیات نظری و تحلیل روندهای تاریخی عملکرد سازمان طراحی شدند. حلقه‌های علی به صورت تقویت‌کننده یا متعادل‌کننده مدل‌سازی می‌شوند که هر یک زنجیره‌ای از تأثیرات متقابل بین اجزای سیستم را نشان می‌دهد (Bianchi, 2012). در حلقه‌های تقویت‌کننده، تغییرات اولیه به صورت تصاعدی تقویت می‌شوند و موجب رشد یا کاهش پیوسته در سیستم می‌گردند. در مقابل، حلقه‌های متعادل‌کننده با ایجاد اثرات معکوس، نقش بازدارنده داشته و به حفظ پایداری سیستم کمک می‌کنند (Hosseini, A., & Hosseini, S. H., 2022).

فرضیه‌های پویا، روابط علی و بازخوردی میان استراتژی‌های بهبود عملکرد و شاخص‌های کلیدی را مدل‌سازی می‌کنند. برخلاف پژوهش‌های پیشین که اغلب بر جنبه‌های خاصی از عملکرد مانند مالی یا عملیاتی به صورت جداگانه متمرکز بودند، این مطالعه با ادغام استراتژی‌های چندوجهی، رویکردی جامع ارائه می‌دهد که هم‌زمان بر پایداری بلندمدت سیستم و افزایش اثربخشی سیاست‌های بهبود عملکرد در حوزه شرکت‌های آب و فاضلاب تمرکز دارد. هر یک از مدل‌های ارائه‌شده با شناسایی زیرسیستم‌های کلیدی، ساختار پویای سیستم و تعاملات بین اجزای آن را به صورت منسجم تبیین می‌کنند. مدل ورودی‌ها از سه زیرسیستم اصلی تشکیل شده است:

۱. زیرسیستم مالی: شامل فروش خالص، نقدینگی، دوره وصول مطالبات و مانده حساب‌های دریافتی که نقش مؤثری در پایداری مالی و جریان نقدی سازمان ایفا می‌کنند.

۲. زیرسیستم عملیاتی: شامل تعداد آحاد، آب به حساب نیامده و توسعه شبکه که نمایانگر کارایی عملکرد زیرساخت‌ها و کیفیت خدمات است.

۳. زیرسیستم منابع انسانی: شامل انگیزه کارکنان و شناسایی انشعابات غیرمجاز که عملکرد سازمانی را تقویت می‌کند.

متناسب با ساختار این زیرسیستم‌ها، هفت فرضیه دینامیکی طراحی شده‌اند که روابط علی و بازخوردی میان استراتژی‌های بهبود و شاخص‌های عملکرد را به طور دقیق نشان

سرمایه گذاری بیشتر را ممکن می سازد.

فرضیه ۲: کاهش آب به حساب نیامده از طریق مهندسی مجدد تأسیسات، فروش آب را افزایش داده و منابع مالی برای توسعه شبکه را تأمین می کند. **حلقه مثبت R2:** حلقه تقویت کننده ای که کاهش آب به حساب نیامده را به رشد فروش و سرمایه گذاری مجدد در تأسیسات پیوند می دهد.

فرضیه ۳: انگیزش کارکنان و تبدیل انشعابات غیرمجاز به مجاز، تعداد آحاد را افزایش داده و فروش خالص را تقویت می کند. **حلقه مثبت R3:** حلقه تقویت کننده ای که انگیزه کارکنان را به شناسایی انشعابات غیرمجاز، رشد تعداد آحاد و افزایش فروش متصل می کند.

فرضیه ۴: استفاده از فاینانس تولیدکنندگان کنتورهای هوشمند، نسبت هزینه نیروی کار به فروش را کاهش داده و فروش خالص را بهبود می بخشد. **حلقه منفی B1:** حلقه متعادل کننده ای که کاهش نقدینگی موجب استفاده بیشتر از ظرفیت فاینانس تولیدکنندگان کنتورهای هوشمند برای نصب و تعویض موارد کم کار و معیوب می شود. این اقدام، هزینه های اولیه را کاهش داده و به افزایش فروش خالص کمک می کند. از طرفی بهبود فروش و کاهش نیاز به نیروی کار مازاد منجر به کاهش نسبت هزینه نیروی کار به فروش می گردد.

فرضیه ۵: بهره گیری از بخش خصوصی در وصول مطالبات، مانده حساب های دریافتی و دوره وصول را کاهش می دهد. **حلقه منفی B2:** حلقه متعادل کننده ای که افزایش مانده حساب ها را از طریق مشارکت بخش خصوصی به کاهش دوره وصول و بهبود مالی متصل می کند.

فرضیه ۶: توسعه شبکه با افزایش تعداد آحاد، سرانه بدهی مشترکین را کاهش داده و اثرات منفی رشد فروش را تعدیل می کند.

حلقه منفی B3: حلقه متعادل کننده ای که در آن، توسعه شبکه آب و فاضلاب با افزایش تعداد آحاد، سرانه بدهی مشترکین را کاهش می دهد. باین حال، افزایش فروش خالص

استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد؛ فروغی و همکاران | ۱۹۹

ناشی از رشد آحاد ممکن است به افزایش مانده حساب‌های دریافتی پایان سال منجر شود. از این رو، اجرای سیاست‌های تشویقی و تنبیهی در وصول مطالبات و بهره‌گیری از توان بخش خصوصی در نظر گرفته شده‌اند که می‌توانند با کاهش مانده حساب‌ها و بهبود دوره وصول، اثرات منفی افزایش فروش را خنثی نمایند. این حلقه تعادلی بر ارتباط بازاری و توسعه شبکه، رشد آحاد و مدیریت وصول مطالبات برای بهبود مالی تأکید دارد.

فر ضییه ۷: مدیریت مؤثر وصول مطالبات، دوره وصول را کاهش داده و نقدینگی را بهبود می‌بخشد.

حلقه منفی B4: در این حلقه، با رشد تعداد آحاد و متوسط مصرف هر یک، میزان فروش خالص افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، رشد فروش می‌تواند باعث افزایش مانده حساب‌های دریافتی گردد. در چنین شرایطی، با اعمال استراتژی‌های مؤثر در وصول مطالبات و مدیریت بهینه آن‌ها می‌توان شاخص دوره وصول را کاهش داد.

مدل پویای ارائه شده با تکیه بر حلقه‌های علی تقویت‌کننده و متعادل‌کننده، چارچوبی جامع برای تحلیل دینامیک عملکرد شاخص‌های ورودی در سیستم آب و فاضلاب فراهم می‌نماید. این مدل با ادبیات موجود در حوزه مدیریت منابع آب و پویایی‌شناسی سیستم‌ها هم‌راستا بوده و آن را تکمیل می‌کند (جهانیان و همکاران، ۱۳۹۷؛ Guemouria et al., 2023). در حالی که مطالعات پیشین اغلب بر جنبه‌های خاصی مانند مدیریت زیرساخت فاضلاب (Mohammadifardi et al., 2019)، پایداری منابع آب (Guemouria et al., 2023)، یا حوزه‌های غیرمرتبط با آب و فاضلاب متمرکز بودند، این پژوهش با یکپارچه‌سازی شاخص‌های بومی آب و فاضلاب نظیر وصول مطالبات، آب به حساب نیامده، سرانه بدهی و هزینه نیروی کار، رویکردی کل‌نگرانه ارائه می‌دهد. به‌ویژه، تأکید بر حلقه‌های منفی (B1-B4) برای تعدیل اثرات رشد فروش و حلقه‌های مثبت (R1-R3) برای تقویت نقدینگی و توسعه شبکه، نوآوری در تلفیق سیاست‌های تشویقی و تنبیهی با ابزارهای مالی مانند فاینانس‌کنترهای هوشمند را نشان می‌دهد.

برای تحلیل تأثیر استراتژی‌های بهبود بر شاخص‌های با ماهیت خروجی و افزایش آن‌ها نیز، سه زیرسیستم اصلی مدنظر قرار گرفته است:

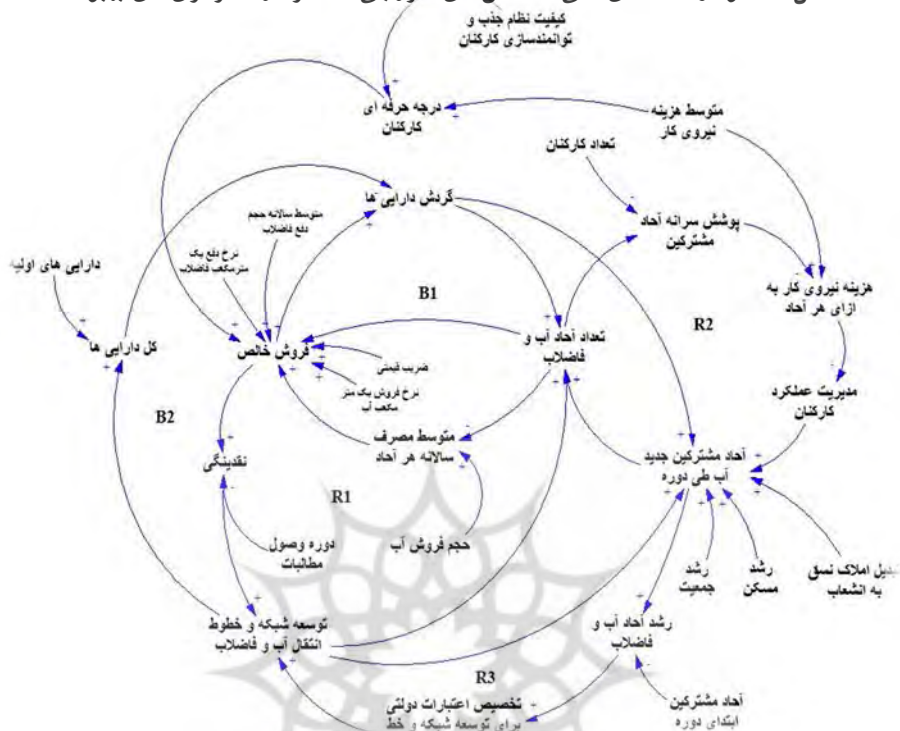
۱. زیرسیستم مالی: شامل فروش خالص، گردش دارایی‌ها و نقدینگی که کارایی مالی را هدایت می‌کند.

۲. زیرسیستم عملیاتی: شامل رشد آحاد و پوشش سرانه مشترکین که دسترسی به خدمات را نشان می‌دهد.

۳. زیرسیستم منابع انسانی: شامل عملکرد کارکنان و درجه حرفه‌ای آنان که کیفیت خدمات را تقویت می‌کند.

پنج فرضیه دینامیکی شامل سه حلقه تقویت‌کننده و دو حلقه متعادل‌کننده طراحی شده است که روابط علی میان متغیرهای کلیدی را تبیین می‌کنند. نمودار این حلقه‌های علی در نرم‌افزار ونسیم ترسیم شده و شکل ۲، نمایانگر ارتباط شاخص‌های خروجی عملکرد با استراتژی‌های بهبود در قالب این حلقه‌هاست.

شکل ۲. نمودار حلقه‌های علی شاخص‌های خروجی عملکرد و استراتژی‌های بهبود



فرضیه ۱: افزایش فروش خالص از طریق بهبود نقدینگی، توسعه زیرساخت را تقویت کرده و تعداد آحاد را به صورت پایدار افزایش می‌دهد. **حلقه مثبت R1:** حلقه تقویت‌کننده‌ای که رشد فروش را به نقدینگی، توسعه زیرساخت و افزایش تعداد آحاد پیوند می‌دهد.

فرضیه ۲: بهبود عملکرد کارکنان، پوشش سرانه مشترکین را افزایش داده و با کاهش هزینه نیروی کار به ازای هر آحاد، جذب مشترکین جدید را تسهیل می‌کند. **حلقه مثبت R2:** این حلقه نشان می‌دهد که افزایش تعداد آحاد آب و فاضلاب باعث بهبود پوشش سرانه مشترکین و کاهش هزینه نیروی کار به ازای هر آحاد می‌شود. کاهش هزینه‌ها، امکان مدیریت بهتر عملکرد کارکنان و ارتقای کیفیت خدمات را فراهم نموده که جذب مشترکین جدید و افزایش تعداد آحاد را تسهیل می‌نماید.

فرضیه ۳: تخصیص اعتبارات دولتی برای گسترش شبکه، ظرفیت خدمت‌رسانی را افزایش و تعداد آحاد را به صورت پایدار رشد می‌دهد. **حلقه مثبت R3:** حلقه تقویت‌کننده‌ای که اعتبارات دولتی را به توسعه شبکه، افزایش تعداد آحاد و تأمین مالی مستمر پیوند می‌دهد.

فرضیه ۴: رشد فروش خالص با افزایش گردش دارایی‌ها و تعداد آحاد، متوسط مصرف سالانه هر آحاد را کاهش می‌دهد که با بهینه‌سازی توزیع آب مدیریت می‌شود.

حلقه منفی B1: حلقه متعادل‌کننده‌ای که در آن، افزایش فروش خالص منجر به افزایش گردش دارایی‌ها و تعداد آحاد آب و فاضلاب می‌شود. همچنین با افزایش تعداد آحاد، میزان متوسط مصرف سالانه هر یک کاهش می‌یابد. باین حال، این کاهش مصرف می‌تواند از طریق استراتژی‌های بهینه‌سازی توزیع آب، کنترل و مدیریت شود.

فرضیه ۵: توسعه شبکه بدون رشد متناسب فروش، نسبت گردش دارایی‌ها را کاهش می‌دهد که با هماهنگی توسعه و فروش تعدیل می‌شود.

حلقه منفی B2: توسعه شبکه و رشد تعداد آحاد مشترکین از طریق تخصیص اعتبارات دولتی می‌تواند کل دارایی‌ها را افزایش دهد. باین حال، اگر فروش خالص به‌طور متناسب رشد نکند، منجر به کاهش نسبت گردش دارایی‌ها می‌گردد. این کاهش، به‌عنوان یک حلقه منفی عمل کرده و برای حفظ تعادل و کارایی سیستم، باید افزایش فروش هم‌زمان با گسترش شبکه و تعداد مشترکین مورد توجه قرار گیرد.

مدل پویای شاخص‌های خروجی با تلفیق شاخص‌های بومی همچون نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین، رشد بازار و درجه حرفه‌ای نیروی انسانی و طراحی حلقه‌های علی در نرم‌افزار ونسیم، گامی نو در توسعه ادبیات موجود برداشته است. این مدل با شبیه‌سازی استراتژی‌های بهینه‌سازی در توزیع آب و هم‌راستایی توسعه شبکه با رشد فروش، تحلیل عملکرد سیستم‌های آب و فاضلاب را تکمیل می‌کند. تمرکز بر کاهش هزینه نیروی کار و رشد پایدار مشترکین، وجه تمایز اصلی این مدل به‌شمار می‌رود.

مدل‌سازی و یافته‌ها

این مطالعه برای تشریح مدل‌های دینامیکی ورودی و خروجی، از فرآیند پنج مرحله‌ای استرمن (Sterman, 2000) استفاده کرده است. همان‌طور که در بخش روش تحقیق توضیح داده شد، مرحله اول (شناسایی مسئله) به تعریف تأثیر استراتژی‌های بهبود عملکرد بر شاخص‌های کلیدی عملکرد در شرکت‌های آب و فاضلاب پرداخته و مرحله دوم (فرضیه‌های دینامیکی) با طراحی حلقه‌های علی تقویت‌کننده و متعادل‌کننده برای مدل‌های ورودی و خروجی تدوین شده است (شکل‌های ۱ و ۲). همچنین، ساختار اولیه مدل‌ها با نمودارهای حالت و جریان ارائه شده است. در این بخش، با تمرکز بر مراحل سوم تا پنجم فرآیند استرمن (توسعه مدل، آزمون مدل و تحلیل سناریوها)، مدل‌های پویایی سیستم تکمیل شده و یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی‌ها گزارش می‌شوند. این فرآیند امکان تحلیل تأثیر بلندمدت استراتژی‌های بهبود بر شاخص‌های کلیدی و ارائه توصیه‌های عملکردی را فراهم می‌آورد.

-توسعه مدل

با طراحی حلقه‌های علی و شناسایی ساختار سیستم، روابط بین متغیرها در قالب نمودارهای حالت و جریان^۱ در نرم‌افزار ونسیم شبیه‌سازی شد. هدف از مدل‌سازی، تحلیل رفتار سیستم در طول زمان و ارزیابی تأثیر تغییرات شاخص‌ها تحت شرایط و سناریوهای مختلف است. نمودار حالت و جریان متغیرهای ورودی، شامل شاخص‌های عملکرد و استراتژی‌های بهبود، در شکل ۳ ارائه شده است. هدف مدل ورودی، کاهش مقادیر شاخص‌های کلیدی شامل دوره وصول مطالبات، سرانه بدهی آحاد مشترکین، آب به حساب نیامده و سهم هزینه نیروی کار به فروش با اعمال استراتژی‌های بهبود است.

فرمول‌های شاخص‌های عملکردی که مبنای محاسبات مدل هستند، از منابع معتبری همچون استانداردهای صنعت آب و فاضلاب و متون تخصصی پیشین استخراج گردید که در جدول ۲ (بخش روش تحقیق) ارائه شده‌اند. سایر روابط متغیرهای مدل، شامل متغیرهای حالت (مانند تعداد آحاد مشترکین)، جریان (مانند نرخ فروش خالص) و کمکی (مانند

ضریب قیمتی استان)، از طریق ترکیب صورت‌های مالی شرکت‌های آب و فاضلاب، آئین‌نامه‌های رسمی، نتایج تحلیل‌های تاریخی، نظرات ۱۰ خبره صنعت (به‌دست‌آمده با مصاحبه‌های ساختاریافته) و منطق مدل‌سازی پویایی سیستم تدوین و در نرم‌افزار ونسیم پیاده‌سازی شد. مهم‌ترین روابط ریاضی مدل ورودی و منابع هر یک به‌طور دقیق در جدول ۴ ارائه گردیده است. به‌عنوان نمونه، معادله نرخ فروش خالص با در نظر گرفتن ساختار درآمدی شرکت شامل فروش آب، دفع فاضلاب و تعویض کنتورهای معیوب و همچنین لحاظ ضریب منطقه‌ای و الگوهای مصرف مشترکین، به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\begin{aligned} \text{نرخ فروش خالص} &= (\text{نرخ فروش یک مترمکعب آب (متوسط مصرف سالانه هر آحاد} \\ & \text{ضریب قیمتی استان (تعداد آحاد آب) + (نرخ دفع یک مترمکعب فاضلاب (متوسط سالانه حجم} \\ & \text{دفع فاضلاب (تعداد آحاد فاضلاب) + (درآمد حاصل از تعویض و هوشمندسازی کنتورهای} \\ & \text{معیوب (ضریب تأثیر این درآمد بر کل نرخ فروش)} \end{aligned}$$

در این رابطه، ضریب قیمتی، یکی از پارامترهای مدل بوده که مقدار آن برای استان گیلان بر اساس دستورالعمل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در سال ۱۴۰۱ برابر ۱٫۱ تعیین شده است.

با تعریف روابط مدل ورودی، امکان تحلیل تأثیر استراتژی‌ها بر متغیرهای کلیدی مانند تعداد آحاد مشترکین و میزان فروش نیز فراهم می‌گردد.

ردیف	نام متغیر	فرمول ریاضی برحسب سال	منبع
۱	نرخ فروش خالص	(نرخ فروش یک متر مکعب آب (متوسط مصرف سالانه هر آحاد (ضریب قیمتی استان (تعداد آحاد آب) + (نرخ دفع یک متر مکعب فاضلاب (متوسط سالانه حجم دفع فاضلاب (تعداد آحاد فاضلاب) + (درآمد حاصل از تعویض و هوشمندسازی کنتورهای معیوب (ضریب تأثیر این درآمد بر کل نرخ فروش)	صورت‌های مالی شرکت‌های آب و فاضلاب؛ آئین‌نامه‌های تعرفه‌ای وزارت نیرو (۱۴۰۱)
۲	نرخ هزینه	(هزینه نیروی کار + هزینه نگهداری و تعمیرات + هزینه خرید مواد اولیه + سایر هزینه‌ها)	گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان (۱۴۰۱)
۳	سود	(مقدار اولیه و (نرخ هزینه - نرخ فروش خالص)) INTEG	Sterman (2000)
۴	نرخ افزایش تعداد آحاد آب	((((رشد جمعیت + رشد مسکن) (تعداد انشعاب مجاز) + نرخ تبدیل انشعاب غیرمجاز به مجاز + نرخ تبدیل املاک نسق به انشعاب) (بعد آحاد) + (نرخ بازسازی و توسعه شبکه با استفاده از منابع داخلی (متوسط افزایش تعداد آحاد ناشی از بازسازی و توسعه)	مجموعه قوانین و مقررات آب و فاضلاب (دفتر حقوقی وزارت نیرو، ۱۳۸۷)
۵	تعداد آحاد آب	(مقدار اولیه و نرخ تعداد آحاد آب) INTEG	محاسبات پایه مدل‌سازی پویایی سیستم
۶	نرخ افزایش تعداد آحاد فاضلاب	(نرخ تعداد آحاد آب (ضریب تأثیر افزایش تعداد آحاد آب بر فاضلاب)	برازش داده‌های تاریخی و نظر خبرگان
۷	تعداد آحاد فاضلاب	(مقدار اولیه و نرخ تعداد آحاد فاضلاب) INTEG	محاسبات پایه مدل‌سازی پویایی سیستم
۸	نرخ بدهی مشترکین	(نرخ فروش (ضریب فروش تسویه نشده)	گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان (۱۴۰۱)
۹	نرخ وصول مطالبات	((بهره‌گیری از توان‌بخش خصوصی در وصول مطالبات (۰,۵) + (جریمه دیرکرد (۰,۲۵) + (تشویق در وصول (۰,۲۵))	داودآبادی و قنادی (۱۳۹۳) و نظرات خبرگان حوزه مالی

ردیف	نام متغیر	فرمول ریاضی برحسب سال	منبع
۱۰	توان بخش خصوصی در وصول مطالبات	(حساب‌های دریافتی پایان سال (ضریب تأثیر بهره‌گیری از بخش خصوصی بر حساب‌های دریافتی)	گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان (۱۴۰۲)
	حساب‌های دریافتی پایان سال	(مقدار اولیه و (نرخ وصول مطالبات - نرخ بدهی مشترکین)) INTEG	
۱۲	نرخ بازسازی و توسعه	$Max((1/((\text{سراجه بدهی مشترکین})) \times (\text{ضریب تأثیر سراجانه سهم هزینه نیروی کار}) + (\text{ضریب تأثیر سهم هزینه} + 1)))$ $\times (\text{نقدینگی، (زمان/سود) + نقدینگی، } > 0 \text{ (سود) } < 0, \text{ هزینه لازم برای هر یک کیلومتر توسعه/})$	مجموعه قوانین، تصویب‌نامه‌ها و آئین‌نامه‌های آب و فاضلاب (دفتر حقوقی وزارت نیرو، ۱۳۸۰)
۱۳	بازسازی و توسعه	(مقدار اولیه و (نرخ فرسودگی - نرخ بازسازی و توسعه)) INTEG	گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان (۱۴۰۱) و منطق پویایی سیستم

در راستای ارزیابی تأثیر استراتژی‌های بهبود بر شاخص‌های خروجی، روابط بین متغیرها بر اساس حلقه‌های بازخوردی مدل‌سازی و نمودار حالت و جریان آن در شکل ۴ ارائه شده است. هدف این مدل، افزایش مقادیر شاخص‌های نسبت‌گردش‌دارایی‌ها، پوشش سراجانه آحاد مشترکین، رشد بازار آب و فاضلاب و درجه حرفه‌ای شرکت با اعمال استراتژی می‌باشد. برای محاسبه این شاخص‌ها، از نسبت‌های استاندارد هر شاخص در صنعت استفاده گردید (جدول ۲). همچنین فرمول‌های ریاضی کلیدی مرتبط با شاخص‌های خروجی با بهره‌گیری از متون تخصصی، داده‌های صورت‌های مالی، مجموعه قوانین و مقررات آب و فاضلاب، نظرات خبرگان و منطق پویایی سیستم در جدول ۵ ارائه شده‌اند. این جدول شامل

ردیف	نام متغیر	فرمول ریاضی برحسب سال	منبع
			آب و فاضلاب
۳	نرخ توسعه شبکه توزیع و خطوط انتقال با لحاظ اعتبارات دولتی	$\left(\frac{\text{میزان نقدینگی (ضریب سرمایه گذاری)} + \text{میزان کل اعتبار تخصیص یافته (ضریب تخصیص اعتبار برای توسعه شبکه)}}{\text{هزینه لازم برای هر یک کیلومتر توسعه}} \right)$	مجموعه قوانین و مقررات آب و فاضلاب (دفتر حقوقی وزارت نیرو، ۱۳۸۷)
۴	تخصیص اعتبارات دولتی	$0.7 \times \left(\frac{\text{رشد پایه آحاد-رشد آحاد}}{\text{رشد پایه آحاد}} \right) + (1 + 0.3) \times \text{میزان پایه تخصیص اعتبارات دولتی}$	مجموعه قوانین، تصویب‌نامه‌ها و آئین‌نامه‌های آب و فاضلاب (دفتر حقوقی وزارت نیرو، ۱۳۸۰)
۵	مدیریت عملکرد کارکنان	<p>هدف هزینه نیروی کار به ازای هر آحاد</p> <p>هزینه نیروی کار به ازای هر آحاد</p>	داودآبادی و دولتشاهی (۱۴۰۰)
۶	هزینه نیروی کار به ازای هر آحاد آب و فاضلاب	<p>متوسط هزینه نیروی کار پوشش سرانه مشترکین</p>	داودآبادی و قنادی (۱۳۹۳)
۷	متوسط مصرف سالانه هر آحاد آب	<p>حجم فروش آب</p> <p>تعداد آحاد آب</p>	
۸	درجه حرفه‌ای بر اساس هزینه	$\left(\frac{\text{هزینه پایه در صنعت - متوسط هزینه نیروی کار}}{\text{حساسیت درجه ای حرفه به تغییرات هزینه}} \right) + 1$ <p>(ضریب کیفیت نظام جذب)</p>	مجموعه قوانین و مقررات آب و فاضلاب (دفتر حقوقی وزارت نیرو، ۱۳۸۷)
۹	فروش خالص	$\left(\frac{\text{نرخ فروش یک مترمکعب آب (متوسط مصرف سالانه هر آحاد (ضریب قیمتی استان (تعداد آحاد آب) + (نرخ دفع یک مترمکعب فاضلاب (متوسط سالانه حجم دفع فاضلاب (تعداد آحاد فاضلاب))}}{100} \right) + 1$	صورت‌های مالی شرکت‌های آب و فاضلاب
۱۰	کل دارایی‌ها	<p>دارایی‌های اولیه + (ضریب تأثیر توسعه شبکه بر کل دارایی‌ها (نرخ توسعه شبکه و خطوط انتقال)</p>	داودآبادی و قنادی (۱۳۹۳)

– آزمون مدل و اعتبارسنجی

برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها و صحت روابط تعریف شده در قالب الگوی پویایی سیستم، مجموعه‌ای از آزمون‌های ساختاری و رفتاری مطابق با استانداردهای این رویکرد انجام شد. این آزمون‌ها باهدف اطمینان از صحت ساختار مدل، همخوانی رفتار شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی و پایداری مدل در برابر تغییرات ورودی‌ها طراحی شدند. همچنین، تحلیل حساسیت برای بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای کلیدی بر نتایج مدل اجرا گردید.

آزمون‌های ساختاری:

۱. آزمون ساختار مدل^۱: ساختار حلقه‌های علی و روابط تعریف شده در مدل‌ها با استفاده از نظرات ۱۰ خبره صنعت آب و فاضلاب و استانداردهای صنعت بررسی شد. این آزمون اطمینان داد که روابط بین متغیرها (مانند نرخ فروش خالص و تعداد آحاد) با منطق عملیاتی و واقعیت‌های صنعت همخوانی دارد.
۲. آزمون یکپارچگی^۲: مدل‌ها در نرم‌افزار ونسیم برای اطمینان از نبود خطاهای ساختاری (مانند حلقه‌های بازخورد ناقص یا ناسازگاری واحدها) آزمایش شدند. این آزمون تأیید کرد که هر دو مدل در شرایط مختلف، عملکرد پایداری دارند.

آزمون‌های رفتاری:

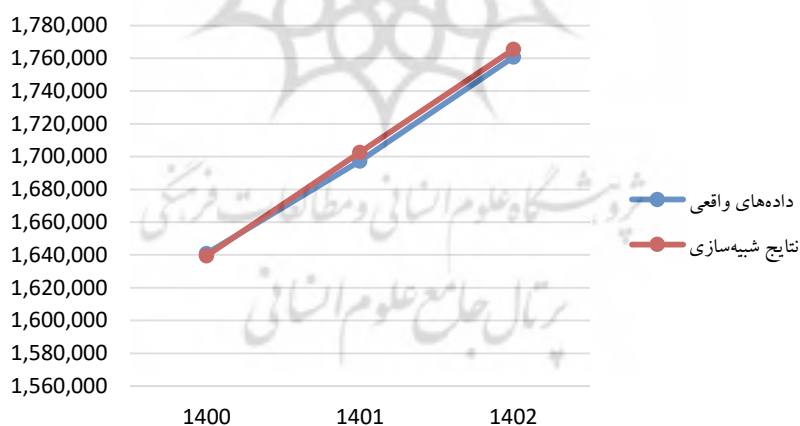
۱. آزمون رفتار مجدد^۳: هدف از این آزمون، مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل با داده‌های واقعی است که برای ایجاد اطمینان از همخوانی رفتار الگو با واقعیت موجود انجام می‌شود. به بیان دیگر، رفتار شبیه‌سازی شده مدل در این آزمون، بازتولید شده و با داده‌های واقعی مقایسه می‌گردد. در این راستا، از داده‌های واقعی یکی از شرکت‌های آب و فاضلاب

1. Model Structure Test
2. Integration Test
3. Behavioral reproduction test

استانی در سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۲ استفاده شده است.

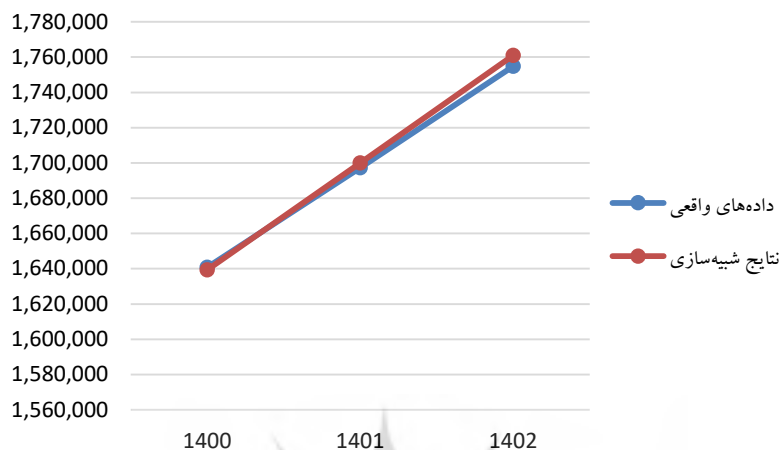
نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها و عملکرد واقعی برای متغیرهای کلیدی شامل «تعداد آحاد آب و فاضلاب» و «فروش خالص» مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. این دو متغیر از مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحت بررسی هستند و تغییرات آن‌ها بر عملکرد کلی سیستم تأثیر بسزایی دارد. نمودارهای شماره ۱ الی ۴، نتایج مدل‌سازی این متغیرها را با توجه به سیاست‌های اعمال شده نمایش می‌دهند. در این نمودارها، خطوط نارنجی نشان‌دهنده نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها و خطوط آبی بیان‌کننده داده‌های واقعی می‌باشند. لازم به ذکر است که هدف این آزمون، بازتولید دقیق رفتار واقعی نیست، بلکه ارزیابی تأثیر سیاست‌های اعمال شده بر روند تغییرات شاخص‌ها است؛ به عبارت دیگر، تمرکز تحلیل بر این است که آیا سیاست‌های اتخاذ شده باعث بهبود یا کاهش شاخص‌های مذکور می‌شوند و این تغییرات با چه شتابی رخ می‌دهند؛ بنابراین، پیش‌بینی مقادیر بیشتر از واقعیت برای فروش و تعداد آحاد با اعمال استراتژی‌های بهبود، با منطق مدل سازگار است.

تعداد آحاد آب و فاضلاب



نمودار ۱. مقایسه رفتار واقعی و نتایج شبیه‌سازی متغیر تعداد آحاد آب و فاضلاب در مدل ورودی

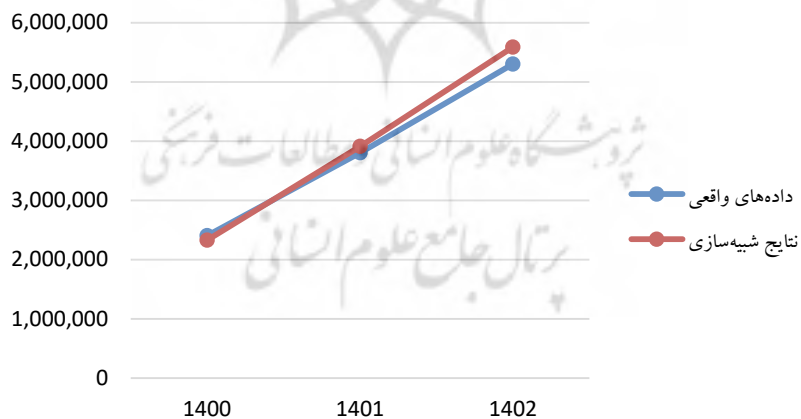
تعداد آحاد آب و فاضلاب



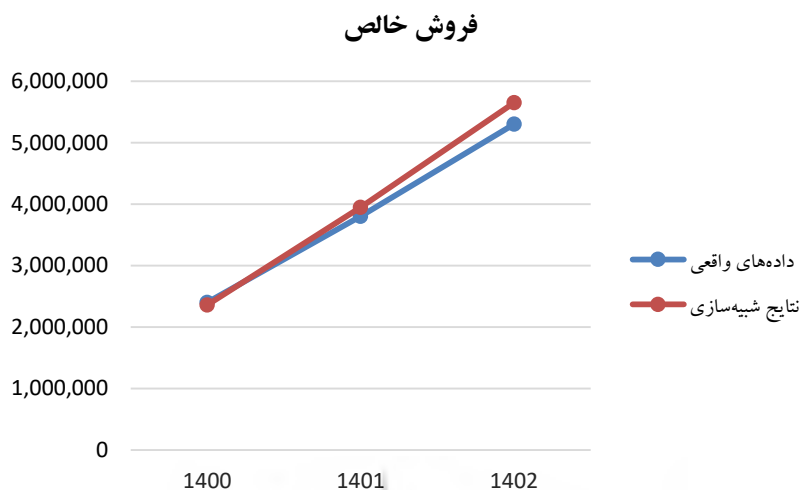
نمودار ۲. مقایسه رفتار واقعی و نتایج شبیه‌سازی متغیر تعداد آحاد آب و فاضلاب در مدل

خروجی

فروش خالص



نمودار ۳. مقایسه رفتار واقعی و نتایج شبیه‌سازی متغیر فروش خالص در مدل ورودی



نمودار ۴. مقایسه رفتار واقعی و نتایج شبیه‌سازی متغیر فروش خالص در مدل خروجی

۲. آزمون رفتار شدید^۱: مدل تحت شرایط شدید (مانند صفر شدن اعتبارات دولتی یا افزایش ناگهانی نرخ رشد جمعیت به ۱۰٪) آزمایش شد. نتایج نشان داد که مدل رفتارهای منطقی (مانند کاهش شدید نقدینگی در نبود اعتبارات) تولید کرده و از ناپایداری یا خروجی‌های غیرواقعی اجتناب می‌کند.

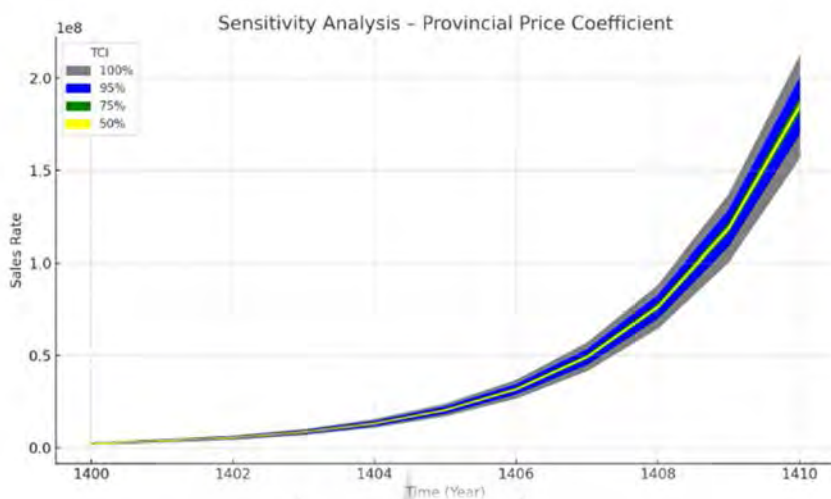
تحلیل حساسیت:

برای بررسی پایداری مدل‌ها، تحلیل حساسیت بر روی چهار پارامتر کلیدی شامل ضریب قیمتی استانی، ضریب تبدیل انشعاب غیرمجاز به مجاز، ضریب تأثیر مدیریت عملکرد و ضریب تخصیص اعتبار دولتی برای توسعه و بازسازی شبکه انجام گردید. هر پارامتر در بازه $\pm 20\%$ از مقدار پایه تغییر داده شد و تأثیر آن بر متغیرهای کلیدی شامل تعداد آحاد آب و فاضلاب و نرخ فروش خالص طی بازه زمانی ۱۴۰۰ تا ۱۴۱۰ مورد بررسی قرار گرفت.

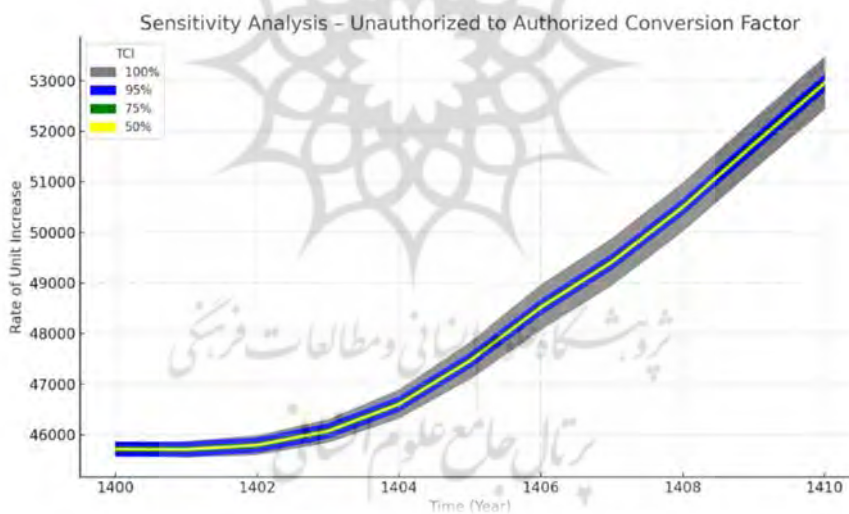
نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که ضریب قیمتی استانی، بیشترین تأثیر را بر نرخ

فروش خالص دارد. تغییر $\pm 20\%$ در این ضریب (از ۰,۸۸ تا ۱,۳۲) منجر به تغییر حدود 20% در نرخ فروش خالص شد که نشان‌دهنده حساسیت بالای مدل به این پارامتر است. در مقابل، ضریب تبدیل انشعاب غیرمجاز به مجاز (تغییر از ۰,۵۶ تا ۰,۸۴) تأثیر محدودی بر نرخ افزایش تعداد آحاد داشت و تغییر کمتر از 10% را نشان داد. همچنین، ضریب تأثیر مدیریت عملکرد (تغییر از ۰,۰۸ تا ۰,۱۲) و ضریب تخصیص اعتبار دولتی برای توسعه شبکه (تغییر از ۰,۰۲۸ تا ۰,۰۴۲) هر دو تأثیرات بسیار ناچیز (کمتر از $0,05\%$) بر نرخ افزایش تعداد آحاد داشتند. این نتایج تأیید می‌کند که مدل‌ها در برابر تغییرات ورودی پایدار هستند و نتایج آن‌ها به پارامترهای خاص بیش‌ازحد وابسته نیست، اما نرخ فروش به سیاست‌های قیمتی حساسیت بالایی دارد که می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک مورد توجه قرار گیرد.

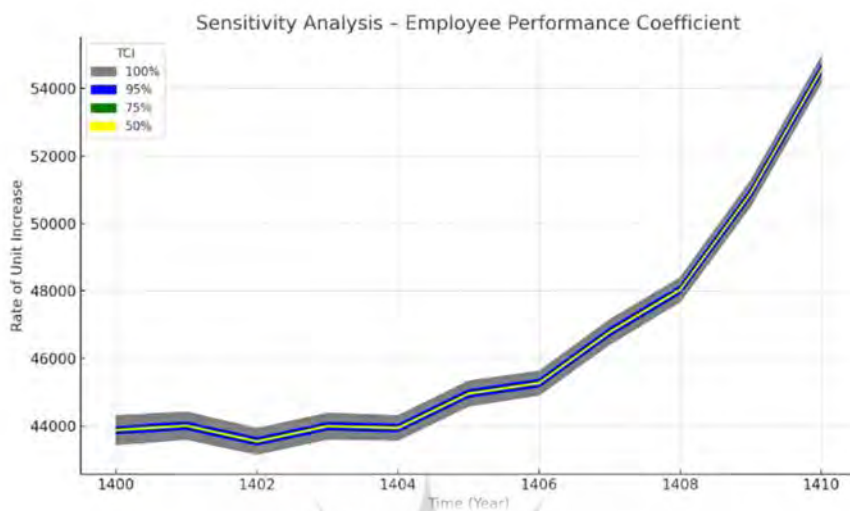
در نمودارهای شماره ۵ تا ۸، نتایج تحلیل حساسیت به صورت بصری در محیط نرم‌افزار Vensim نمایش داده شده‌اند. در این نمودارها، رنگ‌بندی استاندارد نرم‌افزار برای نمایش دامنه پراکندگی خروجی‌ها به کار رفته است؛ به طوری که نواحی زرد، سبز، آبی و خاکستری به ترتیب نمایانگر 50% ، 75% ، 95% و 100% پاسخ‌های ممکن سیستم در مواجهه با تغییرات پارامترها هستند. نتایج آزمون‌ها و شبیه‌سازی‌ها توسط ۱۰ خبره صنعت آب و فاضلاب بررسی و تأیید شد. این خبرگان صحت روابط، منطق حلقه‌های بازخورد و رفتار شبیه‌سازی‌شده را با تجربیات عملیاتی مقایسه کردند. نتایج کلی نشان داد که مدل‌های طراحی‌شده توانایی شبیه‌سازی تغییرات رفتاری ناشی از استراتژی‌های بهبود را دارند و می‌توانند به عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل و ارزیابی سیاست‌ها مورد استفاده قرار گیرند. هر دو مدل (ورودی و خروجی) از اعتبار ساختاری و عملکردی برخوردار هستند.



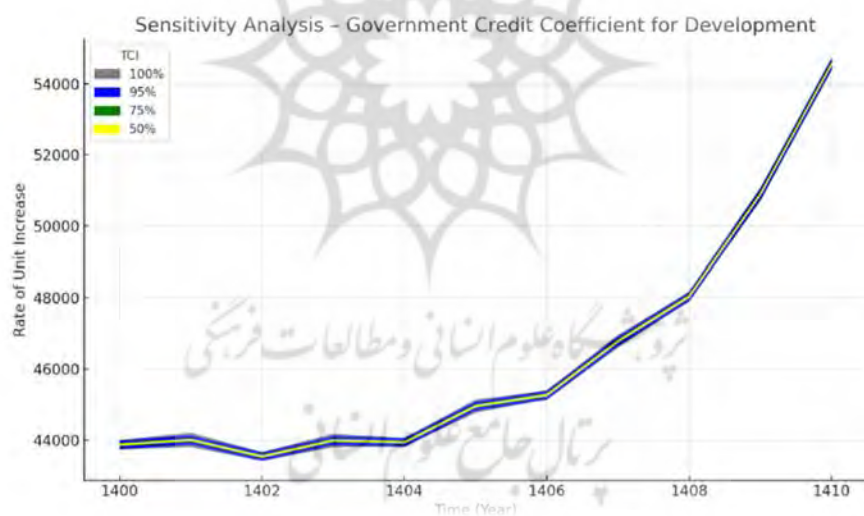
نمودار ۵. تحلیل حساسیت نرخ فروش خالص نسبت به تغییر ضریب قیمتی استانی



نمودار ۶. تحلیل حساسیت افزایش تعداد آحاد نسبت به تغییر ضریب تبدیل انشعاب غیرمجاز به مجاز



نمودار ۷. تحلیل حساسیت افزایش تعداد آحاد نسبت به تغییر ضریب مدیریت عملکرد



نمودار ۸. تحلیل حساسیت افزایش تعداد آحاد نسبت به تغییر ضریب تخصیص اعتبار دولتی برای توسعه شبکه

- طراحی و تحلیل سناریوها

برای تحلیل تأثیر استراتژی‌های بهبود عملکرد بر شاخص‌های کلیدی شرکت‌های آب و

استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد؛ فروغی و همکاران | ۲۱۷

فاضلاب، ۸ سناریو طراحی شد که شامل ۴ سناریو برای کاهش شاخص‌های ورودی (دوره وصول مطالبات، سرانه بدهی آحاد مشترکین، آب به حساب نیامده و سهم هزینه نیروی کار به فروش) و ۴ سناریو برای افزایش شاخص‌های خروجی (نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین، رشد بازار آب و فاضلاب و درجه حرفه‌ای شرکت) می‌باشد. این سناریوها باهدف پوشش چالش‌های اصلی صنعت، از جمله نقدینگی پایین، اتلاف منابع و نیاز به توسعه بازار طراحی شده‌اند که در اسناد بالادستی (برنامه‌های ششم و هفتم توسعه) و گزارش‌های سازمانی شرکت‌های آب و فاضلاب (صورت‌های مالی و گزارش بودجه) به‌عنوان اولویت‌ها مطرح شده‌اند.

انتخاب سناریوها بر اساس فرضیه‌های دینامیکی (شکل‌های ۱ و ۲) و حلقه‌های علی‌تقویت‌کننده و متعادل‌کننده انجام شد که تعاملات پیچیده میان متغیرهای سیستم را مدل‌سازی می‌کنند. برای نمونه، سناریوی کاهش دوره وصول مطالبات با فرضیه‌های ۵، ۶ و ۷ (حلقه‌های B2، B3، B4) در مدل ورودی هم‌راستاست که بر بهبود نقدینگی تأکید دارند. به‌طور مشابه، سناریوی افزایش نسبت گردش دارایی‌ها با فرضیه ۱ (حلقه R1) در مدل خروجی مرتبط است که بر تقویت فروش و توسعه زیرساخت تمرکز دارد.

همچنین سناریوها با ۱۴ استراتژی بهبود (جدول ۳) هم‌راستا هستند که از تحلیل اسناد، نظرات خبرگان و مطالعات پیشین استخراج شده‌اند. به‌عنوان مثال، استراتژی‌های ۱ و ۲ (سیاست‌های تشویقی/تنبیهی و استفاده از بخش خصوصی) در سناریوی کاهش دوره وصول مطالبات و استراتژی‌های ۵، ۱۰ و ۱۱ (رفع انشعابات غیرمجاز، اعتبارات دولتی و توسعه شبکه) در سناریوی رشد بازار استفاده شدند. بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۴۱۰ برای شبیه‌سازی انتخاب شد تا اثرات بلندمدت استراتژی‌ها ارزیابی شود که با رویکرد پویایی سیستم و نیاز به تحلیل پایداری همخوان است (Bianchi, 2012).

– شبیه‌سازی مدل و نتایج

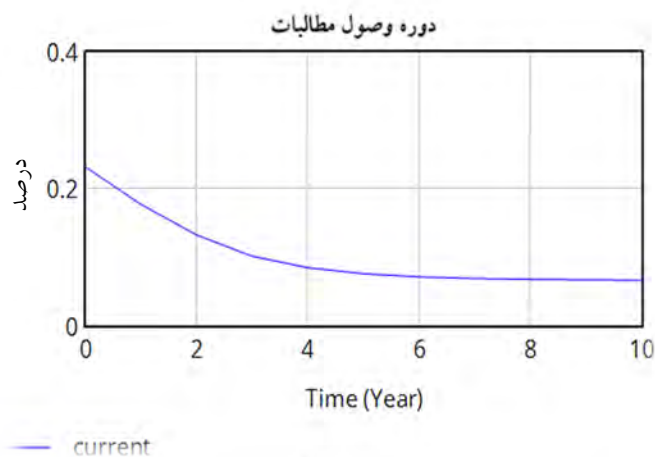
مدل‌های پویای سیستم برای شاخص‌های کلیدی ورودی و خروجی عملکرد در بازه ۱۴۰۰ تا ۱۴۱۰ با گام زمانی سالانه در نرم‌افزار ونسیم شبیه‌سازی شدند. این بازه زمانی به دلیل

دسترسی به داده‌های عملکردی معتبر و نیاز به ارزیابی اثرات بلندمدت استراتژی‌های بهبود انتخاب شد. تمرکز مدل‌سازی بر تحلیل روندهای رفتاری سیستم در پاسخ به اجرای هم‌زمان ۱۴ استراتژی بهبود (جدول ۳) بوده است که در قالب سناریوی پایه پیاده‌سازی شدند تا اثراتشان بر شاخص‌های کلیدی عملکرد بررسی شود. برخلاف مدل‌های سنتی پویایی سیستم که معمولاً روی یک یا دو استراتژی متمرکز می‌شوند، این مدل با شبیه‌سازی اثرات ترکیبی ۱۴ استراتژی از طریق چندین حلقه بازخوردی، امکان تحلیل جامع تعاملات سیستمی را فراهم نمود (Sterman, 2000). مدل‌ها با انعطاف‌پذیری بالا طراحی شدند و به‌جای پیش‌بینی مقادیر عددی دقیق، بر تحلیل روندها و رفتار کلی سیستم تأکید دارند. شبیه‌سازی‌ها به‌صورت پیوسته اجرا شد و مقادیر متغیرها در پایان هر سال به‌روزرسانی گردید تا پویایی‌های سیستم به‌طور مستمر شناسایی شود.

سناریوهای مدل ورودی

نتایج شبیه‌سازی شاخص‌های ورودی (دوره وصول مطالبات، سرانه بدهی آحاد مشترکین، آب به‌حساب نیامده و سهم هزینه نیروی کار به فروش) در نمودارهای ۹ تا ۱۲ ارائه شده است. این نتایج بیانگر تأثیر استراتژی‌های بهبود بر کارایی عملیاتی و پایداری مالی هستند:

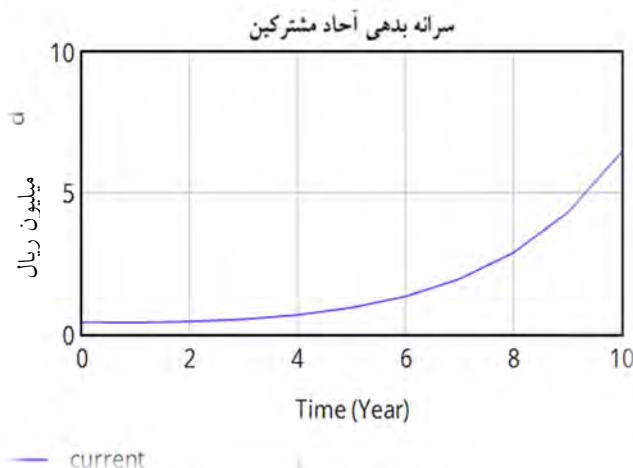
۱. کاهش دوره وصول مطالبات: در آغاز دوره، میزان شاخص دوره وصول مطالبات معادل ۲۷,۲۲٪ از فروش سالانه بود. در مدل، سه استراتژی بر این شاخص مؤثر شناخته شدند: اجرای سیاست‌های تشویقی و تنبیهی (استراتژی ۱)، بهره‌گیری از بخش خصوصی برای وصول مطالبات (استراتژی ۲) و به‌صورت غیرمستقیم، تخصیص درآمد برای توسعه شبکه (استراتژی ۱۳) که از طریق افزایش فروش، بر کاهش این شاخص تأثیر گذاشت. با اجرای هم‌زمان این استراتژی‌ها، حلقه بازخوردی مثبتی میان افزایش درآمد، تقویت نقدینگی و افزایش انگیزش مشترکین برای پرداخت به‌موقع شکل گرفت. این تعامل باعث کاهش مستمر این شاخص تا سطح ۰,۶۴٪ در پایان دوره شبیه‌سازی شد (نمودار ۹).



نمودار ۹. نتیجه شبیه‌سازی برای شاخص دوره وصول مطالبات - مدل ورودی

کاهش شاخص دوره وصول مطالبات نشان می‌دهد که اعمال ترکیبی سیاست‌های تشویقی، واگذاری و وصول مطالبات به بخش خصوصی و سرمایه‌گذاری تو سعه‌ای می‌تواند چرخه درآمدی شرکت را اصلاح و جریان نقدینگی را به‌طور محسوسی تقویت کند. این موضوع به‌ویژه در شرکت‌هایی با محدودیت منابع مالی، از اهمیت راهبردی برخوردار است. یافته‌ها حاکی از آن است که تمرکز صرف بر اقدامات تنبیهی، بدون پشتیبانی ساختاری از طریق انگیزش و سرمایه‌گذاری، در بهبود عملکرد مالی کفایت نخواهد داشت. چنین ترکیب سیاستی می‌تواند به‌عنوان یک چارچوب مؤثر در شرکت‌های مشابه مورد توجه قرار گیرد.

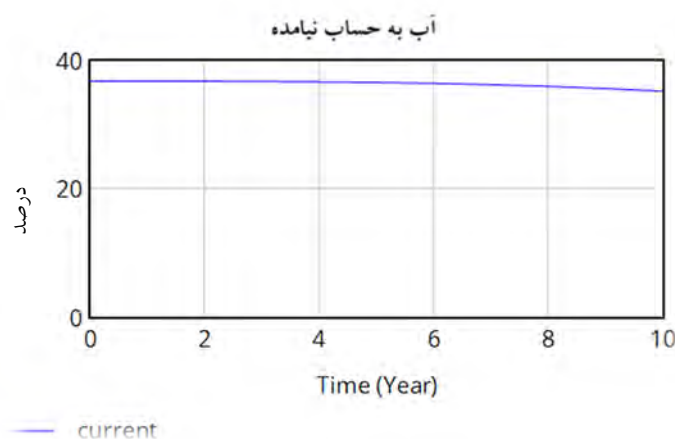
۲. سرانه بدهی آحاد مشترکین: با وجود اجرای استراتژی‌های ۱، ۲ و ۱۳، این شاخص از میزان ۰/۰۴۲۲۴۹ میلیون ریال به ۰/۰۶۴۳۲۴۲ میلیون ریال در پایان دوره شبیه‌سازی افزایش یافت (نمودار ۱۰). این رشد عمدتاً ناشی از عوامل برون‌زا مانند تورم، افزایش تعرفه‌ها و رشد تعداد آحاد مشترکین بود. با این حال، استراتژی‌های ۱ و ۲ با کاهش تأخیر در وصول مطالبات، از تشدید آثار منفی این افزایش بر حساب‌های دریافتی جلوگیری کردند. در واقع، این مداخلات با تعدیل نرخ رشد شاخص، نقش مؤثری در پیشگیری از بروز پیامدهای مالی نامطلوب ایفا کردند.



نمودار ۱۰. نتیجه شبیه‌سازی برای شاخص سرانه بدهی آحاد مشترکین - مدل ورودی

رشد شاخص سرانه بدهی، علی‌رغم اجرای مداخلات مدیریتی، حاکی از آن است که سیاست‌های داخلی در برابر فشارهای بیرونی نظیر تورم و افزایش تعرفه‌ها، ظرفیت کنترل محدودی دارند. باین حال، کاهش تأخیر در وصول مطالبات به مهار نو سانات و جلوگیری از انباشت بی‌رویه بدهی کمک کرده است. این یافته نشان می‌دهد که حتی در شرایطی که کنترل کامل شاخص ممکن نیست، می‌توان با استراتژی‌های هدفمند، از بروز پیامدهای مالی شدید پیشگیری نمود.

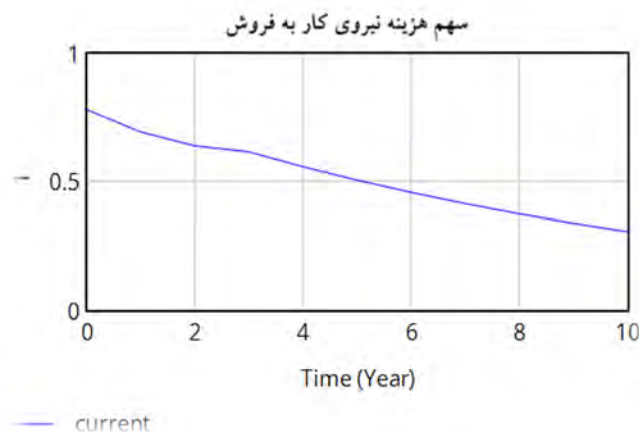
۳. کاهش آب به حساب نیامده: شاخص آب به حساب نیامده در مدل تحت تأثیر اجرای مجموعه‌ای از استراتژی‌ها شامل رفع نشتی (استراتژی ۴)، شناسایی انشعابات غیرمجاز (استراتژی ۵)، تعویض کنتورهای معیوب (استراتژی ۶)، فاینانس کنتورهای هوشمند (استراتژی ۷) و مهندسی مجدد تأسیسات (استراتژی ۱۴) قرار گرفت. این اقدامات از طریق دو مسیر کاهش هدررفت فیزیکی و افزایش دقت اندازه‌گیری، موجب کاهش این شاخص به ۰,۴۴٪ در پایان دوره شبیه‌سازی شدند (نمودار ۱۱).



نمودار ۱۱. نتیجه شبیه‌سازی برای شاخص آب به حساب نیامده- مدل ورودی

کاهش تدریجی شاخص آب به حساب نیامده، علیرغم محدودیت منابع مالی، نشان می‌دهد که اجرای هم‌زمان اقدامات ساختاری و فناورانه همچون رفع نشتی، مهندسی مجدد تأسیسات و استفاده از کنتورهای هوشمند، می‌تواند در کنترل تلفات شبکه و افزایش بهره‌وری مؤثر باشد. این نتیجه بیانگر آن است که حتی کاهش‌های ملایم، در چارچوب یک رویکرد تلفیقی و هماهنگ، می‌توانند پایداری عملکرد و بهبود بلندمدت شاخص‌های مالی را به همراه داشته باشند.

۴. کاهش سهم هزینه نیروی کار به فروش: این شاخص با اجرای استراتژی‌های استفاده از بخش خصوصی (استراتژی ۲)، مدیریت عملکرد کارکنان (استراتژی ۳)، شناسایی انشعابات غیرمجاز (استراتژی ۵)، تعویض کنتورها (استراتژی ۶)، فاینانس کنتورهای هوشمند (استراتژی ۷) و ارتقای ضریب قیمتی آب‌بها (استراتژی ۹) به تدریج کاهش یافت (نمودار ۱۲). مشارکت بخش خصوصی در وصول مطالبات، اعمال نظام پاداش مبتنی بر عملکرد و افزایش فروش، نسبت هزینه به درآمد را بهبود بخشید. روند این شاخص نشان می‌دهد که اقدامات تدریجی و هدفمند در طول زمان، به کاهش پایدار و قابل اتکای سهم نیروی کار در هزینه‌های عملیاتی منجر شده است.



نمودار ۱۲. نتیجه شبیه‌سازی برای شاخص سهم هزینه نیروی کار به فروش - مدل ورودی

سناریوهای مدل خروجی

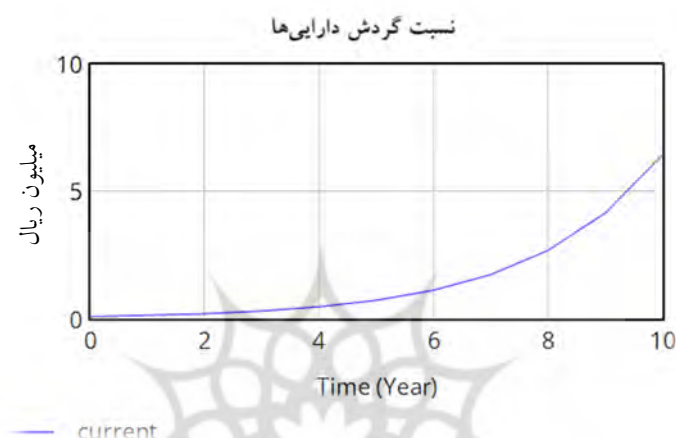
کاهش تدریجی سهم هزینه نیروی کار به فروش، بیانگر اثربخشی هم‌زمان استراتژی‌های ساختاری، فناورانه و قیمتی است. مشارکت بخش خصوصی، استقرار نظام‌های ارزیابی عملکرد و رشد فروش از محل کنترل مصارف غیرمجاز، به کاهش فشار هزینه‌ای نیروی انسانی کمک کرده‌اند. این تجربه نشان می‌دهد که در شرکت‌های با هزینه پرسنلی بالا، می‌توان با ارتقای عملکرد و تحریک درآمد، بدون رویکرد انقباضی، به بهبود بهره‌وری دست یافت. این روند، الگویی از بهره‌وری رشد‌محور ارائه می‌دهد که در شرکت‌های خدماتی مشابه نیز قابل تعمیم است.

نتایج شبیه‌سازی برای شاخص‌های خروجی (نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین، رشد بازار آب و فاضلاب و درجه حرفه‌ای شرکت) در نمودارهای ۱۳ تا ۱۶ ارائه شده است. این سناریوها تأثیر استراتژی‌های بهبود را بر پایداری مالی، توسعه بازار آب و فاضلاب و بهره‌وری منابع انسانی به‌طور جامع بررسی کرده‌اند:

۵. افزایش نسبت گردش دارایی‌ها: این شاخص که بیانگر کارایی استفاده از منابع فیزیکی است، در نتیجه اجرای استراتژی‌های شناسایی از شعبات غیرمجاز (استراتژی ۵)،

استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد؛ فروغی و همکاران | ۲۲۳

ارتقای ضریب قیمتی آب‌بها (استراتژی ۹) و توسعه شبکه توزیع از محل اعتبارات دولتی (استراتژی ۱۱)، به میزان ۵۴٪ رشد یافت (نمودار ۱۳). افزایش تعداد آحاد مشترکین و مقدار فروش، در کنار کنترل مصارف غیرمجاز، موجب بهبود چرخه تبدیل دارایی‌های سرمایه‌ای به درآمد عملیاتی گردید.

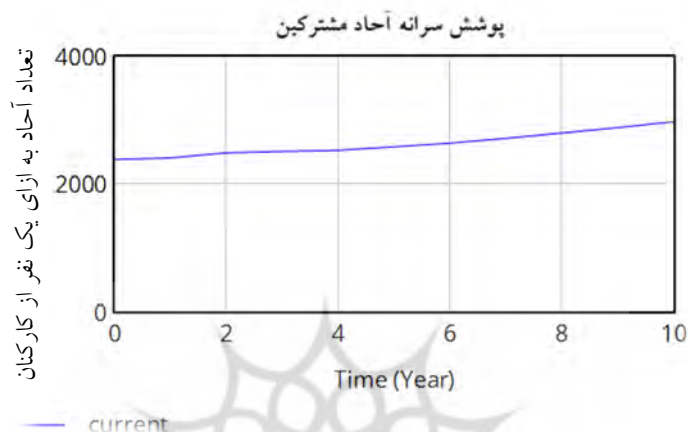


نمودار ۱۳. نتیجه شبیه‌سازی برای شاخص نسبت گردش دارایی‌ها- مدل خروجی

رشد قابل توجه نسبت گردش دارایی‌ها بیانگر افزایش بهره‌وری در استفاده از زیرساخت‌های موجود است. اجرای هم‌زمان استراتژی‌های کنترل مصارف غیرمجاز، ارتقای تعرفه‌ها و توسعه شبکه، موجب بهبود ظرفیت بهره‌برداری و نسبت درآمد به دارایی شده است. این یافته نشان می‌دهد که بدون نیاز به سرمایه‌گذاری سنگین، بهینه‌سازی دارایی‌های موجود می‌تواند بازده عملیاتی را ارتقا دهد. برای تصمیم‌گیران، این شاخص معیار مناسبی برای ارزیابی کارایی ساختاری سیاست‌های توسعه‌ای و قیمتی است.

۶. افزایش پوشش سرانه مشترکین: در این سناریو، اجرای استراتژی‌های مدیریت عملکرد کارکنان (استراتژی ۳)، شناسایی انشعابات غیرمجاز (استراتژی ۵)، توانمندسازی منابع انسانی (استراتژی ۸)، بهره‌گیری از اعتبارات دولتی برای تأمین خدمات پایدار آب (استراتژی ۱۰) و توسعه شبکه توزیع (استراتژی ۱۱)، منجر به افزایش ۲۵٪ در پوشش

سرانه خدمات شد (نمودار ۱۴). تعامل میان ظرفیت نیروی انسانی، منابع توسعه‌ای و زیرساخت‌های فیزیکی، به بهبود دسترسی مشتریان به خدمات و ارتقاء بهره‌وری عملیاتی منجر گردید.



نمودار ۱۴. نتیجه شبیه‌سازی برای شاخص پوشش سرانه آحاد مشترکین - مدل خروجی

افزایش تدریجی پوشش سرانه مشترکین نشان می‌دهد که هم‌افزایی میان بهبود عملکرد نیروی انسانی، توسعه زیرساخت‌ها و کنترل مصارف غیرمجاز، به بهره‌برداری مؤثرتر از ظرفیت شبکه و افزایش دسترسی به خدمات منجر شده است. این روند بیانگر آن است که ارتقای شاخص‌های دسترسی، لزوماً به افزایش ظرفیت فیزیکی وابسته نیست و می‌توان از طریق اصلاح سازوکارهای داخلی به نتایج مؤثر دست یافت. برای مدیران، این شاخص معیاری کاربردی برای سنجش اثربخشی سیاست‌های ارتقای پوشش خدمات و بهینه‌سازی استفاده از ظرفیت‌های موجود به‌شمار می‌آید.

۷. افزایش رشد بازار آب و فاضلاب: این شاخص با مشارکت استراتژی‌های شناسایی انشعابات غیرمجاز (استراتژی ۵)، استفاده از اعتبارات دولتی (استراتژی ۱۰)، توسعه شبکه توزیع (استراتژی ۱۱) و تبدیل املاک نسق به انشعاب (استراتژی ۱۲) بهبود یافت. نرخ رشد سالانه به‌طور متوسط در حدود ۳٫۲٪ حفظ شد و جذب تعداد آحاد بیشتر در پایان دوره به

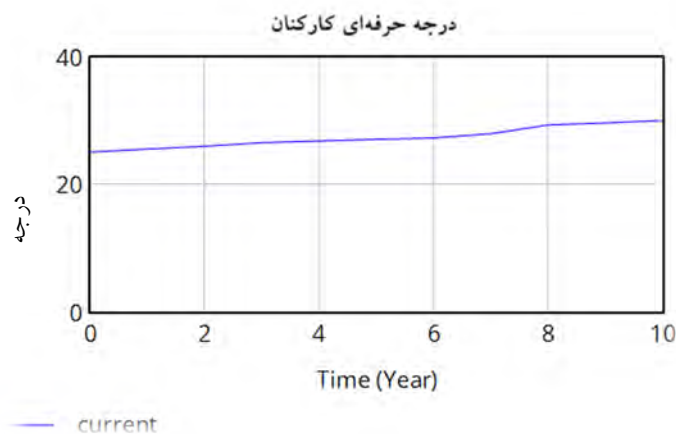
افزایش ۲ تا ۴ درصدی آن انجامید (نمودار ۱۵).



نمودار ۱۵. نتیجه شبیه‌سازی برای شاخص رشد بازار آب و فاضلاب- مدل خروجی

رشد بازار آب و فاضلاب به‌واسطه ترکیب اقدامات فنی، مالی و حقوقی، نشان‌دهنده گسترش پایدار دامنه خدمات است. اختصاص انشعاب به املاک نسق، توسعه زیرساخت‌ها با استفاده از منابع دولتی و کنترل مصرف‌های غیرمجاز، از عوامل کلیدی افزایش ظرفیت بازار محسوب می‌شوند. تثبیت نرخ رشد سالانه در حدود بیش از ۳٪ بیانگر آن است که حتی در شرایط محدودیت منابع، امکان جذب مشترکین جدید و بهبود پوشش خدمات فراهم است. این شاخص می‌تواند به‌عنوان معیاری مهم برای تصمیم‌گیرندگان در ارزیابی اثربخشی سیاست‌های توسعه بازار و بهینه‌سازی ساختار تقاضا مورد استفاده قرار گیرد.

۸. افزایش درجه حرفه‌ای شرکت: اجرای استراتژی‌های مدیریت عملکرد کارکنان (استراتژی ۳) و ارتقای نظام جذب و توانمندسازی منابع انسانی (استراتژی ۸)، موجب افزایش شاخص درجه حرفه‌ای شرکت از ۲۵ به ۲۹ در پایان دوره شد (نمودار ۱۶). این شاخص که بیانگر سطح تخصص، مهارت و دانش حرفه‌ای کارکنان است، نقش کلیدی در ارتقاء کیفیت خدمات، بهبود بهره‌وری و تقویت عملکرد سازمانی ایفا می‌کند.



نمودار ۱۶. نتیجه شبیه‌سازی برای شاخص درجه حرفه‌ای کارکنان - مدل خروجی

افزایش شاخص درجه حرفه‌ای شرکت، حاصل اجرای استراتژی‌های ارتقای عملکرد و توانمندسازی منابع انسانی است که به بهبود مهارت‌های تخصصی و کارکرد سازمانی منجر گردید. این ارتقاء سرمایه انسانی، ضمن افزایش کیفیت خدمات، بهره‌وری عملیاتی و پاسخگویی به نیازهای مشترکین را بهبود بخشیده و زمینه ساز پایداری عملکرد شرکت شده است. از این رو، این شاخص می‌تواند معیاری معتبر برای ارزیابی اثربخشی سیاست‌های توسعه سرمایه انسانی تلقی شود.

در این پژوهش، تمامی ۱۴ استراتژی بهبود در مدل پویایی سیستم لحاظ شده و آثار آن‌ها از طریق حلقه‌های بازخوردی و روابط علی و معلولی، در قالب هشت سناریوی رفتاری بررسی شد. استراتژی‌های ورودی، نظیر سیاست‌های تشویقی/تنبیهی در وصول مطالبات، شناسایی انشعابات غیرمجاز و استفاده از ظرفیت بخش خصوصی، به بهبود کارایی عملیاتی و ارتقاء پایداری مالی منجر شدند. در مقابل، استراتژی‌های خروجی، از جمله بهره‌گیری از اعتبارات دولتی، توسعه زیرساخت‌های توزیع و توانمندسازی منابع انسانی، به رشد بازار آب و فاضلاب و افزایش بهره‌وری کمک کردند. یافته‌های مدل‌سازی رفتاری نشان می‌دهد که ترکیب هدفمند این استراتژی‌ها، می‌تواند به صورت هم‌زمان، تعادل مناسبی میان بهبود کارایی در کوتاه‌مدت و

دستیابی به پایداری مالی در بلندمدت برقرار سازد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد پویایی سیستم (SD) و استفاده از نرم‌افزار ونسیم، دو مدل جامع و نوآورانه برای شبیه‌سازی و تحلیل تعاملات پیچیده میان ۱۴ استراتژی بهبود و شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه مدیریت شرکت‌های آب و فاضلاب ارائه شده است. تمایز کلیدی این مطالعه در تفکیک شاخص‌های ورودی و خروجی و توسعه مدل‌های مجزا برای هر گروه است که امکان تحلیل دقیق و یکپارچه پویایی‌های سیستم را فراهم می‌کند. مدل ورودی بر کاهش شاخص‌های دوره وصول مطالبات، سرانه بدهی آحاد مشترکین، آب به حساب نیامده و سهم هزینه نیروی کار به فروش تمرکز داشته است؛ در حالی که مدل خروجی بر افزایش نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین، رشد بازار آب و فاضلاب و درجه حرفه‌ای شرکت متمرکز می‌باشد. این مدل‌ها، با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص خود و اعمال استراتژی‌های متنوع، قابلیت شبیه‌سازی سناریوهای مختلف را فراهم می‌آورند. هشت سناریو شامل چهار سناریو برای کاهش شاخص‌های مدل ورودی و چهار سناریو برای افزایش شاخص‌های مدل خروجی در اثر به کارگیری ۱۴ استراتژی‌های بهبود، بررسی و نتایج آن‌ها شبیه‌سازی شده است.

یافته‌ها بیانگر توانایی مدل‌ها در شبیه‌سازی حلقه‌های بازخوردی متعدد و تحلیل اثرات ترکیبی استراتژی‌های بهبود می‌باشد. برخلاف مطالعات پیشین که اغلب بر یک یا دو استراتژی متمرکز بودند، این پژوهش نشان داد که ترکیب استراتژی‌هایی نظیر سیاست‌های تشویقی/تنبیهی، بهره‌گیری از بخش خصوصی، توسعه شبکه و توانمندسازی منابع انسانی، نه تنها کارایی عملیاتی را در کوتاه‌مدت بهبود بخشید، بلکه با تقویت جریان نقدینگی، کاهش اتلاف منابع و افزایش دسترسی به خدمات، پایداری بلندمدت سیستم را تضمین نمود. این یکپارچگی استراتژیک، نشان‌دهنده قدرت مدل‌های توسعه‌یافته در ارائه راه‌حل‌های عملی برای چالش‌های پیچیده مدیریت آب و فاضلاب است. به‌عنوان مثال، بهبود هم‌زمان شاخص‌های ورودی (مانند دوره وصول مطالبات و آب به حساب نیامده) و خروجی (مانند نسبت گردش دارایی‌ها و

پوشش سرانه مشترکین) تأیید می‌کند که رویکرد سیستمی این پژوهش می‌تواند تعادل مؤثری بین اهداف کوتاه‌مدت و بلندمدت برقرار نماید.

در مدل خروجی، استراتژی‌هایی مانند توسعه شبکه، استفاده از اعتبارات دولتی و توانمندسازی منابع انسانی به تقویت شاخص‌هایی نظیر نسبت گردش دارایی‌ها، پوشش سرانه مشترکین و رشد بازار منجر شدند. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و منابع انسانی، به‌ویژه در بستر افزایش تقاضا و رشد تعداد آحاد مشترکین، می‌تواند بهره‌وری و دسترسی به خدمات را به‌طور پایدار ارتقا دهد. با این حال، نوسانات جزئی در شاخص رشد بازار نشان‌دهنده تأثیر عوامل خارجی مانند محدودیت‌های مالی و تغییرات تقاضا است که نیازمند مدیریت فعال و انطباق‌پذیری در اجرای استراتژی‌ها می‌باشد.

یکی از چالش‌های کلیدی شناسایی شده در این مطالعه، محدودیت منابع مالی و تخصیص ناکافی بودجه به بازسازی شبکه بوده که اثرات آن در کاهش محدود شاخص آب به حساب نیامده مشهود است. این محدودیت، ضرورت بازنگری در اولویت‌بندی تخصیص منابع و بهره‌گیری از منابع جایگزین نظیر اعتبارات دولتی را برجسته می‌کند. همچنین، افزایش سرانه بدهی آحاد مشترکین، هرچند تحت تأثیر تورم و رشد نرخ‌ها بود، نشان‌دهنده نیاز به سیاست‌های مکمل برای مدیریت اثرات اقتصادی بر مشترکین و حفظ تعادل مالی شرکت است.

از منظر مدیریتی، این مطالعه بر اهمیت هماهنگی بین استراتژی‌های مختلف تأکید دارد. به‌عنوان مثال، بهبود درجه حرفه‌ای کارکنان نه تنها کیفیت خدمات را ارتقا داد، بلکه با افزایش بهره‌وری نیروی کار، به کاهش سهم هزینه نیروی کار به فروش و بهبود سایر شاخص‌ها کمک نمود. این تعاملات متقابل نشان می‌دهند که موفقیت در مدیریت آب و فاضلاب به رویکردی یکپارچه وابسته است که در آن استراتژی‌های منابع انسانی، زیرساختی و مالی به صورت هم‌افزا عمل کنند. علاوه بر این، مدل‌های ارائه‌شده به دلیل انعطاف‌پذیری بالا، قابلیت تطبیق با شرایط مختلف و شبیه‌سازی سناریوهای متنوع را دارند که آن‌ها را به ابزاری ارزشمند برای تصمیم‌گیران تبدیل می‌کند.

توصیه می‌شود مدیران شرکت‌های آب و فاضلاب بر استراتژی‌های ترکیبی مانند فاینانس

استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد؛ فروغی و همکاران | ۲۲۹

کنتورهای هوشمند، توسعه شبکه و توانمندسازی منابع انسانی تمرکز کرده تا پایداری مالی و توسعه بازار را تقویت کنند. پایش بلندمدت عملکرد با داده‌های بیشتر از شرکت‌های مختلف می‌تواند نتایج را بهبود بخشد. محدودیت‌های مطالعه شامل دسترسی محدود به داده‌های برخی شرکت‌ها و پیچیدگی‌های عملیاتی در اجرای استراتژی‌ها بود که در تحقیقات آتی قابل بررسی است. همچنین، گنجاندن عوامل خارجی مانند تغییرات اقلیمی و تحولات فناوری در مدل‌ها نیز می‌تواند مورد تحلیل قرار گیرد.

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم و اعمال استراتژی‌های هدفمند، می‌توان به بهبود شاخص‌های کلیدی عملکرد در مدیریت آب و فاضلاب دست یافت. این نتایج نه تنها به درک بهتر تعاملات پیچیده میان شاخص‌ها کمک می‌کند، بلکه راهنمایی‌های مفیدی برای تصمیم‌گیران در طراحی سیاست‌های پایدار و کارآمد ارائه می‌دهد.

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافع در رابطه با انتشار این مقاله وجود ندارد.

سپاسگزاری


بدین وسیله از همکاری و راهنمایی‌های ارزشمند خبرگان صنعت آب و فاضلاب که در انجام این پژوهش نقش آفرینی نمودند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

ORCID


Nahid Foroughi

 <http://orcid.org/0009-0000-9938-1533>


Mahmoud Moradi

 <http://orcid.org/0000-0002-6272-7892>

Keikhosro Yakideh

 <http://orcid.org/0000-0002-8993-4576>

Mohammad Rahim Ramazanian

 <http://orcid.org/0000-0003-1026-8636>

منابع

۱. ایزدیار، مهدی، طلوعی اشلقی، عباس و سیدحسینی، سیدمحمد. (۱۴۰۰). رویکرد پویایی سیستم برای ارزیابی عملکرد پایداری شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین لارج در صنعت قطعه‌سازی خودرو. *مدیریت بهره‌وری (فراسوی مدیریت)*، ۱۵(۴)، ۱۵۹-۱۹۲.
<https://www.sid.ir/paper/999208/fa>
۲. آئین‌نامه‌های تعرفه‌ای وزارت نیرو. (۱۴۰۰). وزارت نیرو.
۳. برنامه استراتژیک شرکت آب و فاضلاب گیلان. (۱۴۰۱). شرکت آب و فاضلاب گیلان.
۴. برنامه استراتژیک شرکت‌های آب و فاضلاب آذربایجان غربی و هرمزگان. (۱۴۰۰). شرکت‌های آب و فاضلاب آذربایجان غربی و هرمزگان.
۵. حجازی، ناصر، جهانگیرفرد، مجید و میاندرق، امیر. (۱۴۰۳). ارائه الگوی مدیریت هوشمند مبتنی بر بهبود بخشی به عملکرد رفتاری سازمان در شرکت آب و فاضلاب استان تهران. *مجله مدیریت صنعتی*، ۱۹(۶۷)، ۸۲-۱۰۳.
۶. جهانیان، سعید، امینی، فائزه و شائمی برزکی، علی. (۱۳۹۷). شناسایی سیاست‌های بهبود ظرفیت جذب دانش و تأثیر آن‌ها بر عملکرد سازمانی با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم. *مدیریت نوآوری*، ۷(۳)، ۱۴۳-۱۶۸. <https://civilica.com/doc/1895407>
۷. داودآبادی، محمد و قنادی، مجید. (۱۳۹۳). *راهنمای جامع مدیریت مالی و اقتصادی صنعت آب و فاضلاب (به همراه تحلیل مؤلفه‌های مالی و اقتصادی-از تئوری تا عمل)*. تهران: موسسه فرهنگی هنری پویه مهر اشراق.
<https://www.gisoom.com/book/11005661>
۸. داودآبادی، محمد و دولتشاهی، هنگامه. (۱۴۰۰). *سالنامه آماری شاخص‌های مالی صنعت آب و فاضلاب (سال مالی ۱۳۹۸)*. تهران: پیک نور.
۹. دفتر حقوقی وزارت نیرو. (۱۳۸۰). *مجموعه قوانین، تصویب‌نامه‌ها و آئین‌نامه‌های آب و برق و آب و فاضلاب (جلد ۲، چاپ اول)*. تهران: وزارت نیرو.
۱۰. دفتر حقوقی وزارت نیرو. (۱۳۸۷). *مجموعه قوانین و مقررات آب و برق و آب و فاضلاب (چاپ اول)*. تهران: وزارت نیرو.
۱۱. سند توسعه منابع انسانی شرکت آب و فاضلاب گیلان. (۱۴۰۱-۱۴۰۵). شرکت آب و

فاضلاب گیلان.

۱۲. قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه. (۱۳۹۶-۱۴۰۰). سازمان برنامه و بودجه کشور.

<https://rc.majlis.ir/fa/law/show/1014547>

۱۳. گزارش فعالیت هیئت‌مدیره بودجه شرکت آب و فاضلاب گیلان. (۱۴۰۰). شرکت آب و

فاضلاب گیلان.

۱۴. گزارش فعالیت هیئت‌مدیره بودجه شرکت آب و فاضلاب گیلان. (۱۴۰۱). شرکت آب و

فاضلاب گیلان.

۱۵. گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان. (۱۴۰۱). شرکت

آب و فاضلاب گیلان.

۱۶. گزارش فعالیت هیئت‌مدیره صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب گیلان. (۱۴۰۲). شرکت آب

و فاضلاب گیلان.

۱۷. قانون برنامه پنج‌ساله هفتم توسعه. (۱۴۰۳-۱۴۰۷). سازمان برنامه و بودجه کشور.

<https://rc.majlis.ir/fa/law/show/1809128>

۱۸. شفیعی، مرتضی، حسین زاده لطفی، فرهاد و صالح، هیلدا. (۱۳۹۹). پیش‌بینی الگو برای

واحدهای تصمیم‌گیرنده در تحلیل پوششی داده‌ها. *مجله بین‌المللی ریاضیات صنعتی*،

۱۳(۱)، ۲۹-۴۲. <https://www.magiran.com/p2192858>

References

19. Aguinis, H., & Pierce, C. A. (2008). Enhancing the relevance of organizational behavior by embracing performance management research. *Journal of Organizational Behavior: The International Journal of Industrial, Occupational and Organizational Psychology and Behavior*, 29(1), 139-145. <https://doi.org/10.1002/job.493>
20. Ayanponle, L. O., Awonuga, K. F., Asuzu, O. F., Daraojimba, R. E., Elufioye, O. A., & Daraojimba, O. D. (2024). A review of innovative HR strategies in enhancing workforce efficiency in the US. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 817-827. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.11.1.0152>
21. Bai, Y., Langarudi, S. P., & Fernald, A. G. (2021). System dynamics modeling for evaluating regional hydrologic and economic effects of irrigation efficiency policy. *Hydrology*, 8(2), 61. <https://doi.org/10.3390/hydrology8020061>
22. Bianchi, C. (2012). Enhancing performance management and sustainable

- organizational growth through system-dynamics modelling. *Systemic management for intelligent organizations: Concepts, models-based approaches and applications*, 143-161. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29244-6_8
23. Calderon-Tellez, J. A., Bell, G., Herrera, M. M., & Sato, C. (2024). Project management and system dynamics modelling: Time to connect with innovation and sustainability. *Systems Research and Behavioral Science*, 41(1), 3-29. <https://doi.org/10.1002/sres.2926>
 24. Carrubbo, L., Cosimato, S., & Gagliardi, A. R. (2025). Towards dynamic decision-making in government as service organization: insights from systems thinking. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 19(1), 108-129. <https://doi.org/10.1108/TG-05-2024-0113>
 25. Eidin, E., Bielik, T., Touitou, I., Bowers, J., McIntyre, C., Damelin, D., & Krajcik, J. (2024). Thinking in terms of change over time: opportunities and challenges of using system dynamics models. *Journal of Science Education and Technology*, 33(1), 1-28. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10047-y>
 26. Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Waltham MA, Pegasus Communications. https://books.google.com/books/about/Industrial_Dynamics.html?id=WTXyAAAAMAAJ&utm
 27. Gilani, H., Shobeiry, S., Biglari Kami, M., & Sahebi, H. (2022). A sustainable redesign model for the water/wastewater supply network: A water-energy nexus approach. *Kybernetes*. <https://doi.org/10.1108/K-04-2021-0320>
 28. Gozali, L., Zagloel, T. Y. M., Simatupang, T. M., Sutopo, W., Gunawan, A., Liang, Y. C., & Suseno, Y. (2024). The important role of system dynamics investigation on business model, industry and performance management. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 73(4), 945-980. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2021-0399>
 29. Guemouria, A., Chehbouni, A., Belaqziz, S., Epule Epule, T., Ait Brahim, Y., El Khalki, E. M., & Bouchaou, L. (2023). System dynamics approach for water resources management: A case study from the Souss-Massa Basin. *Water*, 15(8), 1506. <https://doi.org/10.3390/w15081506>
 30. Hosseini, A., & Hosseini, S. H. (2022). A System Dynamics Approach to Sustainable Business Model Transformation: A Manufacturing Case. *Journal of Systems Thinking in Practice*, 1(1), 24-48. <https://doi.org/10.22067/JSTINP.2022.76303.1010>
 31. Ibrahim, A. I., & Minja, D. (2024). Reward management practices and performance of governmental agencies in the water sector: A Case of

- Northern Water Works Development Agency, Kenya. *International Academic Journal of Arts and Humanities*, 1(4), 407-421. https://iajournals.org/articles/iajah_v1_i4_407_421.pdf
32. Ji, X., Zhai, Y., Fu, S., & Lu, C. (2023). Towards the sustainable development of logistics system model: A system dynamics approach. *Plos one*, 18(1), e0279687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279687>
33. Joseph, G., Hoo, Y. R., Wang, Q., Bahuguna, A., & Andres, L. (2024). *Funding a Water-Secure Future* (No. 41515). The World Bank Group. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099050824184024824/pdf/P17294414b3bfa0601be1b181ab4d26aedd.pdf>
34. Kameli, M., Daneshian, B., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2023). Sequential benchmarking to achieve the closest cross-sectional targets in DEA. *International Journal of Applied Operational Research-An Open Access Journal*, 11(3), 45-56. <https://ijorlu.liiau.ac.ir/article-1-642-en.pdf>
35. Mielczarek, B. (2016). Review of modelling approaches for healthcare simulation. *Operations Research and Decisions*, 26, 55-72. <https://doi.org/10.5277/ord160104>
36. Mingers, J., & White, L. (2010). A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. *European journal of operational research*, 207(3), 1147-1161. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.12.019>
37. Mohammadifardi, H., Knight, M. A., & Unger, A. A. (2019). Sustainability assessment of asset management decisions for wastewater infrastructure systems-Implementation of a system dynamics model. *Systems*, 7(3), 34. <https://doi.org/10.3390/systems7030034>
38. Moradi Shahdadi, L., Aminnejad, B., Sarvari, H., & Chan, D. W. (2023). Determining the critical risk factors of implementing public-private partnership in water and wastewater infrastructure facilities: Perspectives of private and public partners in Iran. *Buildings*, 13(11), 2735. <https://doi.org/10.3390/buildings13112735>
39. Mustafee, N., Katsaliaki, K., & Taylor, S. J. (2010). Profiling literature in healthcare simulation. *Simulation*, 86(8-9), 543-558. <https://doi.org/10.1177/0037549709359090>
40. Norouzian-Maleki, P., Izadbakhsh, H., Saberi, M., Hussain, O., Jahangoshai Rezaee, M., & GhanbarTehrani, N. (2022). An integrated approach to system dynamics and data envelopment analysis for determining efficient policies and forecasting travel demand in an urban transport system. *Transportation Letters*, 14(2), 157-173. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1839716>

41. Oladimeji, O., Cross, J., & Keathley-Herring, H. (2021). System dynamics applications in performance measurement research: progress and challenges. *Management Decision*, 59(6), 1181-1208. <https://doi.org/10.1108/MD-11-2019-1596>
42. Pudjono, A. N. S., Wibisono, D., & Fatima, I. (2025). Advancing local governance: a systematic review of performance management systems. *Cogent Business & Management*, 12(1), 2442545. <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2442545>
43. Shafiee, M., Hosseinzade Lotfi, F., & Saleh, H. (2021). Benchmark forecasting in data envelopment analysis for decision making units. *International Journal of Industrial Mathematics*, 13(1), 29-42. <https://civilica.com/doc/1886953>
44. Sterman, J.D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill. <https://industri.fatek.unpatti.ac.id/wp-content/uploads/2019/03/007-Business-Dynamics-Systems-Thinking-and-Modeling-for-a-Complex-World-John-D.-Sterman-Edisi-1-2000.pdf>
45. Sun, Y., Liu, N., Shang, J., & Zhang, J. (2017). Sustainable utilization of water resources in China: A system dynamics model. *Journal of cleaner production*, 142, 613-625. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.110>
46. Tseng, S. T., & Levy, P. E. (2019). A multilevel leadership process framework of performance management. *Human Resource Management Review*, 29(4), 100668. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2018.10.001>
47. Zahedi, R., Yousefi, H., Aslani, A., & Ahmadi, R. (2024). System dynamic model of water, energy and food nexus for policy implementation. *Applied Water Science*, 14(10), 213. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02279-z>

References [in Persian]

1. Izadiyar, M., Tolouei Ashlaghi, A., & Seyed Hosseini, S. M. (2021). A system dynamics approach for evaluating sustainability performance of LARG supply chain management practices in the auto parts industry. *Productivity Management (Beyond Management)*, 15(4), 159–192. [In Persian]
2. Ministry of Energy. (2021). *Tariff regulations of the Ministry of Energy*. Ministry of Energy. [In Persian]
3. Guilan Water and Wastewater Company. (2022). *Strategic plan of Guilan Water and Wastewater Company*. Guilan Water and Wastewater Company. [In Persian]

4. West Azerbaijan and Hormozgan Water and Wastewater Companies. (2021). *Strategic plan of West Azerbaijan and Hormozgan Water and Wastewater Companies*. West Azerbaijan and Hormozgan Water and Wastewater Companies. [In Persian]
5. Hejazi, N., Jahangirifard, M., & Miandaraq, A. (2024). Intelligent management model based on improving organizational behavioral performance in the Tehran Water and Wastewater Company. *Journal of Industrial Management*, 19(67), 82–103. [In Persian]
6. Jahaniyan, S., Amini, F., & Shaemi Barzaki, A. (2018). Identifying improvement policies of absorptive capacity and their impact on organizational performance using a system dynamics approach. *Innovation Management*, 7(3), 143–168. [In Persian]
7. Davoudabadi, M., & Ghanadi, M. (2014). *Comprehensive guide to financial and economic management in the water and wastewater industry (Including analysis of financial and economic components – from theory to practice)*. Tehran: Pouyeh Mehr Eshragh. [In Persian]
8. Davoudabadi, M., & Dolatshahi, H. (2021). *Statistical yearbook of financial indicators in the water and wastewater industry (FY 2019)*. Tehran: Peyk Noor. [In Persian]
9. Legal Office of the Ministry of Energy. (2001). *Collection of laws, approvals, and regulations of water, electricity, and water and wastewater (Vol. 2, 1st ed.)*. Tehran: Ministry of Energy. [In Persian]
10. Legal Office of the Ministry of Energy. (2008). *Collection of laws and regulations of water, electricity, and water and wastewater (1st ed.)*. Tehran: Ministry of Energy. [In Persian]
11. Guilan Water and Wastewater Company. (2022–2026). *Human resources development document of Guilan Water and Wastewater Company*. Guilan Water and Wastewater Company. [In Persian]
12. Plan and Budget Organization of Iran. (2017–2021). *Sixth Five-Year Development Plan Act*. Plan and Budget Organization. [In Persian]
13. Guilan Water and Wastewater Company. (2021). *Board of directors' budget activity report – 2021*. Guilan Water and Wastewater Company. [In Persian]
14. Guilan Water and Wastewater Company. (2022). *Board of directors' budget activity report – 2022*. Guilan Water and Wastewater Company. [In Persian]
15. Guilan Water and Wastewater Company. (2022). *Board of directors' financial statements activity report – 2022*. Guilan Water and Wastewater Company. [In Persian]
16. Guilan Water and Wastewater Company. (2023). *Board of directors' financial statements activity report – 2023*. Guilan Water and

Wastewater Company. [In Persian]

17. Plan and Budget Organization of Iran. (2023–2027). *Draft of the Seventh Development Plan*. Plan and Budget Organization. [In Persian]
18. Shafiee, M., Hosinzadeh Lotfi, F., & Saleh, H. (2020). Benchmark Forecasting in Data Envelopment Analysis for Decision Making Units. *International Journal of Industrial Mathematics*, 13(1), 29-42. [In Persian]



استناد به این مقاله: فروغی، ناهید، مرادی، محمود، یاکیده، کیخسرو، رمضانیان، محمدرحیم. (۱۴۰۴). استراتژی‌های بهبود در صنعت آب و فاضلاب: مدل‌سازی پویا و مدیریت عملکرد، *مطالعات مدیریت صنعتی*، ۲۳(۷۷)، ۱۷۵–۲۳۶. DOI: 10.22054/jims.2025.83680.2945



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.