Management and Sustainable Development Studies

Volume 4, Issue 4 - Winter 2025 - Pages 303-332

Homepage: https://sanad.iau.ir/journal/msds - eISSN: 2783-4395

Maintenance and Repair Modeling using a System Dynamics Approach for Proper Maintenance of Rotating Machinery in the Oil Industry

Ali Hafezinia [1], Hassan Mehrmanesh [2*], Mohammad Ali Keramati [3], Hossein Moeinzad [4]

1. PhD. Candidate, Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

OPEN ACCESS

Article type: Research Article

***Correspondence:** Hassan Mehrmanesh
has.mehrmanesh@iauctb.ac.ir

Received: June 28, 2024
Accepted: February 22, 2025
Published: Winter 2025

Citation: Hafezinia, A., Mehrmanesh, H., Keramati, M. A., Moeinzad, H. (2025). Maintenance and Repair Modeling using a System Dynamics Approach for Proper Maintenance of Rotating Machinery in the Oil Industry. Journal of Management and Sustainable Development Studies, 4(4), 303-332.

Publisher's Note: MSDS stays neutral with regard to jurisdictional claims in published material and institutional affiliations.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract: Today, one of the most important issues in the field of optimizing production systems is machine maintenance and repair policies. Also, in manufacturing industries, maintenance and repair costs account for about 30 percent of total current costs. Therefore, maintenance and repair should be considered as a main pillar in manufacturing industries. If maintenance and repair intervals are not considered in quality control and production scheduling for reliability control, interruptions caused by maintenance and repair interference for reliability control may lead to unfulfilled demand. For this purpose, this research presents the creation and development of a new method for evaluating reliability in a maintenance and repair system. To design the research model, first, all factors affecting reliability in the maintenance and repair system were carefully examined and extracted; then, using the opinions of respected professors as well as specialists and experts in this field, some of them were eliminated and some were added. Among the factors affecting the reliability of a maintenance and repair system is the level of repairability of equipment and machinery, the quality of the maintenance and repair system, the level of use of modern quality control methods, the level of use of reliability improvement programs, the level of achievement of international standards, the level of employee training, the level of employee skill, the level of ability to meet customer needs, the level of ability to detect changes in the system, the level of customer satisfaction, etc.

Keywords: Customer Satisfaction, Maintenance and Repair System, Oil Industry, Manufacturing Industries, Quality Control.

DOI: 10.71572/msds.2025.1200241

Extended Abstract

Introduction

Quality control and scheduling is a decision-making process that is used in many service and manufacturing industries based on certain principles (Wakiru et al., 2018; Zahedi-Hosseini et al., 2017). Quality control and scheduling can be defined as the allocation of limited resources to activities over time, with the aim of optimizing one or more performance measures (Huang et al., 2020; Zhang et al., 2017). In a manufacturing environment, existing machines are considered as resources and operations of a manufacturing process are also considered as activities. Various objectives are also considered in quality control and scheduling problems (Upasani et al., 2017). In quality control and production scheduling, resources are usually called machines and activities are called work. Quality control and production scheduling problems are studied in various environments, including the manufacturing system environment. This manufacturing environment has many applications in real-world problems, and many industrial processes, including metal smelting, automotive, chemical, food, and oil industries, can be modeled as a manufacturing system problem.

The purpose of this research is to conduct maintenance and repairs using a system dynamics approach to properly maintain rotating machinery in the oil industry. Thus, the problem can be considered from two different perspectives. The first perspective is related to quality control and scheduling of production work, and the second perspective is related to planning maintenance activities for reliability control.

Theoretical framework

From the perspective of quality control and production scheduling, the rotating machinery problem in the oil industry is defined as a permutation production system. In other words, the jobs must be processed by the machine, while the order of operations on the jobs and the order of operations on the machines are the same. The performance criterion in this part is to minimize the manufacturing time. Thus, this part of the problem seeks to permute the manufacturing jobs so that the manufacturing time is minimized. From the perspective of maintenance and repair, the machines are subjected to maintenance activities for reliability control. Maintenance and repair for reliability control are a set of activities that reduce the probability of system failure (increase system availability). Maintenance and repair activities can be performed in between production jobs on the machines. The time to perform maintenance and repair activities on each machine and the number of these activities are defined as decision variables. The performance metric considered in this section is minimizing system unavailability (Yan et al., 2018; Zhang et al., 2019).

Production tasks and maintenance activities for reliability control should be assigned to achieve a common goal, which is to maximize the efficiency of the system. Therefore, a balance should be sought between production and maintenance objectives. Hence, the problem is considered multivariate and the ultimate goal is to have a system that provides maximum availability of machines (maintenance planning objective), so that jobs can be processed in the shortest possible time (quality control and production scheduling objective). Each system is usually part of a larger system in a hierarchy; in other words, it is a subsystem of a larger system (supersystem). Also, a subsystem does not necessarily belong to only one supersystem. If a change occurs in one of the subsystems, its consequences must be examined in all its supersystems. As can be seen in Figure 1, the repair system, as a subsystem, is part of the larger quality and production systems, and to

examine a change in a repair system, its consequences in both the quality and production systems must be examined.

Methodology

The problem-solving procedure in this research is defined as follows: to evaluate and control the reliability in a maintenance and repair system, after receiving the observed reliability values of each of the equipment and machinery, which is indicated by R(i), to control the reliability level in a maintenance and repair system, or in other words, to bring the system under control, both the system dynamics approach and the CUSUM control chart can be used, so that ultimately the expected reliability level of the system can be achieved. In order to design the research model, first, all the factors affecting the reliability in the maintenance and repair system were carefully examined and extracted; then, using the opinions of respected professors and also specialists and experts in this field, some of them were eliminated and some were added to them.

Discussion and Results

Most organizational learning about organizational issues is through trial and error, usually after making bad decisions. However, many mistakes gradually erode the system's capabilities and have a disproportionate impact on the system as a whole. Modeling is the best way to test the impact of new ideas on systems. Using these models, managers will be able to test new policies, discover new ways of thinking, and identify hidden lever sensitivities and pressure points on companies. The simulated model is implemented after design. This simulation was implemented over a two-year time horizon.

The reliability of the maintenance and repair system has shown a linear and increasing trend. The failure rate has shown a decreasing trend as an exponential distribution function, so that this rate has reached from about 4.5 at the beginning of the first month to almost zero at the end of the simulation period. The quality of the maintenance and repair system has also shown an increasing trend.

The number of quality improvement programs has been assumed to be constant during the period and is 2 programs per month. The number of equipment and machinery failures, like the failure rate, has shown an exponential distribution function. This rate has reached from about 45 machines at the beginning of the first month to about zero machines at the end of the 24th month, that is, at the end of the simulation period. The number of machinery and equipment repairs has decreased after about six months from the beginning of the simulation period, which had an almost constant value. The level of security of machinery and equipment has increased significantly after about two months.

Employee productivity is another effective factor in improving the system, which has also increased during the period, from about 70 units at the beginning of the period to about 85 units at the end of the simulation period. Employee satisfaction has increased stepwise, from about 230 units at the beginning of the period to about 250 units at the end of the period. The use of modern quality control methods has fluctuated greatly, varying between 10 and 20 times per month.

The number of customers has had a linear and increasing trend. This has increased from about 20 customers at the beginning of the first month to about 40 customers at the end of the 24th month. The market share has also fluctuated greatly, reaching a minimum of 1,000 and a maximum of 28,000 units per month. Marketing costs have increased stepwise, from zero units at the beginning

of the period to about 45,000 units at the end of the period. The degree of variability in customer needs has also fluctuated greatly and has remained variable throughout the entire period.

Conclusion

In this article, an attempt was made to present an appropriate and systematic method for solving complex and multidisciplinary problems of the current world, especially the management of maintenance and repair projects; because solving the aforementioned problems with current mathematical and linear methods will be accompanied by limitations and problems and will not be able to provide completely realistic results. For this purpose, one of the appropriate methods is to use system dynamics. It is clear that changes do not occur all at once and have a dynamic process and, for this reason, they arise from the interaction of various factors; because understanding and controlling dynamic phenomena is not easy; it leads to an increase in their complexity, which makes it very difficult to identify the appropriate direction for change.

Contribution of authors

All authors have participated in this research in equal proportion.

Ethical approval

Written informed consent was obtained from the individuals for their anonymized information to be published in this article.

Conflict of interest

No conflicts of interest are declared by the authors.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مطالعـــات مدیریـــت و توسعـــه پایـــدار

سال چهارم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳ – صفحه ۳۳۲-۳۰۳

Homepage: https://sanad.iau.ir/journal/msds - eISSN: 2783-4395

مدل‌سازی نگهداری و تعمیرات با استفاده از رویکرد پویایی سیستم جهت نگهداشت صحیح ماشین‌آلات دوار در صنعت نفت

علی حافظی‌نیا [۱]، حسن مهرمنش [۲*]، محمدعلی کرامتی [۳]، حسین معین‌زاد [۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. استاد گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳. دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۴. استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده: امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل در زمینه بهینه سازی سیستم‌های تولیدی سیاست‌های نگهداری و تعمیرات ماشین‌ها است. همچنین، در صنایع تولیدی حدود ۳۰ درصد از کل هزینه‌های جاری را هزینه‌های نگهداری و تعمیرات تشکیل می‌دهد. از این رو باید به نگهداری و تعمیرات به عنوان یک رکن اصلی در صنایع تولیدی توجه شود. اگر در کنترل کیفیت و زمانبندی کارهای تولیدی، بازه‌های زمانی تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی درنظرگرفته نشوند، وقفه‌های ناشی از تداخل‌های تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی ممکن است منجر به تقاضای انجام نشده شود. به همین منظور در این پژوهش ایجاد و توسعه روشی جدید برای ارزیابی پایایی در یک سیستم نگهداری و تعمیرات ارائه می‌شود. به منظور طراحی مدل پژوهش، ابتدا، کلیه عوامل تأثیرگذار بر پایایی در سیستم نگهداری و تعمیرات، با دقت بررسی و استخراج گردید؛ سپس، با استفاده از نظر اساتید محترم و همچنین، متخصصین و خبرگان این حوزه، تعدادی از آنها، حذف و تعدادی به آنها، اضافه گردید. از جمله عوامل مؤثر بر پایایی یک سیستم نگهداری و تعمیرات می‌توان به میزان تعمیرپذیری تجهیزات و ماشین‌آلات، کیفیت سیستم نگهداری و تعمیرات، میزان استفاده از روش‌های نوین کنترل کیفیت، میزان استفاده از برنامه‌های بهبود پایایی، میزان دستیابی به استانداردهای بین‌المللی، میزان آموزش کارکنان، میزان مهارت کارکنان، میزان توانایی مواجهه با نیازهای مشتریان، میزان توانایی تشخیص تغییر در سیستم، میزان رضایت مشتریان و... اشاره نمود.

واژگان کلیدی: رضایت مشتریان، سیستم نگهداری و تعمیرات، صنعت نفت، صنایع تولیدی، کنترل کیفیت.

DOI: 10.71572/msds.2025.1200241

دسترسی آزاد

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

***نویسنده مسئول:** حسن مهرمنش
has.mehrmanesh@iauctb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴
تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۳

استناد: حافظی‌نیا، علی. مهرمنش، حسن. کرامتی، محمدعلی. معین‌زاد، حسین. (۱۴۰۳). مدل‌سازی نگهداری وتعمیرات با استفاده از رویکرد پویایی سیستم جهت نگهداشت صحیح ماشین‌آلات دوار در صنعت نفت. فصلنامه مطالعات مدیریت و توسعه پایدار، ۴(۴)، ۳۰۳-۳۳۲.

یادداشت ناشر: MSDS درخصوص ادعاهای قضایی در مطالب منتشر شده و وابستگی‌های سازمانی بی‌طرف می‌ماند.

کپی‌رایت: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

کنترل کیفیت و زمانبندی یک فرایند تصمیم‌گیری است که در بسیاری از صنایع خدماتی و تولیدی بر اساس اصول معینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wakiru et

al., 2018; Zahedi-Hosseini et al., 2017). کنترل کیفیت و زمانبندی را می‌توان تخصیص منابع محدود به فعالیت‌ها در طول زمان، با هدف بهینه‌سازی یک یا چند معیار عملکرد تعریف کرد (Huang et al., 2020; Zhang et al., 2017). در یک محیط تولیدی، ماشین‌های موجود به عنوان منابع و عملیات‌های یک فرایند تولیدی نیز به عنوان فعالیت‌ها درنظرگرفته می‌شوند. اهداف مختلفی نیز در مسائل کنترل کیفیت و زمانبندی مورد توجه قرار می‌گیرد (Upasani et al., 2017). در کنترل کیفیت و زمانبندی تولید منابع را معمولاً ماشین و فعالیت‌ها را کار می‌نامند. مسائل کنترل کیفیت و زمانبندی تولید در محیط‌های مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرند که از آن جمله محیط سیستم تولیدی است. این محیط تولیدی کاربردهای فراوانی در مسائل واقعی دارد و بسیاری از فرایندهای صنعتی از جمله صنایع ذوب فلزات، صنایع خودروسازی، صنایع شیمیایی، صنایع غذایی و صنعت نفت را می‌توان به صورت یک مسئله سیستم تولیدی مدل‌سازی کرد.

نگهداری و تعمیرات را می‌توان مجموعه فعالیت‌ها و تکنیک‌هایی دانست که باعث می‌شوند تجهیزات در سطح مشخصی از کارایی قرار گیرند و ارائه خدمت مشخصی را تضمین کنند (de Sousa Junior et al., 2019). از منظر نگهداری و تعمیرات، مهم‌ترین هدف برقراری یک برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی مطلوب جهت بهینه‌سازی یک تابع هدف مشخص است و برنامه‌ریزی، مهم‌ترین جنبه مدیریت نگهداری و تعمیرات مطلوب است. برنامه‌ریزی کارا نقش عمده‌ای در کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، تأخیرها و وقفه‌ها و همچنین افزایش کیفیت نگهداری و تعمیرات دارد (Moinian et al., 2017).

سازمان‌ها برای کاهش هزینه‌های ناشی از نگهداری و تعمیرات و همچنین افزایش کیفیت آن، ناگزیر به توجه به آن در سایر برنامه‌ریزی‌های سازمان هستند. کنترل کیفیت و زمانبندی تولید از جمله مواردی است که برای نزدیک‌تر کردن آن به شرایط واقعی، باید نگهداری و تعمیرات را در آن لحاظ کرد. در این تحقیق کنترل کیفیت و زمانبندی تولید و برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی ماشین الات دوار در صنعت نفت بطور همزمان مد نظر است. این تحقیق بدنبال مدلسازی توأم مسئله کنترل کیفیت و زمانبندی کارهای تولیدی و برنامه‌ریزی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات به صورت یک مسئله چند متغیره و همچنین حل مدل ارائه می‌شود. درنظرگرفتن برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات در هر مسئله کنترل کیفیت و زمانبندی تولید باعث افزایش پیچیدگی آن می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، نگهداری و تعمیرات با استفاده از رویکرد پویایی سیستم جهت نگهداشت صحیح ماشین الات دوار در صنعت نفت است. بدین ترتیب مسئله از دو منظر متفاوت قابل تأمل است. منظر اول مربوط به کنترل کیفیت و زمانبندی کارهای تولیدی و منظر دوم مربوط به برنامه‌ریزی فعالیت‌های تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

از منظر کنترل کیفیت و زمانبندی تولید، مسئله ماشین‌آلات دوار در صنعت نفت و به صورت سیستم تولیدی جایگشتی تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، کارها باید توسط ماشین پردازش شوند، درحالیکه ترتیب انجام عملیات بر روی کارها و نیز ترتیب انجام کارها بر روی ماشین‌ها یکسان است. معیار عملکرد مورد نظر در این قسمت کمینه کردن مدت زمان ساخت است. بدین ترتیب، این قسمت از مسئله به دنبال جایگشتی از کارهای تولیدی است، به گونه‌ای که مدت زمان ساخت کمینه شود. سایر فرض‌های اساسی مورد نظر در این قسمت از مسئله به صورت زیر است:

- همه پارامترهای مسئله به صورت معلوم و غیر تصادفی و عدد صحیح تعریف می‌شوند.
- در هر لحظه هر ماشین حداکثر به یک فعالیت (اعم از کار تولیدی یا فعالیت نگهداری و تعمیرات) اختصاص داده می‌شود و هر کار حداکثر به یک ماشین.
- همه کارها در لحظه صفر در دسترس هستند.
- زمان‌های آماده سازی در زمان پردازش کارها قرار دارد و مستقل از ماشین هاست.
- همه کارها در طول افق برنامه‌ریزی تکمیل می‌شوند.
- انبار کار در حین ساخت مجاز است. به عبارت دیگر، کارها می‌توانند برای عملیات مرحله بعد خود در انتظار آزاد شدن ماشین بمانند.
- از هر نوع ماشین یک عدد وجود دارد و بیکاری ماشین‌ها مجاز است.
- زمان جابجایی کارها بین ماشین‌ها قابل چشم پوشی است.

از منظر نگهداری و تعمیرات، ماشین ها تحت فعالیت های تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی قرار می‌گیرند. تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی مجموعه فعالیت‌هایی هستند که احتمال از کارافتادگی سیستم را کاهش می‌دهند (دسترس‌پذیری سیستم را افزایش می‌دهند). فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را می‌توان در بین انجام کارهای تولیدی بر روی ماشین‌ها انجام داد. زمان انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات بر روی هر ماشین و همچنین تعداد این فعالیت‌ها به صورت متغیر تصمیم تعریف می‌شوند. معیار عملکرد مورد نظر در این قسمت کمینه کردن عدم دسترسی سیستم است (Yan et al., 2018; Zhang et al., 2019). بدین ترتیب، این قسمت از مسئله به دنبال یافتن تعداد فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و زمان انجام آنها بر روی هر ماشین است، به گونه‌ای که عدم دسترسی سیستم کمینه شود. سایر فرض‌های اساسی مورد نظر در این قسمت از مسئله به صورت زیر است:

- قطع کردن عملیات (اعم از کار تولیدی یا فعالیت نگهداری و تعمیرات) مجاز نیست، مگر در مواردی که ذکر شود. به عبارت دیگر هنگامی که عملیاتی بر روی یک ماشین شروع شود، باید تا زمان تکمیل بدون وقفه ادامه یابد و شروع عملیاتی دیگر بر روی آن ماشین، پیش از تکمیل عملیات قبل مجاز نیست.

- ماشین‌ها در طول دوره برنامه‌ریزی دچار ازکارافتادگی نمی‌شوند و جز در هنگام انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی، همواره در دسترس هستند.
- مدت زمان انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات بر روی ماشین‌ها، از قبل معلوم، غیر تصادفی و صحیح است.

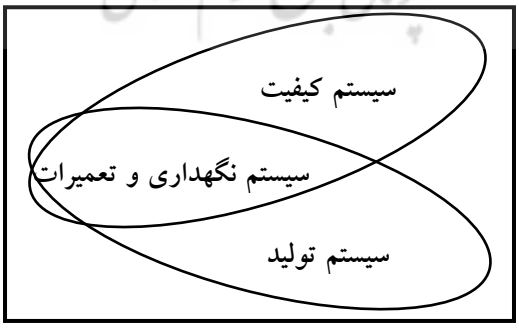
اگر فرض شود؛ یک سیستم که در n نوبت گذشته دچار خرابی شده و زمان لازم برای تعمیر سیستم در نوبت j ، برابر T_j بوده است؛ آنگاه، متوسط زمان لازم برای تعمیر آن برابر است با:

$$MTTR = \frac{\sum_{j=1}^{n} T_j}{n}$$

که در آن، T_j مدت زمان تعمیر دوره خرابی j و n، تعداد دفعات است و حداکثر تعداد فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات بر روی هر ماشین ثابت و معین است.

کارهای تولیدی و فعالیت‌های تعمیر و نگهداری به منظور کنترل پایایی باید در جهت دستیابی به یک هدف مشترک به کار گماشته شوند که آن هدف، بیشینه کردن بهره‌وری سیستم است. بنابراین، باید به دنبال موازنه‌ای مابین اهداف تولید و نگهداری و تعمیرات بود. از این رو مسئله به صورت چند متغیره در نظرگرفته می‌شود و هدف نهایی، داشتن سیستمی است که حداکثر دسترسی به ماشین‌ها را ارائه کند (هدفِ برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات)، تا امکان پردازش کارها در کوتاه‌ترین زمان ممکن فراهم شود (هدفِ کنترل کیفیت و زمانبندی تولید).

هر سیستم، معمولاً در یک سلسله مراتب، جزئی از یک سیستم بزرگتر است؛ به عبارتی، زیر سیستمی از یک سیستم بزرگتر (فرا سیستم) است. همچنین، یک زیر سیستم، لزوماً، فقط متعلق به یک فرا سیستم نیست. اگر تغییری در یکی از زیر سیستم‌ها به وجود آید، تبعات آن، باید در تمامی فرا سیستم‌های آن بررسی شود. همان‌گونه که در نمودار شماره ۱ مشاهده می‌شود، سیستم تعمیرات، به عنوان یک زیر سیستم، جزئی از سیستم‌های بزرگتر کیفیت و تولید است و برای بررسی تغییر در یک سیستم تعمیرات، باید تبعات آن در هر دو سیستم کیفیت و تولید، بررسی شود.



نمودار ۱. جایگاه سیستم نگهداری و تعمیرات (Source:By author)

پژوهش‌های جیانگ[1] و همکاران (۲۰۱۸)، حاکی از این مطلب است که مدیریت نگهداری و تعمیرات تجهیزات با قابلیت رقابتی سازمان، ارتباط معناداری دارد و باید مورد توجه ویژه سازمان قرار گیرد. مادو، همچنین معتقد است که مدیریت نگهداری، عنصری مهم در سازمان‌های تجاری اثربخش برای دستیابی به مزیت رقابتی است. از این رو، توسعه استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مناسب، برای تضمین تحویل کالا و خدمات با پایایی و کیفیت بالا به مشتریان و مصرف‌کنندگان، امری ضروری و حیاتی است (Jiang et al., 2018).

ریورا گومز[2] و همکاران (۲۰۱۸)، حداکثر کردن بهره‌برداری از دارایی‌ها، بهبود پاسخگویی و تمرکز بر توسعه‌ی شایستگی‌های اصلی را به عنوان نمونه هایی از استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات معرفی کرده است (Rivera-Gómez et al., 2018).

اسید[3] و همکاران (۲۰۱۹)، به معرفی سیاست‌های نگهداری مانند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه[4]، اصلاحی[5] و پیشگویانه[6] پرداخته‌اند. مفاهیم نگهداری و تعمیرات، همچنین، به دنبال نگهداری و تعمیرات بهره‌ور جامع[7] و یا نگهداری و تعمیرات یا محوریت پایایی[8] هستند (Assid et al., 2019).

کانگ[9] و همکاران (۲۰۱۹)، استراتژی نگهداری و تعمیرات وابسته به دوره‌ی عمر[10] که کل هزینه‌های تنزیل مورد انتظار در طول افق برنامه‌ریزی را حداقل می‌کند، معرفی کرده‌اند. آنها با استفاده از ویژگی‌های سیاست بهینه به ارائه روش‌های تحلیلی و عددی برای تعیین استراتژی نگهداری بهینه اقدام نموده‌اند (Kang et al., 2019).

وانگ[11] و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از پژوهشی پیمایشی، ارتباط میان استراتژی نگهداری و تعمیرات و کسب و کار را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها دریافته‌اند که شرکت‌هایی با اولویت‌های رقابتی مختلف، استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات متفاوتی را دنبال می‌کنند. نتایج تحقیقات آنها، حاکی از آن است که رقابت‌کنندگان بر سر کیفیت در مقایسه با دیگران، دارای سیاست‌های نگهداری و تعمیرات پیش‌گسترده‌تر، سیستم‌های برنامه‌ریزی و کنترل بهتر و ساختارهای سازمانی نگهداری و تعمیرات غیرمتمرکز هستند (Wang et al., 2019).

لو[12] و همکاران (۲۰۲۰)، استراتژی‌های نگهداری تجهیزات تولیدی را در شرکت‌های چینی بررسی نموده‌اند. آنها با بررسی رویکردهای نگهداری و تعمیرات در صنایع تولیدی چینی، حوزه‌های نادیده گرفته شده در مدیریت عملیات را شناسایی و معرفی نموده‌اند. نتایج پژوهش آنها، حاکی از این بود که استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات، اغلب به نگهداری

[1] Jiang
[2] Rivera-Gómez
[3] Assid
[4] Preventive Maintenance (PM)
[5] Corrective Maintenance (CM)
[6] Predictive Maintenance (PDM)
[7] Total Productive Maintenance (TPM)
[8] Reliability Centered Maintenance (RCM)
[9] Kang
[10] Age Dependent Maintenance Strategy
[11] Wang
[12] Lü

و تعمیرات اصلاحی محدود شده‌اند و تنها تعداد اندکی از شرکت‌های چینی تاکنون به اجرای رویکرد نگهداری پیشگویانه، برنامه‌های نگهداری بهره‌ور جامع یا برون‌سازی استراتژیک فعالیت‌های نگهداری روی آورده‌اند (Lü et al., 2020).

هورنگ[1] و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از شبیه‌سازی یک سیستم تولیدی متشکل از دو ماشین موازی، یک خط مونتاژ و یک تأمین‌کننده به مقایسه دو استراتژی پرداخته‌اند. در استراتژی اول، تناوب عملیات نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و نرخ تولید هر ماشین، مستقل فرض شده است. استراتژی دوم بر اثر متقابل دوره‌های در دسترس نبودن ماشین و نرخ تولید ماشین‌ها به منظور حداقل نمودن میزان تولید از دست رفته در طی این دوره ها دلالت دارد (Horng & Lee, 2021).

پاپروکا[2] و همکاران (۲۰۲۱)، تصویر روشنی از مدیریت نگهداری و تعمیرات را در شرکت‌های تولیدی ایتالیایی ارائه نموده‌اند. هدف آنها تأکید بر این مطلب است که استراتژی‌ها و عملکرد نگهداری و تعمیرات تا چه اندازه تحت تأثیر بافت، معیارها و اهداف شرکت‌های کوچک هستند. در حالی که بسیاری از عناصر استراتژی به اندازه سازمان مرتبط می‌شوند، به نظر نمی‌رسد که عملکرد نگهداری به اندازه سازمان مربوط باشد. ظاهراً برخی از عناصر استراتژی، به خصوص عناصر برنامه‌ریزی و کنترل، تأثیر کمی بر عملکرد دارند. در مقابل، استفاده پیشرفته از نگهداری پیشگیرانه، مخصوصاً نگهداری مبتنی بر شرایط، اقدامی بسیار مؤثر برای بهبود نگهداری و تعمیرات در تمام شرکت‌ها با ابعاد مختلف است (Paprocka et al., 2021).

در اتوماسیون نگهداری و تعمیرات، ضمن تأکید روی اصلاح خرابی‌های اتفاقی و از کار افتادن غیر منتظره تجهیزات، تاکنون با بهره‌گیری مناسب از علوم، آمار و احتمالات و پژوهش‌های عملیاتی، شبیه‌سازی، اقتصاد مهندسی، تئوری صف و ارائه مدل‌های مختلف برای حالات مختلف، انواع دستگاه‌ها و تجهیزات ابداع شده تا بدین وسیله، متخصصین این رشته، بتوانند خرابی‌ها را پیش‌بینی کنند و آنها را در جهت داشتن یک سیستم نگهداری و تعمیرات مناسب و ایده‌آل، برنامه‌ریزی کنند. امّا، از آنجایی که از مهم‌ترین پارامترها برای رسیدن به یک سیستم نگهداری و تعمیرات مناسب و ایده‌آل، پایایی است و همچنین، با مطالعه پیشینه مربوط به مباحث نگهداری و تعمیرات، پایایی و پویایی سیستم و مرور ادبیات موجود در این زمینه‌ها، این نتیجه به دست آمد که تاکنون با استفاده از پویایی سیستم، به حل مسائل موجود در یک سیستم نگهداری و تعمیرات و نیز ارزیابی و کنترل پایایی پرداخته نشده است و بیشتر برای بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در این زمینه‌ها، از مدل‌سازی ریاضی بهره گرفته شده است؛ از این رو، در این پژوهش به نقشی که پویایی سیستم می‌تواند در رسیدن به یک سیستم نگهداری و تعمیرات مناسب و ایده‌آل ایفا کند، توجه شده تا بدین ترتیب، بتوان با نگرشی سیستمی به ارزیابی و کنترل پایایی در یک سیستم نگهداری و تعمیرات پرداخت و خلاء موجود را رفع نمود. از مدل ارائه شده، می‌توان در جهت اقدام مدیران در خصوص کشف راه‌های جدید تفکر، شناخت حساسیت‌های پنهان اهرم‌ها و نقاط فشار بر شرکت‌ها استفاده نمود.

[1] Horng
[2] Paprocka

روش پژوهش

خلاصه فرآیند مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها در جدول شماره ۱ آمده است. این قدم‌ها، متدولوژی قوی را برای بررسی و تحلیل رفتار پویای مسئله ارائه می‌نمایند (Zahedi-Hosseini et al., 2017).

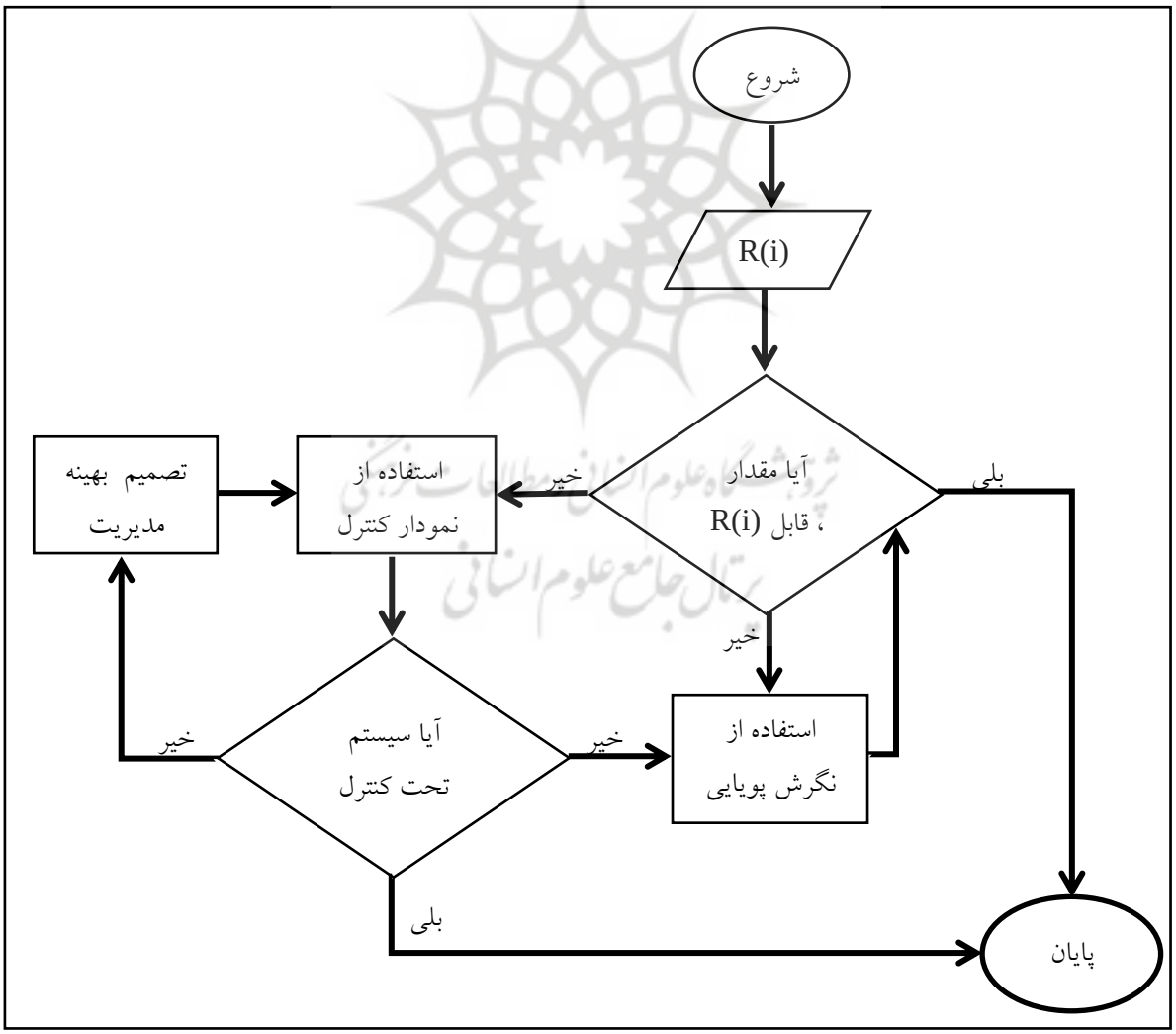
جدول ۱. فرآیند مدل‌سازی سیستماتیک مسائل پویایی سیستم (Khatab et al., 2019)

فرآیند	گام‌ها
ساختاردهی مسئله	شناسایی مسائل و موضوعاتی که دغدغه مدیریت هستند جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات اولیه شناسایی متغیرهای اصلی ترسیم نمودارهای رفتار سیستم در طول زمان
مدل کردن حلقه‌های علّت و معلولی	توسعه نمودارهای علّت و معلولی تحلیل رفتار حلقه‌ها در طول زمان شناسایی الگوهای کلی حاکم بر سیستم شناسایی نقاط اهرمی کلیدی توسعه استراتژی‌های مداخله در سیستم
مدل‌سازی پویا	تعریف نوع متغیرها و ترسیم نمودارهای جریان جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات تفصیلی توسعه یک مدل شبیه‌سازی شبیه‌سازی وضعیت تعادلی سیستم بازتولید رفتار مرجع سیستم معتبرسازی مدل تحلیل حساسیت مدل طراحی و تحلیل سیاست‌ها توسعه و آزمایش استراتژی‌ها
مدل‌سازی و برنامه‌ریزی سناریو	طراحی حوزه کل سناریوهای سیستم شبیه‌سازی سناریو با مدل ارزیابی پایداری سیاست‌ها و استراتژی‌ها
پیاده‌سازی و یادگیری سازمانی	تهیه یک گزارش و ارائه به تیم طراحی انتقال نتایج و شهود بدست آمده به ذی‌نفعان مسئله ایجاد یک بازی میکرو ورلد استفاده از ابزار بازی برای ارزیابی مدل‌های ذهنی و تسهیل فرآیند یادگیری سازمانی

ارزیابی و کنترل پایایی، یکی از مسائل مهم و حیاتی هر سیستم نگهداری و تعمیرات است؛ به گونه‌ای که پایایی یک سیستم، می‌تواند بیانگر میزان توانایی آن در مواجهه با مسائل گوناگون باشد. هدف از این مطالعه، ایجاد و توسعه روشی جدید برای ارزیابی پایایی در یک سیستم نگهداری و تعمیرات است. باید به جای تمرکز بر کاهش هزینه‌ها، بر افزایش پایایی متمرکز شد؛ زیرا، با بهبود پایایی، قطعاً، هزینه‌ها کاهش خواهد یافت. کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، نتیجه عملیات نگهداری و تعمیرات مناسب و به موقع است. هدف نگهداری و تعمیرات، بهبود پایایی تجهیزات است؛ زیرا، پایایی، منجر به کاهش هزینه‌ها می‌گردد. امّا، کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، همواره، منجر به بهبود پایایی

نخواهد شد. به دلیل ماهیت پویای این نوع از سیستم‌ها، از مفهوم پویایی سیستم برای شناسایی و تجزیه و تحلیل انواع عناصر حیاتی، ویژگی‌های ساختاری، ارتباطات و بازخوردهای مرتبط با پایایی، استفاده می‌شود. از این رو، با استفاده از مجموعه‌ای از حلقه‌های علّی و معلولی و نمودارهای انباشت و جریان برای فهم و درک بهتر عوامل پویا در یک سیستم نگهداری و تعمیرات، تلاشی در جهت افزایش پایایی انجام شده است.

در نمودار شماره ۲، فلوچارتی برای کمک به درک و فهم بیشتر ارائه شده است. همان‌گونه که در نمودار، مشاهده می‌شود، رویه حل مسأله موجود در این پژوهش به این صورت تعریف می‌شود که برای ارزیابی و کنترل پایایی در یک سیستم نگهداری و تعمیرات، بعد از دریافت مقادیر پایایی مشاهده شده از هر یک از تجهیزات و ماشین‌آلات که با R(i) نشان داده شده است، برای کنترل میزان پایایی در یک سیستم نگهداری و تعمیرات و یا به عبارتی، تحت کنترل درآوردن سیستم، می‌توان هم از نگرش پویایی سیستم و هم از نمودار کنترل CUSUM بهره گرفت تا در نهایت، بتوان به میزان پایایی مورد انتظار از سیستم رسید.



نمودار ۲. فلوچارت رویه حل مسأله پژوهش (Source:By author)

به منظور طراحی مدل پژوهش، ابتدا، کلیه عوامل تأثیرگذار بر پایایی در سیستم نگهداری و تعمیرات، با دقت بررسی و استخراج گردید؛ سپس، با استفاده از نظر اساتید محترم و همچنین، متخصصین و خبرگان این حوزه، تعدادی از آنها، حذف و تعدادی به آنها، اضافه گردید. در جدول شماره ۲، مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در مدل، به نمایش درآمده‌اند.

جدول ۲. متغیرهای تأثیرگذار بر مدل (Source:By author)

پایایی	سود	مواد اولیه
تعمیرپذیری	درآمد	نرخ تولید
دسترس‌پذیری	هزینه	موجودی در حال ساخت
کیفیت سیستم نگهداری و تعمیرات	قیمت	موجودی
نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه	تبلیغات	زمان تولید
نگهداری و تعمیرات اصلاحی	فعالیت‌های بازاریابی	تعداد عیوب
روش‌های نوین کنترل کیفیت	شهرت و اعتبار	نرخ خرابی
میزان استفاده از نمودارهای کنترل	سهم بازار	توقف خط تولید
دستیابی به استانداردهای بین‌المللی	کیفیت محصول	دوباره‌کاری
جامعیت ارزیابی ریسک	جذابیت محصول	زمان تحویل
برنامه‌های بهبود پایایی	تعداد کارکنان	تأخیر در زمان تحویل
توانایی تشخیص تغییر در سیستم	آموزش کارکنان	تعداد سفارشات
توانایی مواجهه با نیازهای مشتری	مهارت کارکنان	سوبسید
تعداد مشتریان	بهره‌وری کارکنان	مالیات
رضایت مشتری	رضایت کارکنان	سرمایه جاری
وفاداری مشتریان	پاداش کارکنان	تورم

نمودار علّت و معلول

با مشخص شدن فرضیه‌های پویا، حلقه‌های علّت و معلولی مهم رسم می‌شوند. تبیین و ترسیم حلقه‌های علّی و معلولی یک سیستم، یکی از مراحل مهم طراحی و تحلیل سیستم‌های مربوط به پدیده پویا است. همان‌گونه که قبلاً هم ذکر شد، پایایی یک سیستم، می‌تواند بیانگر میزان توانایی یک سیستم در مواجهه با مسائل گوناگون باشد. پایایی[1]، یک مشخصه وابسته به زمان است که فقط پس از یک زمان سپری شده قابل تعیین ولی، در هر زمان، قابل پیش‌بینی است. در ادامه، با استفاده از سیستم‌های پویا، یک سیستم نگهداری و تعمیرات به صورت یک سری روابط علّی و معلولی در آمده و در نمودار شماره ۳، نشان داده شده است. هدف از رسم این نمودار علّت و معلولی، ارزیابی، کنترل و در نهایت افزایش پایایی در یک سیستم نگهداری و تعمیرات است.

در این نمودار، تعاملات علّی و معلولی درون سیستم با در نظر گرفتن جهت و نحوه‌ی تأثیر با علامت‌های + و - مشخص شده است. همان‌گونه که در نمودار، مشخص است، بین متغیرهای مهم و کلیدی یک سازمان، روابط علّی و

[1] Reliability

معلولی زیر برقرار است و به دفعات، بین متغیرها، ارتباط رفت و برگشتی صورت می‌گیرد و هر یک از آنها، در کاهش یا افزایش دیگری به صورت پویا و در قالب روابط علّی و معلولی، مؤثر است.

تعمیرپذیری[۱]، یکی از فاکتورهای مهم است که تأثیر مثبتی را روی عامل پایایی دارد. با افزایش تعمیرپذیری، پایایی افزایش می‌یابد. هرچه تعمیرپذیری تجهیزات و ماشین‌آلات، بیشتر باشد، پایایی بیشتر است. تعمیرپذیری، یکی از شاخص‌های مهم در انتخاب و خرید ماشین‌آلات و همچنین، تعمیرات است. شاخص تعمیر پذیری ماشین، همان متوسط زمان صرف شده جهت تعمیر مجموعه ماشین است که به آن MTTR[2] نیز می‌گویند و کاربرد آن، در شناسایی سیستم و مجموعه‌های با پیچیدگی تعمیر بالا و شناسایی مدت زمان انتظار جهت انجام تعمیرات است. از طرفی، تعمیرپذیری، وابسته به میزان بهینگی سیستم نگهداری و تعمیرات[۳] است. هرچه یک سیستم نگهداری و تعمیرات، خبره و پیشرفته‌تر باشد، میزان تعمیرپذیری آن، بیشتر است. با یک سیستم نگهداری و تعمیرات بهینه، جامعیت ارزیابی ریسک[۴] در سیستم افزایش می‌یابد و بنابراین، گزارش خطرات و ریسک‌هایی که سیستم را تهدید می‌کنند[۵]؛ افزایش می‌یابد. بدین ترتیب، سیستم در جهت رفع عیب‌های موجود بر آمده[۶] و پایایی سیستم، افزایش می‌یابد.

فاکتور مهم دیگری که روی پایایی تأثیر می‌گذارد؛ عامل نرخ خرابی[۷] است. با کاهش نرخ خرابی، می‌توان پایایی را افزایش داد. نرخ خرابی، میزانی برای سنجیدن خرابی یک سیستم است و می‌توان آن را احتمال رخ دادن خرابی در یک بازه‌ی زمانی مشخص، که قبل از زمان t، بدون خرابی بوده است، دانست.

نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه[۸]، فاکتور دیگری است که به صورت غیر مستقیم روی عامل پایایی تأثیر می‌گذارد. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، یک روش قانونمند نگهداری و تعمیرات است که طی آن، وضعیت تجهیزات، دائماً به وسیله بازرسی‌های فنی و روانکاری‌های منظم و دوره‌ای و اقدامات پیشگیرانه، به منظور کاهش احتمال وقوع خرابی‌های ناگهانی، تحت نظارت قرار گرفته و بدین وسیله، ضرورت انجام تعمیرات جزئی و یا کلی تعیین می‌گردد تا از توقفات اضطراری و برنامه‌ریزی نشده یا هر نوع خرابی دیگری پیشگیری شود. هر چه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، منظم‌تر و دارای برنامه‌ی دقیق‌تری باشد، امنیت تجهیزات و ماشین‌آلات[۹]، افزایش می‌یابد. با تجهیزات و ماشین‌آلات استاندارد، می‌توان امیدوار بود که تعمیرات اصلاحی[۱۰]، کاهش یابد. تعمیرات اصلاحی را می‌توان شناسایی، جدا کردن و تصحیح اشکالات و عیوب موجود در سیستم تعریف نمود تا بدین وسیله، سیستم در وضعیت عملیاتی و آماده به کار به سر برد. یک سیستم نگهداری و تعمیرات با سطح پایایی بالا، با تعمیرات اصلاحی به مراتب کمتری روبرو خواهد شد.

[1] Maintainability
[2] Mean Time to Repair
[3] Optimality of maintenance system
[4] Thoroughnessof risk assessment
[5] Percentage of existing hazard reported
[6] Number of significant hazards rectified
[7] Failure rate
[8] Preventive maintenance
[9] Safety of machines and equipment
[10] Corrective maintenance

هیچ سازمانی در خلأ به سر نمی‌برد. تمامی سازمان‌ها تحت تأثیر عوامل خارجی هستند. سهم بازار[۱]، یکی از فاکتورهای مهم و قابل توجه است که هر سازمانی در پی به دست آوردن مقدار بیشتری از آن است. سهم بازار، بخشی از کل بازار است که شرکت به خود اختصاص داده و برنامه‌های بازاریابی خود را در راستای رفع نیازهای آن تهیه، تنظیم و اجرا می‌نماید. با به دست آوردن سهم بازار بیشتر، مقدار فروش[۲] افزایش و بنابراین، مقدار سود[۳] در شرکت افزایش می‌یابد. افزایش سهم بازار، یکی از مهم‌ترین اهداف هر سازمانی است که منجر به افزایش شهرت و اعتبار[۴] سازمان و در نتیجه، تقاضای بیشتر مشتریان[۵] می‌گردد.

سهم بازار، به میزان سطح دستیابی به استانداردهای بین‌المللی[۶] نیز بستگی دارد. هرچه میزان دستیابی به استانداردهای بین‌المللی بیشتر باشد& سهم بازار، بیشتر است. با سطح پایایی بالا، دستیابی به استانداردهای بین‌المللی بیشتر می‌شود و سهم بازار افزایش می‌یابد. بنابراین، شهرت و اعتبار شرکت افزایش می‌یابد& تعداد مشتریان افزایش می‌یابد و در نهایت، میزان سود بیشتر می‌شود. به بیان دیگر، با افزایش میزان دستیابی به استانداردهای بین‌المللی، سازمان در پی مواجهه با نیاز سطح وسیعی از مشتریان در واحدهای تجاری مختلف و در ارتباط با شرکت بر می‌آید و بدین ترتیب، توانایی سازمان برای مواجهه با نیازهای مشتری[۷]، افزایش می‌یابد که این امر، باعث حفظ مشتریان موجود[۸] می‌شود. با حفظ مشتریان موجود، شهرت و اعتبار شرکت افزایش می‌یابد و بنابراین، میزان فروش افزایش می‌یابد. با فروش بیشتر، درآمد[۹] شرکت افزایش می‌یابد که به این ترتیب، سود بیشتری را با خود به همراه خواهد داشت.

میزان سطح دستیابی به استانداردهای بین‌المللی، بستگی به میزان استفاده از روش‌های نوین کنترل کیفیت[۱۰] دارد. از طرفی، میزان استفاده از روش‌های نوین کنترل کیفیت، وابسته به میزان برقراری برنامه‌های بهبود کیفیت[۱۱] در سازمان است. هرچه اجرای برنامه‌های بهبود کیفیت در سازمان، همراه با برنامه‌ریزی بیشتر و دقیق‌تر باشند، سازمان از روش‌های بهبود کیفیت بیشتری بهره می‌گیرد که این امر، منجر به دستیابی بیشتر استانداردهای بین‌المللی می‌شود.

فاکتور دیگری که روی عامل سهم بازار تأثیر می‌گذارد؛ تبلیغات[۱۲] است. با تبلیغات بیشتر، سازمان، سهم بازار بیشتری را به دست می‌آورد که البته، این امر، بستگی به میزان درآمد دریافتی سازمان دارد. هرچه درآمد بیشتر باشد؛ شرکت، بیشتر قادر خواهد بود تا سهم بیشتری را برای تبلیغات قائل شود و به این وسیله، سهم بازار بیشتری را کسب کند.

---

[1] Market share
[2] Sales
[3] Profit
[4] Reputation
[5] Products' demand
[6] International standards achievement
[7] Ability to meet customers' need
[8] Keeping existing customers
[9] Revenue
[10] Using modern quality controls methods
[11] Establishment of quality improvement programs
[12] Advertisment

جذابیت محصول[۱]، فاکتور قابل توجه دیگری است که روی میزان سهم بازار اثر می‌گذارد. هرچه محصولی، جذاب‌تر باشد، سهم بازار بیشتر است. همچنین، با جذابیت بیشتر محصول، تقاضا برای محصول نیز بیشتر می‌شود.

از اعتماد به محصول[۲]، می‌توان به عنوان فاکتور دیگری که روی سهم بازار، تأثیر می‌گذارد نام برد. با اعتماد بیشتر به محصول، شهرت و اعتبار افزایش می‌یابد که به صورت غیر مستقیم، باعث افزایش سهم بازار می‌شود. همچنین، با اعتماد بیشتر به محصول، تقاضا برای محصول افزایش می‌یابد. با افزایش تقاضا برای محصول، میزان تولید افزایش می‌یابد که منجر به افزایش فروش، سپس، سهم بازار و سود سازمان می‌گردد.

فاکتورهای مختلفی نیز در پی کاهش میزان هزینه‌ها و مخارج سازمان هستند. بهره‌وری[۳]، معیاری از میزان کارایی تولید، یکی از فاکتورهای مهم و اساسی است که باعث کاهش هزینه سازمان می‌شود. بهروری، نسبت خروجی تولید به ورودی آن، مقدار کالا و خدمات تولید شده در مقایسه با هر واحد از انرژی و یا کار هزینه شده بدون کاهش کیفیت تعریف می‌شود. به دیگر سخن، بهره‌وری، عبارتست از به دست آوردن حداکثر سود ممکن، با بهره‌گیری و استفاده بهینه از نیروی کار، توان، استعداد و مهارت نیروی انسانی، زمین، ماشین، پول، تجهیزات، زمان، مکان و... به منظور ارتقاء رفاه جامعه. با بهره‌وری بیشتر، سازمان با هزینه کمتری روبرو خواهد شد. همچنین، هر چه بهره‌وری، بیشتر شود، نرخ خرابی کمتر می‌شود. هرچه نرخ خرابی افزایش یابد، میزان توقف خطوط تولید[۴] افزایش می‌یابد که این امر، منجر به زمان مورد نیاز بیشتری برای تولید[۵]، می‌گردد.

میزان دوباره‌کاری‌ها[۶] نیز روی هزینه تأثیر دارند. ارتقاء کیفیت، به معنای تولید محصول سالم در بار اول است. هرچه میزان دوباره‌کاری‌ها بیشتر باشد، ضایعات[۷]، بیشتر افزایش یافته؛ زمان تولید[۸]، بیشتر می‌شود و مهم‌تر از همه، هزینه سازمان، افزایش می‌یابد. میزان استخدام و به‌کارگیری نیروهای تازه‌وارد[۹] نیز مستقیماً روی میزان هزینه سازمان اثر می‌گذارد. این عامل، همچنین، به طور غیر مستقیم روی میزان کارایی[۱۰] تأثیر دارد. کارایی، مفهومی است که هزینه منابع صرف شده در فرآیند کسب هدف را ارزیابی می‌کند. برای سنجش کارایی، هزینه‌ی تأمین منابع انسانی، هزینه استفاده از تجهیزات، نگهداری تسهیلات و نرخ بازگشت سرمایه و نظایر آن، مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. هرچه میزان استخدام در یک شرکت افزایش یابد؛ نیاز به آموزش نیروهای تازه‌وارد[۱۱] برای داشتن پرسنلی ماهر[۱۲] و نیز، افزایش کارایی شرکت، بیشتر می‌شود.

---

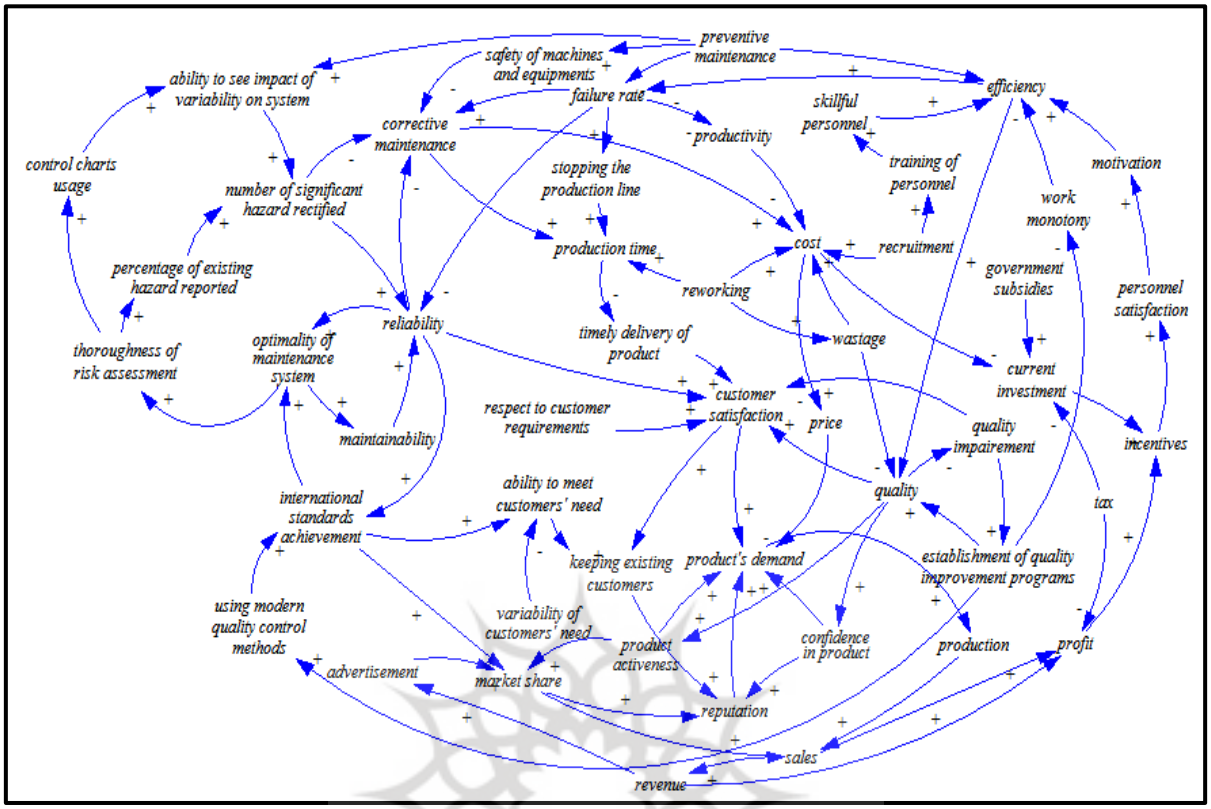
[1] Product activeness
[2] Confidence in product
[3] Productivity
[4] Stopping the production line
[5] Production time
[6] Reworking
[7] wastage
[8] Production time
[9] Recruitment
[10] Efficiency
[11] Training of personnel
[12] Skillful personnel

انگیزه کارکنان[1]، یکی از فاکتورهای مهم و قابل توجه در یک سازمان است که روی میزان کارایی تأثیر می‌گذارد. با رضایت بیشتر کارکنان[2] در یک سازمان، انگیزه کارکنان افزایش می‌یابد. از طرفی، رضایت کارکنان، می‌تواند در نتیجه دستمزد و تشویقی[3] بیشتر به کارکنان باشد و تشویقی بیشتر نیز می‌تواند در نتیجه سود به دست آمده بیشتر برای شرکت و یا سرمایه جاری[4] بیشتر شرکت باشد. یارانه‌های دولت، از جمله عواملی است که میزان سرمایه جاری را افزایش می‌دهد. یارانه، شکلی از کمک مالی است که به یک تجارت یا بخش اقتصادی پرداخت می‌شود. بیشتر یارانه‌ها برای تولیدکنندگان یا توزیع‌کنندگان در یک صنعت، برای جلوگیری از رکود آن صنعت یا جلوگیری از افزایش قیمت تولیدات آن و یا برای ترغیب به استخدام نیروی کار بیشتر اعطا می‌شوند.

نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه نیز روی کارایی اثر دارد. هرچه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در سازمان، منظم‌تر و صحیح‌تر باشد، کارایی آن بیشتر است. یکنواختی کار[5]، به عنوان یک عامل منفی، باعث کاهش کارایی در یک سازمان می‌شود. با برقراری برنامه‌های بهبود کیفیت، یکنواختی کار، کاهش و در پی آن، کارایی سازمان افزایش می‌یابد. برقراری برنامه‌های بهبود کیفیت، می‌تواند در پی تشخیص نقصان کیفیت[6] موجود که روی کیفیت محصول[7] اثر می‌گذارد، باشد. هرچه کیفیت محصول افزایش یابد، رضایت مشتری[8] و اعتماد به محصول افزایش می‌یابد و در نتیجه، تقاضا برای محصول، افزایش پیدا می‌کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Motivation
[2] Personnel satisfaction
[3] Incentives
[4] Current investment
[5] Work monotony
[6] Quality impairment
[7] Product quality
[8] Customer satisfaction



نمودار ۳. نمودار علّت و معلولی ارزیابی پایایی در سیستم نگهداری و تعمیرات (Source:By author)

یافته‌های پژوهش

بیشتر یادگیری‌های سازمان در خصوص مسائل سازمانی، به صورت سعی و خطا بوده و معمولاً، پس از تصمیم‌گیری نادرست حاصل می‌شود. امّا، بسیاری از اشتباهات، به تدریج توان سیستم را تحلیل برده و تأثیرات ناموزونی بر بدنه سیستم وارد می‌کند. ساخت مدل، بهترین راه را برای آزمایش تأثیر ایده‌های جدید بر سیستم‌هاست. با استفاده از این مدل‌ها، مدیران قادر خواهند بود در خصوص آزمایش سیاست‌های جدید، کشف راه‌های جدید تفکر، شناخت حساسیت‌های پنهان اهرم‌ها و نقاط فشار بر شرکت‌ها اقدام نمایند.

اجرای مدل شبیه‌سازی ارزیابی پایایی در سیستم نگهداری و تعمیرات

مدل شبیه‌سازی شده، پس از طراحی به اجرا در می‌آید. این شبیه‌سازی، در افق زمانی دو ساله به اجرا در آمده است. در جدول شماره ۳، تعدادی از مهم‌ترین روابط تعریف شده حاکم بر متغیرهای موجود در مدل پویای نگهداری و تعمیرات، نشان داده شده است.

جدول ۳. تعدادی از روابط حاکم بر مدل پویا در سیستم نگهداری و تعمیرات (Source:By author)

System Dynamics Equations in The Maintenance System		Units
reliability improvement programs	IF THEN ELSE (preventive maintennace>=5, 5, 2)	1/Month
failure rate	1/reliability	1/Month
international standard achievement	using modern quality control methods*thoroughness of risk assessment	Dmnl
control chart usage	RANDOM UNIFORM (0, 10, 0)*thoroughness of risk assessment	1/Month
defect introduction	time for improvement efforts-SMOOTHI (process problems*optimality of maintenance system*ability to see impact of variability on system, 2, 0)	Dmnl
confidence in product	EXP (ability to meet customers' need)	Dmnl
maintenance quality	average quality+effect of employee productivity on maintenance quality+effect of material quality on maintenance quality+effect of quality improvement programs on maintenance quality+effect of using modern quality control methods on maintenance quality+employee productivity+employee satisfaction+material cost per machine maintenance+price+skills+using modern quality control methods+availability+maintainability.	Dmnl
obsorbing customer by marketing	IF THEN ELSE (number of marketing program>0, number of marketing program*efficiency of marketing program*RANDOM UNIFORM (20, 30, 0), 0)	person/Month
reward to staff	IF THEN ELSE (employee productivity>80, average reward, 0)	dollar/Month
skills	INTEG (skills learned-skill lost, 10000)	points
skills learned	number of training*number of staff that training*training efficiency	points/Month
skill lost	skills*loss rate	points/Month
current investment	INTEG ((government subsidies-governement tax)*profit, 100)	dollar
cost before tax	marketing cost+material cost+staff cost+training cost+reward cost+failure cost+reworking cost+wastage cost+other cost	Dmnl
inflation	0.008	1/Month

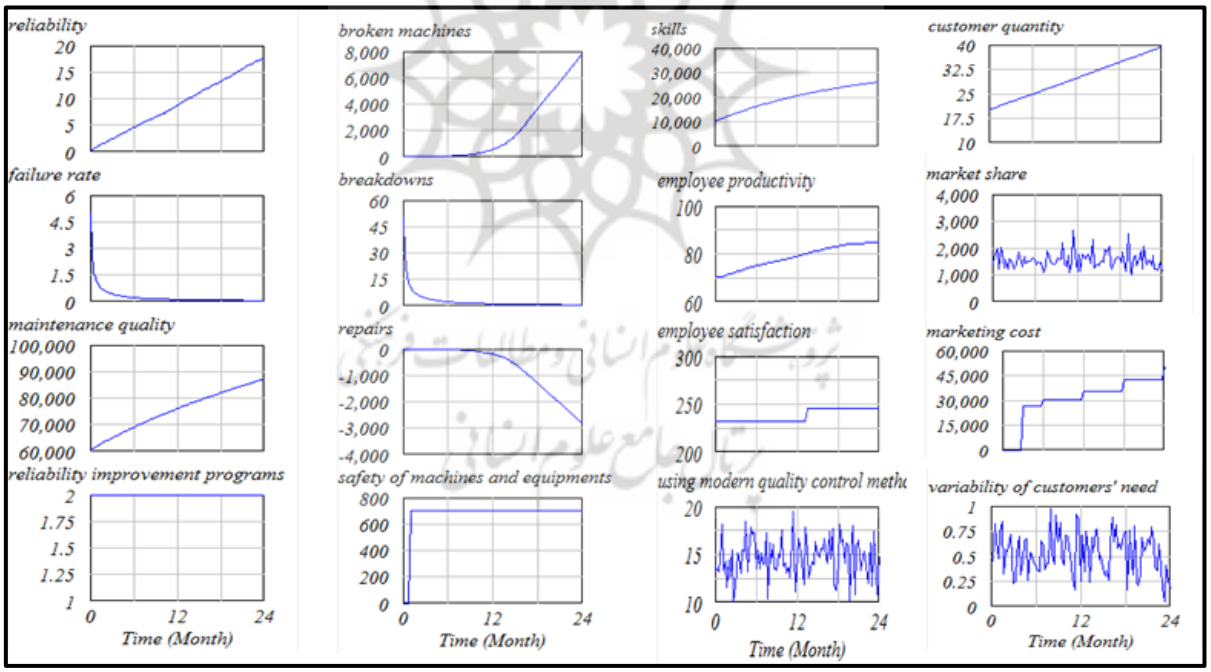
نتایج و روند پیش‌بینی متغیرها در نمودار شماره ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است، مقدار پایایی در سیستم نگهداری و تعمیرات، روندی خطی و افزایشی را از خود نشان داده است. نرخ خرابی، به صورت تابع توزیع نمایی، روندی کاهشی را با خود به همراه داشته است، به گونه‌ای که این میزان از حدود ۴/۵ در ابتدای ماه اول به حدود نزدیک به صفر در پایان دوره شبیه‌سازی رسیده است. کیفیت سیستم نگهداری و تعمیرات، نیز روندی افزایشی داشته است و از میزان ۶۰۰۰۰ واحد در ابتدای دوره شبیه‌سازی به میزان حدود ۸۷۰۰۰ واحد در پایان دوره، افزایش پیدا کرده است.

تعداد برنامه‌های بهبود کیفیت، در طول دوره، ثابت و به مقدار ۲ برنامه در ماه، فرض شده است. تعداد خرابی‌های تجهیزات و ماشین‌آلات، مانند نرخ خرابی و به صورت تابع توزیع نمایی است. این میزان از حدود ۴۵ ماشین در ابتدای ماه اول به حدود صفر ماشین در پایان ماه ۲۴ام، یعنی در پایان دوره شبیه‌سازی رسیده است. تعداد تعمیرات ماشین‌آلات و تجهیزات، بعد از گذشت حدود شش ماه از آغاز دوره شبیه‌سازی که تقریباً مقدار ثابتی داشته رو به کاهش گذارده است. میزان امنیت ماشین‌آلات و تجهیزات، بعد از گذشت حدود دو ماه، به مقدار بسیار زیادی افزایش پیدا کرده است

و به حدود ۷۰۰ رسیده است. مهارت کارکنان، عامل مؤثر دیگری در بهبود یک سیستم نگهداری و تعمیرات، نیز در طول دوره شبیه‌سازی رشد داشته است. به گونه‌ای که از میزان حدود ۱۰۰۰۰ واحد در ابتدای دوره به حدود ۲۸۰۰۰ واحد در پایان دوره رسیده است.

بهره‌وری کارکنان، عامل مؤثر دیگر در بهبود سیستم است که این فاکتور نیز در طول دوره افزایش پیدا کرده است و از حدود ۷۰ واحد در ابتدای دوره به حدود ۸۵ واحد در پایان دوره شبیه‌سازی رسیده است. رضایت کارکنان، رشدی پله‌ای با خود به همراه داشته و از حدود ۲۳۰ واحد در ابتدای دوره به حدود ۲۵۰ واحد در پایان دوره رسیده است. میزان استفاده از روش‌های نوین کنترل کیفیت، نوسان زیادی با خود داشته و بین ۱۰ تا ۲۰ بار در ماه متغیر بوده است.

تعداد مشتریان، روندی خطی و افزایشی داشته است. این میزان از حدود ۲۰ مشتری در ابتدای ماه اول به حدود ۴۰ مشتری در پایان ماه ۲۴ام رسیده است. سهم بازار نیز با نوسان زیادی که با خود به همراه داشته است؛ به حداقل ۱۰۰۰ و حداکثر ۲۸۰۰۰ واحد در ماه رسیده است. هزینه بازاریابی، رشدی پله‌ای داشته و از میزان صفر واحد در ابتدای دوره به حدود ۴۵۰۰۰ واحد در پایان دوره رسیده است. میزان تغییرپذیری نیازهای مشتریان نیز با نوسان بسیار زیادی همراه بوده است و در کل دوره، متغیر بوده است.



نمودار ۴. نتایج مدل شبیه‌سازی ارزیابی پویایی در سیستم نگهداری و تعمیرات (Source:By author)

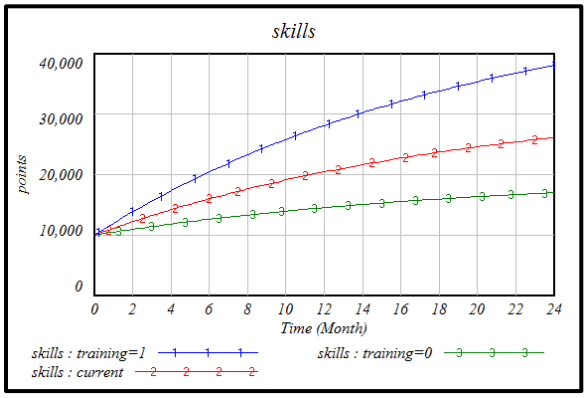
اعتبارسنجی مدل

اعتبارسنجی، فرآیند ایجاد اطمینان در زمینه معنی‌دار بودن و مفید بودن مدل است. در این پژوهش، جهت تصدیق مدل شبیه‌سازی شده، از آزمون‌های متفاوتی استفاده شده است که در ادامه، تشریح می‌گردد. آزمون کفایت مرز، بر کافی بودن پارامترها و متغیرها در مدل با توجه به هدف تأکید دارد که هدف از این پژوهش، طراحی یک مدل پویا برای

یک سیستم نگهداری و تعمیرات بوده و مدل طراحی شده، مدل پویایی است که یک سیستم نگهداری و تعمیرات را از حالت ایستا بودن خارج می‌کند. آزمون سازگاری واحدها، بر همخوان بودن واحدها در مدل تأکید داشته که این موضوع توسط نرم‌افزار، تصدیق شده است. برای ارزیابی ساختار مدل، علاوه بر تست‌های کفایت مرز و سازگاری واحدها، از تست شرایط حدی هم استفاده می‌شود. برای انجام این تست، چند معادله نرخ که مهم‌تر از بقیه هستند، آزمون می‌شود. در آزمون شرایط حدی، با تغییر یافتن سیاست‌ها و به دنبال آن، تغییر مقادیر ورودی، مدل، باید رفتار مورد انتظار را از خود نشان دهد.

نمودار شماره ۵، اثر افزایش تعداد برنامه‌های آموزشی را روی میزان مهارت کارکنان نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، هنگامی که تعداد دوره‌ها و برنامه‌های آموزشی به عنوان یک عامل مؤثر در سیستم نگهداری و تعمیرات تغییر می‌یابد و به مقدار صفر یا بیشتر از مقدار جاری خود می‌رسد، میزان مهارت کارکنان نیز تغییر می‌کند. تعداد برنامه‌های آموزشی در این نمودار، از صفر برنامه در ماه به ۰/۳۳ در ماه، یعنی، هر چهار ماه یک بار و در نهایت، یک برنامه آموزش در ماه، تغییر کرده است. روند نمایش نمودارها بر اساس تأثیر آنها و از پایین به بالا است.

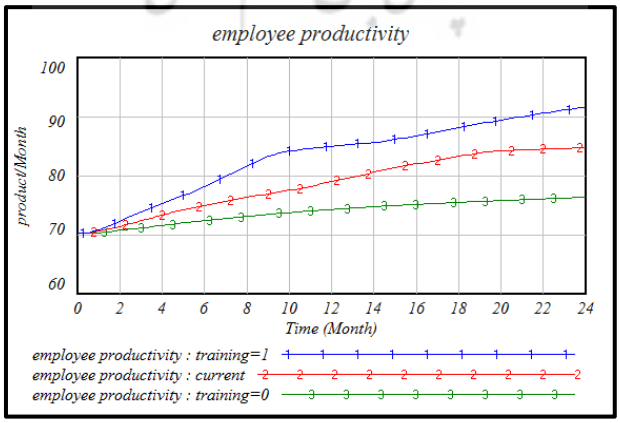
با توجه به شکل، واضح است زمانی که شرکت، هیچ‌گونه برنامه و دوره آموزشی برگزار نمی‌کند، نمودار روند تقریباً یکنواختی داشته و میزان مهارت کارکنان، به مقدار بسیار اندکی رشد داشته است. به گونه‌ای که از میزان ۱۰۰۰۰ امتیاز در ماه اول به حداکثر میزان ۱۷۰۰۰ امتیاز در ماه ۲۴ام، یعنی در پایان سال دوم و پایان دوره شبیه‌سازی رسیده است. به طور حتم، دلایل دیگری نیز در میزان مهارت کارکنان مؤثر است که از جمله، می‌توان به تجربه‌ای که کارکنان در حین کار به دست می‌آورند، اشاره نمود. می‌توان دلیل این پیشرفت اندک را زمانی که هیچ دوره آموزشی برگزار نمی‌شود؛ به تجربه‌های کسب شده کارکنان در حین کار نسبت داد. با برگزاری دوره‌های آموزشی به میزان هر چهار ماه یک بار، نمودار پیشرفت بیشتری را نشان داده است. از میزان ۱۰۰۰۰ امتیاز در ماه اول به حدود ۲۶۰۰۰ امتیاز در پایان دوره شبیه‌سازی، یعنی بیشتر از دو برابر مقدار اولیه خود رسیده است و با افزایش تعداد دوره‌های آموزشی به میزان هر ماه یک برنامه آموزشی، شرکت با پیشرفتی نزدیک به ۴ برابر مواجه است؛ به گونه‌ای که توانسته از میزان ۱۰۰۰۰ امتیاز در ماه اول به نزدیک ۴۰۰۰۰ امتیاز در پایان ماه ۲۴ام برسد. بدین ترتیب، اهمیت دوره‌ها و برنامه‌های آموزشی در یک سازمان آشکار می‌شود. می‌توان با برگزاری دوره‌های آموزشی در یک سازمان، با پیشرفت قابل توجه مهارت کارکنان در سازمان مواجه شد که این امر، به پیشرفت در ابعاد دیگر و در نهایت، کل سازمان می‌انجامد.



نمودار ۵. اثر تغییر تعداد برنامه آموزش روی میزان مهارت کارکنان (Source:By author)

هنگامی که تعداد دوره‌های آموزش و برنامه‌های آموزشی به عنوان یک عامل مؤثر در سیستم نگهداری و تعمیرات تغییر می‌یابد و به مقدار صفر یا بیشتر از مقدار جاری خود می‌رسد، بهره‌وری کارکنان تغییر می‌کند. در نمودار شماره ۶، اثر افزایش تعداد دوره‌ها و برنامه‌های آموزشی روی بهره‌وری کارکنان نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، این میزان از صفر برنامه در ماه به ۰/۳۳ در ماه، یعنی هر چهار ماه یک بار و در نهایت به یک برنامه آموزش در ماه، تغییر کرده است. روند نمایش نمودارها بر اساس تأثیر آنها و از پایین به بالا است.

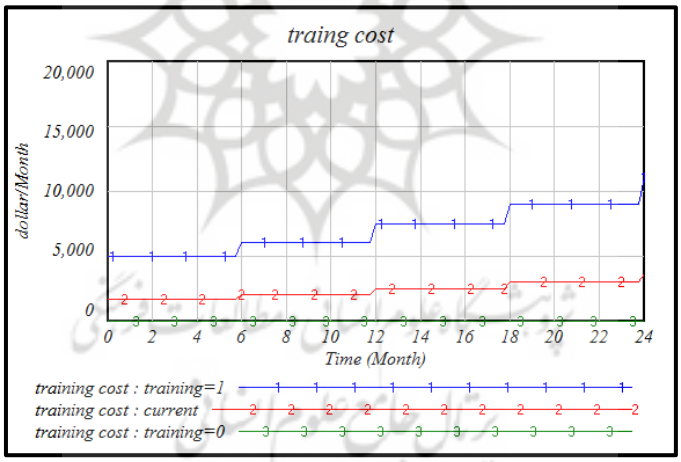
همان‌گونه که مشاهده می‌شود، زمانی که شرکت، هیچ‌گونه دوره و برنامه آموزشی برگزار نمی‌کند، نمودار، روند تقریباً یکنواختی از خود نشان داده است. در این حالت، میزان بهره‌وری کارکنان از ۷۰ امتیاز در ابتدای ماه اول به حداکثر مقدار حدود ۷۷ امتیاز در ماه ۲۴ام و در پایان دوره شبیه‌سازی رسیده است. شرکت، با افزایش تعداد برنامه‌های آموزشی به میزان هر ۴ ماه یک بار، با پیشرفت بیشتر بهره‌وری کارکنان مواجه خواهد شد. طوری که از میزان ۷۰ امتیاز در ابتدای ماه اول به حداکثر ۸۵ امتیاز در پایان سال دوم رسیده است. شرکت، همچنین، می‌تواند به میزان بیشتری با پیشرفت بهره‌وری کارکنان روبرو شود، اگر تعداد برنامه‌های آموزشی خود را به یک برنامه در ماه افزایش دهد. بدین ترتیب، از میزان ۷۰ امتیاز در ابتدای ماه اول، می‌تواند به میزان بیش از ۹۰ امتیاز در پایان دوره شبیه‌سازی برسد.



نمودار ۶. اثر تغییر تعداد برنامه آموزش روی بهره‌وری کارکنان (Source:By author)

نمودار شماره ۷، اثر افزایش تعداد برنامه‌های آموزشی را روی میزان هزینه آموزش، نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، هنگامی که تعداد دوره‌های آموزش و برنامه‌های آموزشی به عنوان یک عامل مؤثر در سیستم نگهداری و تعمیرات تغییر می‌یابد و به مقدار صفر یا بیشتر از مقدار جاری خود می‌رسد، هزینه آموزش تغییر می‌کند. تعداد برنامه‌های آموزشی در این نمودار از صفر برنامه در ماه به ۰/۳۳ در ماه، یعنی هر چهار ماه یک بار و در نهایت به یک برنامه آموزش در ماه، تغییر کرده است. روند نمایش نمودارها بر اساس تأثیر آنها و از پایین به بالا است.

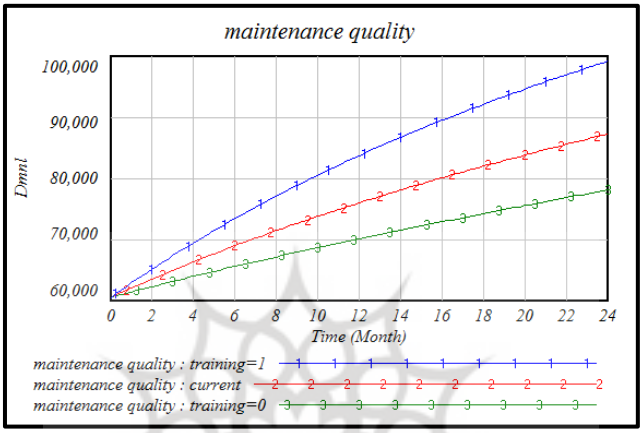
هنگامی که شرکت، هیچ‌گونه دوره و برنامه آموزشی برگزار نمی‌کند، طبیعتاً، هزینه‌ای هم برای امر آموزش در سازمان، نگاشته نمی‌شود و همان‌گونه که در شکل، مشاهده می‌شود، این هزینه، به مقدار صفر در کل دوره شبیه‌سازی نمایش داده شده است. با افزایش تعداد برنامه‌های آموزشی، هزینه آموزش در سازمان هم افزایش می‌یابد. این هزینه، به صورت پله‌ای در سازمان رشد دارد. با برگزاری تعداد دوره‌ها و برنامه‌های آموزشی به میزان هر ۴ ماه یک بار، هزینه آموزش در سازمان به میزان اندکی افزایش می‌یابد. یعنی به حدود حداکثر ۳۰۰۰ دلار در ماه می‌رسد. با افزایش بیشتر تعداد برنامه‌های آموزشی در سازمان، یعنی به میزان یک برنامه در هر ماه، هزینه آموزش هم به صورت پله‌ای از میزان ۵۰۰۰ دلار در ماه به حدود ۹۰۰۰ دلار در ماه افزایش یافته است.



نمودار ۷. اثر تغییر تعداد برنامه آموزش روی هزینه آموزش (Source:By author)

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، هنگامی که تعداد دوره‌های آموزش و برنامه‌های آموزشی به عنوان یک عامل مؤثر در سیستم نگهداری و تعمیرات تغییر می‌یابد و به مقدار صفر یا بیشتر از مقدار جاری خود می‌رسد، کیفیت سیستم نگهداری و تعمیرات نیز تغییر می‌کند. نمودار شماره ۸، اثر افزایش تعداد برنامه آموزش را روی کیفیت سیستم نگهداری و تعمیرات نشان می‌دهند. تعداد دوره‌ها و برنامه‌های آموزشی در این نمودار، از میزان صفر برنامه در ماه به ۰/۳۳ در ماه، یعنی هر چهار ماه یک بار و در نهایت به یک برنامه آموزش در ماه، تغییر کرده است. روند نمایش نمودارها بر اساس تأثیر آنها و از پایین به بالا است.

کیفیت یک سیستم نگهداری و تعمیرات، تابع عوامل مختلفی است؛ یکی از آنها، تعداد دوره‌ها و برنامه‌های آموزشی است که سازمان برگزار می‌نماید. می‌توان با افزایش تعداد برنامه‌های آموزشی در سازمان، کیفیت یک سیستم نگهداری و تعمیرات را به میزان بیشتری افزایش داد. همان‌گونه که در نمودار، مشاهده می‌شود، کیفیت سیستم در ابتدای دوره شبیه‌سازی، به میزان ۶۰۰۰۰ واحد بوده است که با افزایش تعداد برنامه آموزش به مقدار هر ماه یک برنامه آموزشی، به مقدار حداکثر ۱۰۰۰۰۰ واحد در پایان دوره شبیه‌سازی رسیده است.



نمودار ۸. اثر تغییر تعداد برنامه آموزش روی کیفیت سیستم نگهداری و تعمیرات (Source:By author)

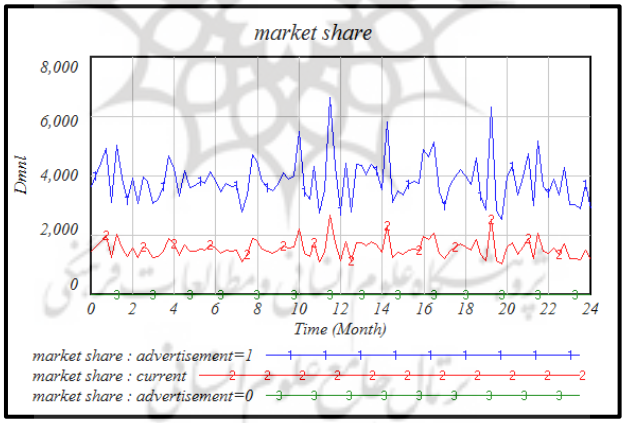
یکی دیگر از مقادیر ثابت، تعداد برنامه‌های تبلیغاتی در ماه است. با افزایش تبلیغات، تعداد مشتریانی که از این طریق جذب می‌شوند، افزایش یافته و در پی افزایش مشتریان، سهم بازار افزایش پیدا می‌کند. در نمودار شماره ۹، اثر تغییر تعداد برنامه‌های تبلیغاتی روی تعداد مشتریان از صفر برنامه در ماه به ۰/۳۳ در ماه، یعنی هر چهار ماه یک بار و به یک برنامه تبلیغات در ماه نشان داده شده است. روند نمایش نمودارها بر اساس تأثیر آنها و از پایین به بالا است.

همان‌گونه که در شکل، مشاهده می‌شود، هنگامی که سازمان، هیچ‌گونه برنامه‌ای برای تبلیغات ندارد، تعداد مشتریان تغییری نکرده، روند ثابتی از خود نشان داده است و تعداد مشتریان، به میزان ۲۰ مشتری در کل دوره شبیه‌سازی، ثابت مانده است. با افزایش تعداد برنامه‌های تبلیغاتی به میزان هر ۴ ماه یک بار، تعداد مشتریان به دو برابر مقدار اولیه خود، یعنی حدود ۴۰ مشتری در پایان سال دوم رسیده است. با افزایش بیشتر تعداد برنامه‌های تبلیغاتی، نمودار هم روند افزایشی بیشتری را از خود نشان داده است. طوری که از مقدار ۲۰ مشتری در ابتدای ماه اول به بیش از ۳ برابر، یعنی حدود ۶۵ مشتری در پایان سال دوم رسیده است. به این ترتیب، به تأثیر و اهمیتی که تعداد برنامه‌های تبلیغاتی در افزایش تعداد مشتریان دارد، پی برده می‌شود.

سهم بازار، به میزان بسیار زیادی وابسته به تعداد برنامه‌های تبلیغاتی است که سازمان در برنامه کار خود دارد. در نمودارهای شکل ۱۰، اثر تغییر تعداد برنامه‌های تبلیغاتی روی سهم بازار از صفر برنامه در ماه به ۰/۳۳ در ماه، یعنی هر چهار ماه یک بار و به یک برنامه تبلیغات در ماه نشان داده شده است. روند نمایش نمودارها بر اساس تأثیر آنها و از پایین به بالا است.

نمودار ۹. اثر تغییر تعداد برنامه‌های تبلیغاتی روی تعداد مشتریان (Source:By author)

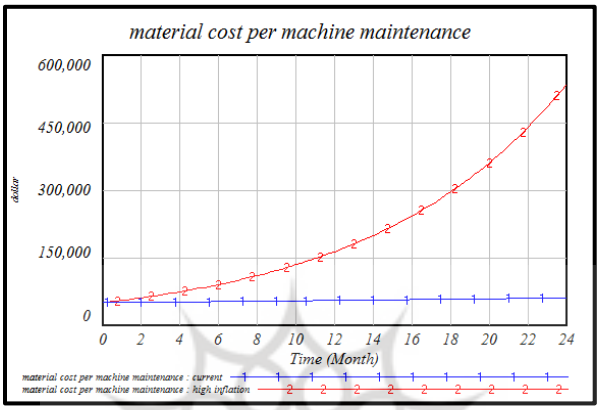
همان‌گونه که در نمودار مشخص است، اگر سازمان هیچ‌گونه برنامه تبلیغاتی را در دستور کار خود قرار ندهد، سهم بازار، در کل دوره شبیه‌سازی، به میزان صفر خواهد بود. با افزایش تعداد برنامه‌های تبلیغاتی به میزان ۰/۳۳ در ماه، سهم بازار به میزان زیادی حدود ۲۰۰۰ واحد افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر تعداد برنامه‌های تبلیغاتی به میزان هر ماه یک بار، سهم بازار به میزان بیش از دو برابر مقدار قبلی خود، رشد می‌یابد.



نمودار ۱۰. اثر تغییر تعداد برنامه‌های تبلیغاتی روی سهم بازار (Source:By author)

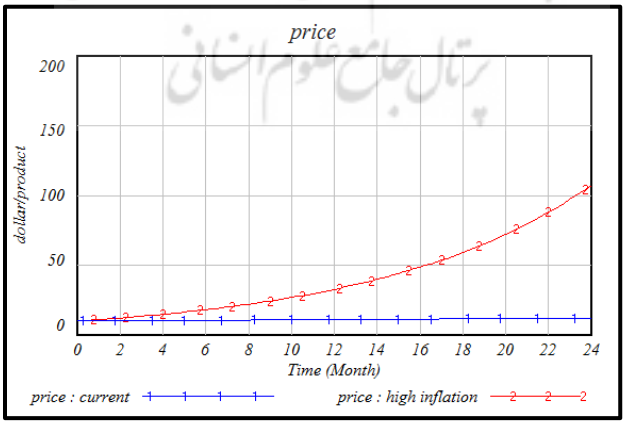
برای بررسی صحت یک مدل، لازم است علاوه بر صحت ساختار، صحت رفتار مدل نیز مورد تأیید قرار گیرد. برای تأیید نحوه تأثیر رفتار مدل، از تست حساسیت رفتار استفاده شده است. تمرکز این تست، روی حساسیت رفتار مدل، با تغییر در مقدار پارامترها است. می‌توان با تغییر در نرخ تورم و افزایش آن، این رفتار از مدل را دید که با افزایش تورم، هزینه مواد اولیه برای یک واحد محصول افزایش می‌یابد. تورم، در عصر حاضر، ابعاد اجتماعی و سیاسی گسترده‌ای پیدا کرده‌است. دلیل این مسئله، ارتباط تنگاتنگ تورم با زندگی افراد جامعه‌است. علاوه بر آن، ثبات سیاسی و اقتصادی یک کشور از طریق شاخص‌های متفاوتی سنجیده می‌شود که تورم از جمله آنهاست. تورم را می‌توان یکی از پیچیده‌ترین، مهم‌ترین و حساس‌ترین مقولات اقتصادی و اجتماعی عصر حاضر دانست و بررسی و تحلیل آن، می‌تواند نقش بسزایی

در تحلیل و تبیین مسائل اقتصادی داشته باشد. در نمودار ۱۱، اثر افزایش نرخ تورم بر پارامتر هزینه مواد به ازای نگهداری و تعمیر هر یک از ماشین‌آلات و تجهیزات، نشان داده شده است. همان‌گونه که در نمودار نیز مشخص است، با افزایش نرخ تورم، هزینه مواد به ازای نگهداری و تعمیر هر یک از ماشین‌آلات به میزان بسیار زیادی افزایش می‌یابد. اگر نرخ تورم به مقدار بسیاری کمی وجود داشته باشد، این هزینه هم در طول دوره شبیه‌سازی تقریباً به مقدار صفر خواهد بود.



نمودار ۱۱. اثر تغییر نرخ تورم روی هزینه مواد به ازای هر ماشین (Source:By author)

همچنین، با تغییر در نرخ تورم و افزایش آن، این رفتار از مدل مشاهده می‌شود که با افزایش تورم، قیمت محصول نیز افزایش می‌یابد. در نمودار ۱۲، اثر افزایش نرخ تورم بر پارامتر قیمت محصول، نشان داده شده است. قیمت محصول نیز همان‌گونه که در نمودار مشخص است، به میزان زیادی وابسته به نرخ تورم است. به گونه‌ای که اگر نرخ تورم ناچیز باشد، قیمت محصول در طول دوره شبیه‌سازی تغییری نمی‌نماید. در حالی که، هنگامی که سازمان با نرخ تورم بالا مواجه می‌شود، قیمت محصول به میزان زیادی افزایش خواهد یافت.



نمودار ۱۲. اثر تغییر نرخ تورم روی قیمت محصول (Source:By author)

لازم به ذکر است که هدف همه تست های مدل های پویایی سیستم، نشان دادن مفید بودن مدل به عنوان ابزاری برای تحلیل سیاست است؛ امّا، می توان از تست های سیاست و طراحی و ارزیابی سیاست ها جهت ترقی و اصلاح در عالم واقع نیز استفاده نمود.

تجزیه و تحلیل با استفاده از نمودار CUSUM

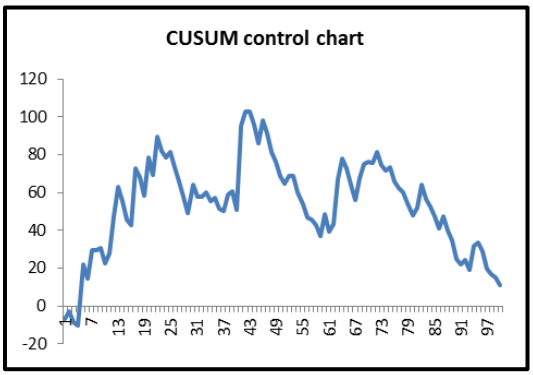
با تجزیه و تحلیل نتایج فعالیت‌های انجام گرفته در سیستم نگهداری و تعمیرات، اطلاعات کافی برای ارزیابی و کنترل پایایی فراهم می‌شود. این امر، به عنوان ابزاری در جهت مطلع ساختن مدیریت از عملیات غیراقتصادی نگهداری و تعمیرات و یافتن علل واقعی صرف هزینه‌های بیش از حد به‌کار می‌رود. مقادیر پایایی به دست آمده در سیستم نگهداری و تعمیرات را می‌توان با استفاده از نمودارهای کنترل آماری، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در این پژوهش، از نمودار کنترل CUSUM، برای این امر استفاده شده است؛ چرا که این نمودار، به تغییرات بسیار کوچک حساس بوده و بدین ترتیب، سریع‌تر می‌توان تغییر در سیستم را تشخیص داد و نسبت به رفع آن اقدام نمود.

هر یک از ماشین‌آلات و تجهیزات در سیستم نگهداری و تعمیرات از یک تابع توزیع پیروی می‌کنند که این تابع، به خصوصیات کاری ماشین، نحوه ترکیب قطعات، فرآیند ساخت و دیگر مشخصات آن وابسته است. طول عمر تجهیزات با استفاده از این توابع، قابل محاسبه بوده و بر همین اساس، احتمال خرابی در یک دوره زمانی مشخص نیز تعیین می‌گردد. مقادیر پایایی می‌توانند از توزیع‌های متفاوتی پیروی کنند. در این پژوهش، فرض شده است که مقادیر پایایی، از تابع توزیع تجمعی نمایی پیروی می‌کنند. زمانی که از کار افتادگی دستگاه، به علل تصادفی اتفاق افتد؛ مانند خرابی در نتیجه افزایش بیش از حد و ناگهانی با تغییرات فوق‌العاده زیاد در جریان ورودی به ابزار و یا زمانی که از کار افتادگی دستگاه، به دلیل خرابی یک جزء یا تعدادی اجزای تشکیل دهنده آن دستگاه صورت پذیرد؛ از توزیع نمایی در سیستم نگهداری و تعمیرات استفاده می‌شود. همچنین، به دلیل خاصیت بی‌حافظگی توزیع نمایی، از آن، در مورد قطعاتی که از کار افتادگی آنها به سابقه کارکرد آنها، چندان ارتباطی نداشته باشد؛ می‌توان استفاده نمود.

در نمودار ۱۳، نمودار کنترل CUSUM با استفاده از داده‌های پایایی، به نمایش در آمده است. ۱۰۰ داده پایایی، به صورت تصادفی برای این امر در نظر گرفته شده‌اند. در صورت تصادفی بودن نقاط، باید توزیع نقاط در بالا و پایین خط مرکز روند یکنواختی داشته باشند. می‌توان با استفاده از روش جدولی جمع تجمعی و یا روش ماسک V، به تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به این نمودار پرداخت. آشکار است که پس از رسم این داده‌ها بر روی نمودار کنترل، به دلیل وجود حدود کنترل، تعدادی از نقاط، بالا و یا پایین حدود کنترل واقع شوند که نشان دهنده خارج از کنترل بودن فرآیند در آن نقاط است.

می‌توان برای حساس‌تر نمودن نمودار کنترل جهت پی بردن به تغییرات کوچک در فرآیند و نشان دادن عکس‌العمل سریع‌تر نسبت به خطاهای با دلیل، چندین معیار کنترل را به طور همزمان استفاده نمود. مثلاً، با مشاهده وجود یک دنباله به طول هشت نقطه در یک طرف خط مرکز، دو از سه نقطه متوالی خارج از حدود هشدار دو انحراف معیار ولی

داخل حدود کنترل و یا شش نقطه متوالی با روند صعودی یا نزولی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیند در حالت خارج از کنترل به سر می‌برد.



نمودار ۱۳. نمودار کنترل CUSUM با استفاده از داده‌های پایایی (Source:By author)

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله، سعی شد برای حل مسائل پیچیده و چند رشته‌ای دنیای کنونی به ویژه مدیریت پروژه‌های نگهداری و تعمیرات، روشی مناسب و سیستمی ارائه شود؛ چرا که حل مسائل مذکور با روش‌های ریاضی و خطی فعلی با محدودیت‌ها و مشکلاتی، همراه خواهد بود و قادر به ارائه نتایج کاملاً واقعی نیست. برای این منظور، یکی از روش‌های مناسب، استفاده از پویایی سیستم است. واضح است که تحولات به صورت یکباره رخ نمی‌دهند و فرآیندی پویا دارند و به همین دلیل، از تعامل متقابل عوامل مختلف ناشی می‌گردند؛ چون درک و کنترل پدیده‌های پویا به سادگی انجام نمی‌شود؛ منجر به افزایش پیچیدگی در آنها می‌گردد که این امر، تشخیص جهت مناسب برای تغییر را بسیار دشوار می‌کند. پس، یکی از چالش‌های عمده برای سازمان‌ها، تشخیص تغییر مناسب و انجام فعالیت در جهت ایجاد آن است. بنابراین، باید مواردی همچون آماده بودن سازمان و کارکنان برای تغییر از طریق الگوسازی و محک‌زنی، اعلام سریع نتایج ملموس مربوط به اعمال تغییر برای کارکنان، یکپارچه‌سازی فعالیت‌های مختلف، ارائه روش‌های جدید و مؤثر، توجه به کلیه اهرم‌های تحول، شفاف نمودن منافع شخصی کارکنان، تعیین حدود مناسب برای اعمال تغییر در زمینه نگهداری و تعمیرات و برای افزایش پایایی، جلب مشارکت کارکنان و برقراری ارتباط مناسب با کلیه دست‌اندرکارانی که در امور نگهداری و تعمیرات، منشأ تأثیر بوده یا تحت تأثیر قرار خواهند گرفت؛ مورد توجه قرار گیرند.

همچنین، نگهداری و تعمیرات، نقش مهمی را در حفظ پایایی، در دسترس بودن، کیفیت تولیدات، کاهش ریسک، افزایش بازدهی، امنیت تجهیزات و ... بر عهده دارد. با توجه به تفاوت ماهیت پروژه¬های نگهداری و تعمیرات با سایر پروژه‌ها و در نظر داشتن این نکته که یک پروژه نگهداری و تعمیرات، ممکن است مدت‌ها پس از طراحی و پیاده‌سازی نیز ادامه داشته باشد؛ پویایی سیستم، به صورت یک سیستم کلی که دارای ساختار بازخوردی بوده و قابلیت اصلاح و تجدید نظر مجدد را دارد؛ تعریف می‌شود و می‌تواند به عنوان روشی مناسب در بهبود عملکرد مدیریت یک سیستم نگهداری و تعمیرات در نظر گرفته شود.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان به نسبت سهم برابر در این پژوهش مشارکت داشته‌اند.

تأیید اخلاقی

رضایت کتبی آگاهانه از افراد برای انتشار اطلاعات ناشناس آنها در این مقاله اخذ شده است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

Assid, M., Gharbi, A., & Hajji, A. (2019). Production and setup control policy for unreliable hybrid manufacturing-remanufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, *50*, 103-118.

de Sousa Junior, W. T., Montevechi, J. A. B., de Carvalho Miranda, R., & Campos, A. T. (2019). Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, *128*, 526-540.

Horng, S. C., & Lee, C. T. (2021). Integration of Ordinal Optimization with Ant Lion Optimization for Solving the Computationally Expensive Simulation Optimization Problems. *Applied Sciences*, *11*(1), 136.

Huang, J., Chang, Q., & Arinez, J. (2020). Deep reinforcement learning based preventive maintenance policy for serial production lines. *Expert Systems with Applications*, *160*, 113701.

Jiang, A., Dong, N., Tam, K. L., & Lyu, C. (2018). Development and optimization of a condition-based maintenance policy with sustainability requirements for production system. *Mathematical Problems in Engineering*.

Kang, J., Sobral, J., & Soares, C. G. (2019). Review of condition-based maintenance strategies for offshore wind energy. *Journal of Marine Science and Application*, *18*(1), 1-16.

Khatab, A., Diallo, C., Aghezzaf, E. H., & Venkatadri, U. (2019). Integrated production quality and condition-based maintenance optimisation for a stochastically deteriorating manufacturing system. *International Journal of Production Research*, *57*(8), 2480-2497.

Lü, X., Wu, Y., Lian, J., Zhang, Y., Chen, C., Wang, P., & Meng, L. (2020). Energy management of hybrid electric vehicles: A review of energy optimization of fuel cell hybrid power system based on genetic algorithm. *Energy Conversion and Management*, *205*, 112474.

Moinian, F., Sabouhi, H., Hushmand, J., Hallaj, A., Khaledi, H., & Mohammadpour, M. (2017). Gas turbine preventive maintenance optimization using genetic algorithm. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, *8*(3), 594-601.

Paprocka, I., Krenczyk, D., & Burduk, A. (2021). The Method of Production Scheduling with Uncertainties Using the Ants Colony Optimisation. *Applied Sciences*, *11*(1), 171.

Rivera-Gómez, H., Montaño-Arango, O., Corona-Armenta, J. R., Garnica-González, J., Hernández-Gress, E. S., & Barragán-Vite, I. (2018). Production and maintenance planning for a deteriorating system with operation-dependent defectives. *Applied Sciences*, *8*(2), 165.

Upasani, K., Bakshi, M., Pandhare, V., & Lad, B. K. (2017). Distributed maintenance planning in manufacturing industries. *Computers & Industrial Engineering*, *108*, 1-14.

Wakiru, J., Pintelon, L., Muchiri, P. N., & Chemweno, P. (2018). Maintenance optimization: application of remanufacturing and repair strategies. *Procedia CIRP*, *69*, 899-904.

Wang, X., Zhang, Y., Wang, L., Wang, J., & Lu, J. (2019). Maintenance grouping optimization with system multi-level information based on BN lifetime prediction model. *Journal of Manufacturing Systems*, *50*, 201-211.

Yan, R., Dunnett, S. J., & Jackson, L. M. (2018). Novel methodology for optimising the design, operation and maintenance of a multi-AGV system. *Reliability Engineering & System Safety*, *178*, 130-139.

Zahedi-Hosseini, F., Scarf, P., & Syntetos, A. (2017). Joint optimisation of inspection maintenance and spare parts provisioning: a comparative study of inventory policies using simulation and survey data. *Reliability Engineering & System Safety*, *168*, 306-316.

Zhang, C., Gao, W., Guo, S., Li, Y., & Yang, T. (2017). Opportunistic maintenance for wind turbines considering imperfect, reliability-based maintenance. *Renewable Energy*, *103*, 606-612.

Zhang, C., Gao, W., Yang, T., & Guo, S. (2019). Opportunistic maintenance strategy for wind turbines considering weather conditions and spare parts inventory management. *Renewable Energy*, *133*, 703-711.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی