



Research Note

Design of a Data-Driven Performance Evaluation System for Productivity Enhancement in Continuous Manufacturing Industries

Mahboobeh Barvarzadeh* and Hasan Khademi Zare

Department of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, Yazd University.

* corresponding author: (40201145@stu.yazd.ac.ir)

Article Info

Article history:

Received: 17 August 2024

Revised: 27 September 2024

Accepted: 13 October 2024

Keywords:

Productivity in continuous automated manufacturing industries, reward and penalty system, key indicators of team performance, teamwork, performance evaluation, PROMETHEE statistical method.

Abstract

In today's industrial landscape, enhancing productivity in manufacturing sectors, particularly in automated continuous industries, has gained paramount importance. This paper introduces an innovative data-driven reward and penalty system designed to boost productivity. The proposed approach targets agile and team-based performance evaluation, focusing on key indicators such as downtime adjustments, stoppages, rework, and process non-conformities. This methodology is founded on systems thinking and a team-oriented approach, aiming to create a holistic view of operational efficiency. The core of this system lies in its unique integration of statistical methods, specifically entropy and PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) techniques. This combination allows for dynamic weighting of performance indicators in each time period, enabling rapid identification of performance fluctuations and highlighting areas requiring process improvement or correction. By employing this data-driven approach, the system provides a responsive and adaptive framework for continuous improvement. To validate its effectiveness, the system was implemented in a heating radiator manufacturing plant. The implementation process was carefully structured, with an initial three-month period followed by a three-month validation phase. The system's direct impact on human capital was evident, fostering team cohesion and promoting a collective mindset among employees. The results of this implementation were significant and multifaceted. After the six-month trial period, the plant witnessed a remarkable 22% increase in production output. This substantial boost in productivity was accompanied by a 20% reduction in failure rates, indicating improved process reliability and efficiency. Furthermore, the rate of defective products decreased by 1.5%, reflecting enhanced quality control measures. Perhaps most notably, the plant's process audit score saw a significant improvement of 21.5%, demonstrating a comprehensive enhancement in overall operational standards. These impressive outcomes underscore the effectiveness of the proposed system in driving tangible improvements across multiple facets of manufacturing operations. The success of this implementation not only validates the theoretical framework but also provides a practical blueprint for other industries seeking to optimize their productivity and quality metrics. By leveraging data-driven insights and fostering a team-oriented culture, this innovative approach presents a promising solution for manufacturers aiming to stay competitive in an increasingly demanding industrial landscape.

Funding: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Author Contributions: All authors contributed to the reported work for conceptualization, methodology, validation, writing-review and editing, and supervision.

To Cite this article:

Barvarzadeh, M. and Khademi Zare, H. 2026. Design of a data-driven performance evaluation system for productivity enhancement in continuous manufacturing industries, Sharif Industrial Engineering and Management Journal, 41(2), pp.153-165. <https://doi.org/10.24200/j65.2024.64793.2408>



طراحی سیستم ارزیابی عملکرد مبتنی بر داده با هدف ارتقاء بهره‌وری در صنایع پیوسته

محبوبه بارورزاده* و حسن خادمی زارع

گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

*نویسنده مسئول (40201145@stu.yazd.ac.ir)

چکیده

امروزه افزایش بهره‌وری در صنایع تولیدی، بخصوص صنایع پیوسته‌ی اتوماتیک، اهمیت ویژه‌ای یافته است. نوشتار حاضر، یک سیستم نوآورانه و داده‌محور پاداش و جریمه را برای ارتقاء عملکرد بهره‌وری ارائه داده است. رویکرد پیشنهادی، ارزیابی عملکرد تیمی را براساس شاخص‌های کلیدی، شامل: تنظیم‌های کاهشی، توقف‌ها، دوباره‌کاری، و عدم‌انطباق فرایند متمرکز کرده و با تلفیق روش‌های آماری آنروپی و پرامتی، امکان وزن‌دهی پویا و دوره‌ای شاخص‌ها را فراهم ساخته است. مکانیزم مذکور، شناسایی سریع انحراف‌های عملکردی و نیاز به اقدام‌های اصلاحی را ممکن ساخته است. سیستم ارائه‌شده در یک کارخانه‌ی تولید رادیاتور گرمایشی پیاده‌سازی شده و با تأثیرگذاری در سرمایه‌ی انسانی، تقویت تفکر سیستمی، و تعامل تیمی، نتایج پس از یک دوره‌ی سه‌ماهه‌ی اولیه و اعتبارسنجی در سه‌ماهه‌ی دوم حاکی از افزایش ۲۲ درصدی نرخ تولید، کاهش ۲۰ درصدی نرخ خرابی، کاهش ۱/۵ درصدی محصولات معیوب، و بهبود ۲۱/۵ درصدی امتیاز ممیزی فرایند بوده است.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷
تاریخ اصلاحیه: ۱۴۰۳/۰۷/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲

واژگان کلیدی:

بهره‌وری در صنایع تولید
پیوسته‌ی اتوماتیک،
سیستم پاداش و جریمه،
شاخص‌های کلیدی عملکرد
تیمی،
ارزیابی عملکرد،
پرامتی.

۱. مقدمه

بررسی می‌شود، که در بسیاری از موارد رد محصول ممکن است از مواد اولیه‌ی نامرغوب ورودی یا حتی عدم کنترل صحیح در انتهای خط باشد؛ لذا واحد کنترل کیفیت نیز با هشدارهای به موقع و عملکرد مناسب در تولید محصول مرغوب بسیار تأثیرگذار است. لذا ساختاری که بتواند تفکر تیمی و انگیزه در کارکنان بخش‌های تولید، نگهداری، و تعمیرات، و کنترل کیفیت ایجاد کند، نقشی کلیدی در ارتقاء بهره‌وری و سودآوری صنایع مذکور ایفا می‌کند. همچنین رویکردهای جدید برای افزایش بهره‌وری باید بر همکاری و هماهنگی میان واحدهای ذکرشده تأکید کنند. به جهت اهمیت روزافزون موضوع، ارزیابی عملکرد واحدهای تولید با استفاده از شاخص‌های عملکردی، پژوهش‌های فراوانی انجام شده است؛ چرا که ایجاد سیستم‌های ارزیابی عملکرد، یک فعالیت روان‌شناختی و محیط‌شناختی است و وابسته به نوع تولید، فرهنگ سازمانی، سطح دانش سازمانی، و دسترسی به داده‌ها و سایر عوامل، رفتار و ساختار متفاوتی را خواهد داشت. در ادامه، به برخی از مطالعات انجام‌شده پرداخته شده است.

پژوهش‌ها در زمینه‌ی ارزیابی عملکرد صنایع پیوسته از اواسط قرن بیستم با ظهور و گسترش اتوماسیون صنعتی آغاز شده است. اولین مطالعات جدی در این زمینه به دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی بر می‌گردد. یکی از اولین

در عصر رقابت شدید جهانی، افزایش بهره‌وری یکی از عوامل کلیدی موفقیت برای شرکت‌های تولیدی به‌ویژه در صنایع پیوسته و اتوماتیک است.^[۱] صنایع تولیدی پیوسته و اتوماتیک، یکی از صنایعی است که نیازمند توجه ویژه برای بهبود بهره‌وری است. ائتلاف منابع، هزینه‌های بالا، و کاهش سودآوری از چالش‌های اصلی صنایع پیوسته در صورت عدم بهره‌وری مناسب است.^[۲] رویکردهای سنتی برای افزایش بهره‌وری، اغلب بر بهبود عملکرد واحدهای انفرادی، مانند: تولید، نگهداری، و تعمیرات (نت)، یا کنترل کیفیت متمرکز بوده‌اند. اما در سیستم‌های پیچیده‌ی تولید پیوسته، واحدهای مذکور به‌شدت به یکدیگر وابسته هستند و عملکرد یک واحد می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در سایر واحدها داشته باشد.^[۳] صنایع تولید پیوسته‌ی خودکار به‌دلیل ماهیت پیچیده و وابستگی متقابل مراحل مختلف فرایند تولید، به‌شدت به عملکرد روان و بدون نقص تجهیزات و ماشین‌آلات وابسته هستند. در این میان، نقش نگهداری و تعمیرات در جلوگیری از خرابی‌ها و توقف تولید، اهمیتی حیاتی دارد. هرگونه خرابی در سیستم‌های مذکور می‌تواند منجر به هزینه‌های هنگفت، از دست‌دادن زمان تولید، و افت کیفیت محصول شود؛ چرا که در صنایع پیوسته، توقف هر یک از عملیات خط منجر به توقف کل تولید می‌شود. از طرفی، کیفیت محصول خروجی در انتهای خط پس از گذر از چندین عملیات

استناد به این مقاله:

بارورزاده، محبوبه و خادمی زارع، حسن، ۱۴۰۴. طراحی سیستم ارزیابی عملکرد مبتنی بر داده با هدف ارتقاء بهره‌وری در صنایع تولید پیوسته. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۴۱(۲)، صص. ۱۵۳-۱۶۵. <https://doi.org/10.24200/165.2024.64793.2408>



کاربرد تری را ارائه دهد.^{[۱۵] و [۱۶]} به جهت رفع هرگونه عدم قطعیت در روش‌های مبتنی بر نظر خبرگان، نوشتارهای ذکر شده نشان می‌دهند که ترکیب روش‌های انترپوی و پرامتی، یک رویکرد کارآمد و مناسب برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه‌های مختلف، از جمله انتخاب تأمین‌کننده، ارزیابی، و مدیریت زنجیره‌ی تأمین است. آگراوال^۸ (۲۰۲۲)،^[۱۷] به استفاده از روش پرامتی^۹ برای رتبه‌بندی و انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان پرداخته و مزایای استفاده از روش اخیر را به جای سایر روش‌ها از جمله AHP بیان کرده است. چانگ و همکاران (۲۰۲۱)،^[۱۸] نیز یک مدل ترکیبی مبتنی بر روش پرامتی و چندمعیاره برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار در صنعت الکترونیک ارائه کرده است. نتیجه‌ی کار ایشان، ارائه‌ی یک رویکرد هدفمند و قوی برای انتخاب تأمین‌کننده‌ی پایدار بوده است، که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در صنعت الکترونیک کمک کند. آذپور و تیموری (۲۰۱۸)،^[۱۹] نیز از روش AHP و پرامتی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده کرده‌اند.

با مرور پژوهش‌های پیشین، شکاف پژوهشی به این شرح استنباط شده است: ✓ فقدان مطالعات عملی و کاربردی در زمینه‌ی افزایش بهره‌وری در صنعت تولید پیوسته و اتوماتیک رادیاتورهای گرمایشی.

✓ کمبود مطالعات در زمینه‌ی طراحی سیستم‌های انگیزشی تیمی مبتنی بر شاخص‌های عملکردی در صنایع تولیدی پیوسته.

✓ نداشتن توجه کافی به ابعاد سیستم مدیریت کیفیت در تعریف شاخص‌های عملکردی در مطالعات پیشین.

✓ محدودیت در استفاده از رویکردهای مبتنی بر داده برای کاهش عدم قطعیت‌های ناشی از قضاوت‌های انسانی در ارزیابی عملکرد.

✓ کمبود مطالعات جامع، که ارتباط بین بهبود عملکرد منابع انسانی و افزایش بهره‌وری کلی سازمان را در صنایع تولیدی پیوسته بررسی کنند.

پژوهش حاضر با ارائه‌ی رویکردی نوآورانه برای افزایش بهره‌وری در تولید پیوسته و اتوماتیک رادیاتورهای گرمایشی، شکاف موجود در مطالعات پیشین را پر می‌کند. نوآوری اصلی پژوهش حاضر، طراحی یک سیستم انگیزشی مبتنی بر شاخص‌های تیمی عملکرد است، که با هدف تقویت همکاری و تعهد کارکنان در واحدهای مختلف برای دستیابی به اهداف مشترک طراحی شده است.

برخلاف برخی مطالعات پیشین، که عمدتاً به صورت نظری یا شبیه‌سازی در برخی صنایع مشابه انجام شده‌اند، پژوهش حاضر یک راهکار عملی و سفارشی‌سازی شده برای صنعت خاص تولید رادیاتورهای گرمایشی ارائه داده و در تعریف شاخص‌های عملکردی، به‌طور ویژه به ابعاد سیستم مدیریت کیفیت توجه کرده است.

روش‌شناسی پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی مبتنی بر داده، سعی در کاهش عدم قطعیت‌های ناشی از قضاوت‌های انسانی دارد. رویکرد مذکور براساس داده‌های واقعی، که از طریق ایجاد ساختارهای مؤثر در ثبت و کنترل اطلاعات به‌دست آمده است، استوار بوده است.

مطالعات در زمینه‌ی ارزیابی عملکرد تولید با نگاه به فرایند نگهداری و تعمیرات در صنعت پیوسته توسط لیندبرگ^۱ و همکاران (۲۰۱۵)،^[۴] انجام شده است. ایشان در یک مطالعه‌ی موردی در یک کارخانه‌ی سیمان، سیستمی را برای ارزیابی عملکرد واحدهای تولید، نگهداری، و تعمیرات براساس شاخص‌های کلیدی عملکرد به‌صورت مجزا طراحی کردند و دریافتند که پس از پیاده‌سازی سیستم مذکور، بهره‌وری ایجاد شده است. توانا و همکاران (۲۰۲۱)،^[۵] چارچوبی را برای ارزیابی و وزن‌دهی عوامل مختلف در بهبود کیفیت و رفع موانع بهبود مستمر تولید مبتنی بر روش فازی و سلسله‌مراتبی ارائه کرده‌اند. چان^۲ (۲۰۱۹)،^[۶] نشان داده است که رهبری مشارکتی می‌تواند اثربخشی سیستم پاداش گروهی را از طریق افزایش رضایت و انگیزه‌ی کارکنان بهبود بخشد. ابزاری و علم^۳ (۲۰۱۳)،^[۷] نیز با مطالعه‌ی یک شرکت تولید مواد اولیه‌ی الیاف مصنوعی از طریق نظرسنجی خبرگان نشان دادند که انگیزش، مهم‌ترین عامل مؤثر در بهره‌وری شرکت است. شاجار^۴ و همکاران (۲۰۲۴)،^[۸] در یک مطالعه‌ی موردی در شرکت پتروشیمی جم، یک مدل ارزیابی عملکرد سازمانی را طراحی کردند، که ابعاد مختلفی از عملکرد، از جمله: کیفیت، ایمنی، و رعایت برنامه‌ی زمانی را در نظر گرفته است. انوفری^۵ و همکاران (۲۰۱۹)،^[۹] از یک رویکرد تحلیلی برای بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری در شیوه‌های ناب (که شامل سیستم‌های انگیزشی می‌شود) در عملکرد عملیاتی در صنایع تولیدی استفاده کرده و نشان داده‌اند که اجرای مناسب شیوه‌های مذکور می‌تواند منجر به بهبود قابل‌توجهی در بهره‌وری و عملکرد کلی سازمان شود. عزیزی (۲۰۱۵)،^[۱۰] با استفاده از روش OEE و روش‌های آماری، مدلی برای ارزیابی و ارتقاء بهره‌وری در تولید خط لعاب ارائه داده است، که منجر به کاهش حدود ۹ درصدی رخ نقص در خط لعاب شده است. زهرایی و همکاران (۲۰۱۸)،^[۱۱] یک مدل شبیه‌سازی کامپیوتری و روش سطح پاسخ به‌عنوان ارزیابی عملکرد در خط تولید رنگ ارائه کرده‌اند، که در نتیجه‌ی آن، زمان خرابی به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته است. برخی از مطالعات پیشین نیز در زمینه‌ی افزایش بهره‌وری در صنایع تولیدی پیوسته و اتوماتیک، عمدتاً بر رویکردهای سنتی مانند بهبود عملکرد واحدهای انفرادی، مانند: تولید، نگهداری، و تعمیرات یا کنترل کیفیت متمرکز بوده‌اند.^[۱۲] با این حال، رویکردهای اخیر وابستگی شدید واحدها را در سیستم‌های پیچیده‌ی تولید پیوسته و اینکه عملکرد هر واحد می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در سایر واحدها داشته باشد، را نادیده گرفته‌اند. برخی از مطالعات، از جمله گارزا^۶ (۲۰۱۸)،^[۱۳] به اهمیت رویکردهای یکپارچه برای افزایش بهره‌وری که بر همکاری و هماهنگی میان واحدهای مختلف تأکید می‌کنند، اشاره کرده‌اند. با این حال، مطالعات انجام‌شده‌ی اخیر بیشتر جنبه‌ی نظری داشته و راهکارهای عملی برای تحقق چنین همکاری و هماهنگی را ارائه نکرده‌اند. اما چالش اصلی، شناسایی شاخص‌های مناسب برای ارزیابی عملکرد تیمی در هر صنعت خاص و تعیین اهمیت نسبی آن‌هاست.^[۱۴]

مطالعه‌ی حاضر، برای اولین بار از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (Fuzzy AHP) برای شناسایی و وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با بهره‌وری در تولید پیوسته و اتوماتیک استفاده کرده است؛ که با توانایی در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در قضاوت‌های انسانی، می‌تواند نتایج دقیق‌تر و

⁶ Overall Equipment Effectiveness

⁷ Garza

⁸ Agrawal

⁹ PROMETHEE

¹ Lindberg

² Chan

³ Abzari & Alam

⁴ Shajar

⁵ Onofrei

۵.۲. شاخص قابلیت اطمینان تجهیزات (OEE)

شاخص قابلیت اطمینان تجهیزات (OEE)، یک معیار کلیدی برای اندازه‌گیری بهره‌وری کل تجهیزات تولیدی است، که از ترکیب سه عامل دسترسی، عملکرد، و کیفیت محاسبه می‌شود. OEE بیانگر درصدی از ظرفیت تولیدی است که از آن به‌صورت مؤثر استفاده می‌شود و می‌تواند برای شناسایی گلوگاه‌ها و فرصت‌های بهبود کمک کند.^[۲۱]

۶.۲. روش انتروپی

روش انتروپی، یک روش ریاضی برای اندازه‌گیری عدم‌اطمینان و عدم‌تعادل در توزیع اطلاعات در یک مجموعه‌ی داده‌هاست. در تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش انتروپی برای تعیین وزن معیارهای مختلف براساس میزان اطلاعات موجود در داده‌ها استفاده می‌شود.^[۲۶]

۷.۲. روش پرامتی

روش پرامتی، یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) برای رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف براساس معیارهای متعدد است، که بر پایه‌ی مقایسه‌ی زوجی گزینه‌ها برای هر معیار و سپس تلفیق مقایسه‌های مذکور با استفاده از یک تابع ترجیح مشخص کار می‌کند. وزن‌دهی معیارها نیز بخشی از فرآیند مذکور است. در نهایت، روش پرامتی، یک رتبه‌بندی جامع و اولویت‌های جزئی برای گزینه‌ها ارائه می‌دهد. استفاده از ترکیب روش‌های انتروپی و پرامتی برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی در مقایسه با روش‌های سنتی‌تر مانند AHP و تاپسیس، مزایای عینیت بیشتر در محاسبه‌ی وزن معیارها، عدم‌نیاز به مقایسه‌های زوجی پرکار، توانایی کار با داده‌های کمی و کیفی، انعطاف‌پذیری بیشتر، و درنظرگرفتن بهترین و بدترین گزینه در پرامتی است.^[۲۷]

۸.۲. تولید پیوسته و اتوماتیک

تولید پیوسته و اتوماتیک، نوعی سیستم تولید است، که در آن تمام مراحل مختلف فرآیند تولید، مانند: برش، جوشکاری، مونتاژ، و بسته‌بندی به‌صورت خودکار و بدون وقفه به هم متصل شده‌اند. این نوع سیستم‌های تولید، معمولاً برای تولید انبوه محصولات استاندارد شده استفاده می‌شوند.^[۲۸]

۹.۲. تولید رادیاتور گرمایشی پنلی

تولید رادیاتور گرمایشی پنلی، فرآیند صنعتی ساخت انواع رادیاتورهای گرمایشی برای ساختمان‌ها و واحدهای مسکونی است، که شامل مراحل مختلفی، از جمله: برش و خم‌کاری ورق‌های فلزی، جوشکاری، سوراخ‌کاری برای نصب شیرآلات، رنگ‌آمیزی، مونتاژ، و بسته‌بندی است و می‌تواند به‌صورت پیوسته و با استفاده از خطوط تولید اتوماتیک انجام شود.^[۲۹] خط تولید رادیاتور به‌طور پیوسته و اتوماتیک عملیات تولید را به‌ترتیب جوش نقطه‌ای پنل و کنوکتور، جوش طولی هر یک از طرفین، جوش عرضی هر یک از طرفین، جوش طرفین رادیاتور به همراه قطعات سه‌راهی و براکت، و مرحله‌ی انتهایی تست رادیاتور کامل در شرایط تعریف شده در استاندارد مرتبط است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

نوشتار حاضر، با الهام از مطالعات پیشین و با تکیه بر اصول مدیریت مشارکتی و نظریه‌های انگیزشی، یک سیستم جامع انگیزشی تیمی برای صنایع تولید پیوسته‌ی خودکار ارائه کرده است. ارزیابی تیم‌ها به‌صورت دوره‌ای و با استفاده

انتظار می‌رود پیاده‌سازی سیستم انگیزشی تیمی ارائه‌شده منجر به بهبود در زنجیره‌ای از شاخص‌ها از جمله: کاهش توقف‌های ناخواسته و ضایعات، بهبود کیفیت محصولات، افزایش آمادگی و کارکرد مطلوب تجهیزات، افزایش رضایت شغلی و تعهد کارکنان، و درنهایت، به افزایش بهره‌وری کلی و به‌دنبال آن افزایش سودآوری و مزیت رقابتی سازمان بیانجامد. سیستم مذکور همچنین بستری برای یادگیری سازمانی و بهبود مستمر فرایندها فراهم می‌سازد.

در ادامه، تعاریف ارکان اصلی نوشتار حاضر در سرفصل مفاهیم و مبانی نظری، فرمول‌های ریاضی و روش پژوهش در سرفصل روش‌شناسی پژوهش، تمرکز بر مطالعه‌ی موردی و یافته‌های حاصل از پیاده‌سازی پژوهش در آن در سرفصل مطالعه‌ی کاربردی و یافته‌ها و در انتها، به بحث و نتیجه‌گیری و پیشنهادهای بهبود برای مطالعات آتی پرداخته شده است.

۲. مفاهیم و مبانی نظری

در بخش حاضر، به تعاریف برخی از اصطلاحات کلیدی و کلیدواژگان استفاده‌شده در متن و نیز معرفی سیستم تولیدی موردبحث پرداخته شده است.

۱.۲. بودجه

بودجه، یک برنامه‌ی مالی جامع است، که میزان هزینه‌ها، درآمدها، و سرمایه‌گذاری‌های موردنیاز برای رسیدن به اهداف یک سازمان، پروژه، یا برنامه را در یک بازه‌ی زمانی مشخص تعیین می‌کند. بودجه‌ها می‌توانند برای کل سازمان یا بخش‌های مختلف آن، مانند: تولید، فروش، منابع انسانی، و غیره تهیه شوند.^[۲۰]

۲.۲. کار تیمی^{۱۰}

کار تیمی، فرایندی است که در آن یک گروه از افراد با مهارت‌ها و تخصص‌های مختلف برای رسیدن به یک هدف مشترک، به‌صورت منسجم و هماهنگ با یکدیگر همکاری می‌کنند. کار تیمی، شامل اجزاء کلیدی، از جمله: تعامل و ارتباط‌های مؤثر، تعهد به اهداف گروهی، احترام به نقش‌ها و مسئولیت‌های یکدیگر، حل مسئله و تصمیم‌گیری مشارکتی، و پذیرش تنوع دیدگاه‌هاست. رهبری، اعتماد متقابل، و انگیزش نیز از عوامل مهم در موفقیت کار تیمی هستند.^[۲۲]

۳.۲. ارزیابی عملکرد

ارزیابی عملکرد، عبارت از فرایند هدفمند جمع‌آوری، مقایسه، و ارزیابی داده‌های مربوط به عملکرد کارکنان، فرآیندها، یا سازمان‌ها در مقابل معیارها، استانداردها، و اهداف از پیش تعیین‌شده است؛ که می‌تواند شامل اندازه‌گیری عملکرد، شناسایی نقاط قوت و ضعف، و تدوین برنامه‌های بهبود باشد.^[۲۳] وزارت امور داخلی آمریکا، ارزیابی عملکرد را به‌صورت فرایندی نظام‌مند تعریف می‌کند، که با نظارت مستمر و ایجاد ظرفیت اجرا، عملکرد را به‌صورت دوره‌ای اندازه‌گیری و رتبه‌بندی کند و به عملکرد مناسب، پاداش دهد.^[۲۴]

۴.۲. شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI)^{۱۱}

شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI)، معیارهای عینی و قابل اندازه‌گیری هستند که برای ارزیابی میزان پیشرفت در دستیابی به اهداف کلیدی یک سازمان یا فرآیند استفاده می‌شوند و شامل شاخص‌هایی مانند: سودآوری، رضایت مشتری، کیفیت محصول، بهره‌وری، و غیره هستند.^[۲۵]

¹¹ Key Performance Indicators

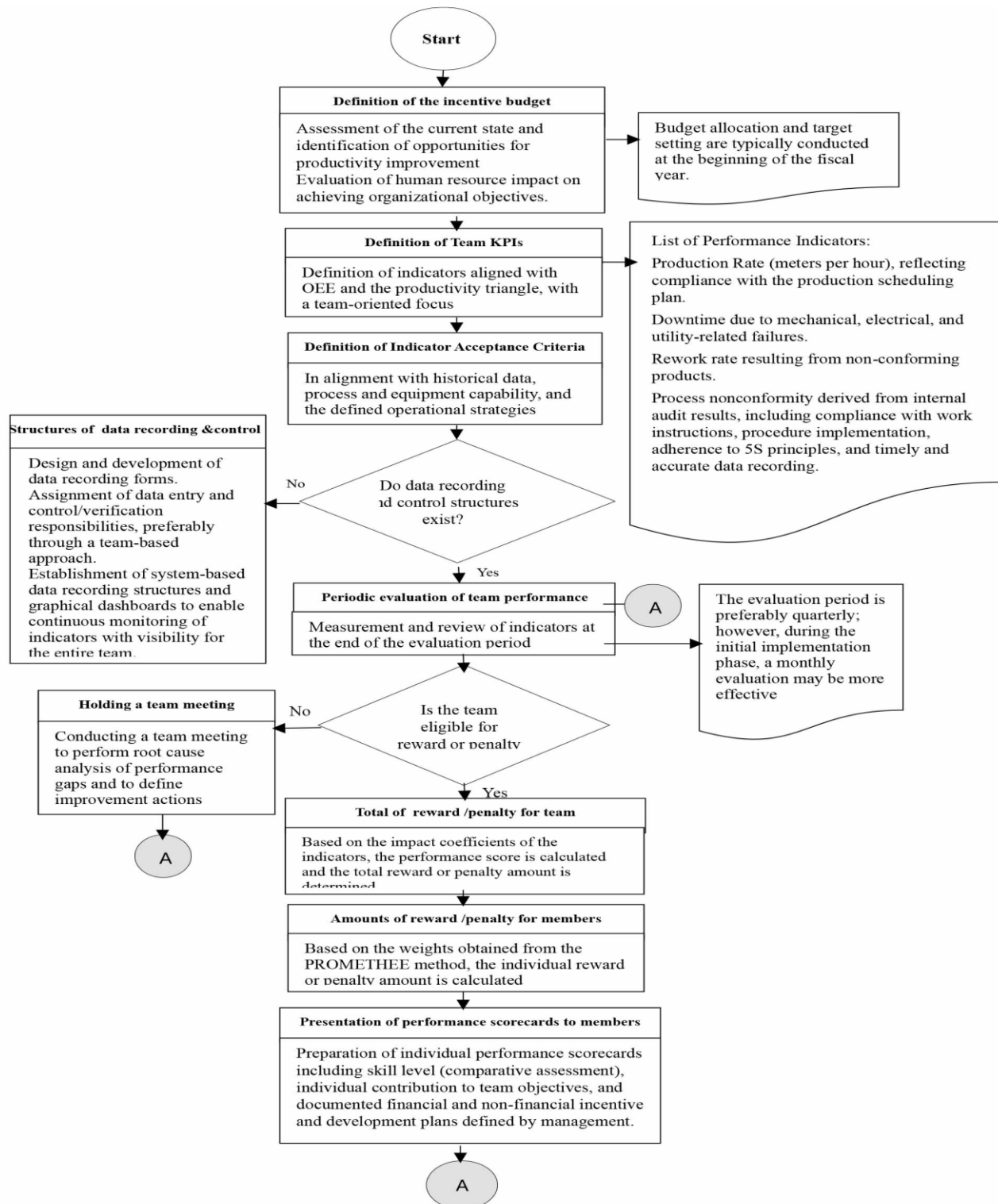
¹⁰ Team Working

بازدارنده، بلکه به‌عنوان فرصتی برای شناسایی مشکلات و حل آن‌ها نیز عمل می‌کند. در شکل ۱، گردش مدل مشاهده می‌شود و در ادامه، به تفصیل هر بخش پرداخته شده است.

۱.۳. تعیین بودجه‌ی مربوط به پاداش تولید متناظر با اهداف سازمانی در ابتدای شروع دوره

مطابق با الزامات کسب و کار، در ابتدای هر سال اهداف سازمانی توسط تیم خبره با حضور مدیران ارشد مشخص و نیازمندی‌های لازم جهت دستیابی به

از داده‌های عملکردی واقعی انجام شده است. نتایج ارزیابی به‌طور شفاف در اختیار تیم‌ها قرار گرفته است تا آن‌ها از نقاط قوت و ضعف خود آگاه شوند. سپس براساس رتبه‌بندی تیم‌ها، پاداش‌های انگیزشی اعطا شده است، که شامل: پاداش‌های مالی، مزایای شغلی، فرصت‌های آموزشی، و توسعه‌ی حرفه‌ای و یا هر نوع پاداش دیگر متناسب با فرهنگ سازمانی بوده است. علاوه بر پاداش، برای تیم‌هایی که عملکرد ضعیفی داشته‌اند، تدابیر انضباطی و برنامه‌های بهبود نیز در نظر گرفته شده است، تا انگیزه‌ی لازم برای رفع نقاط ضعف و ارتقاء عملکرد در آن‌ها ایجاد شود. در سیستم مذکور، تنبیه نه فقط به‌عنوان عامل



شکل ۱. نمودار فرایند ارزیابی عملکرد پیشنهادی.

برای اندازه‌گیری و پایش بهره‌وری در سازمان‌ها هستند. KPI ها معیارهای کمی یا کیفی هستند، که برای ارزیابی پیشرفت در دستیابی به اهداف سازمانی استفاده می‌شوند.^[۲۵]

KPI ها باید با راهبردها و اهداف سازمان مرتبط، قابل اندازه‌گیری و دارای حد پذیرش برای کنترل و تحلیل در جهت اطمینان دستیابی به اهداف و شناسایی به موقع انحراف‌ها باشند. در پژوهش حاضر، شاخص‌های مذکور در سه حوزه‌ی کارایی، اثربخشی، و کیفیت از مثلث بهره‌وری و نیز توجه به شاخص‌های OEE مطابق رابطه‌ی ۱ تعریف شده‌اند.

$$P = \left(\frac{pr}{pl} \right) * 100 \quad (1)$$

که در آن، P درصد تحقق برنامه‌ی تولید، pr میزان محصول تولیدشده، و pl میزان تولید برنامه‌ریزی‌شده هستند. در پژوهش حاضر، از شاخص P به جهت ارزیابی بهره‌وری کل تیم و درصد فعال‌شدن بودجه‌ی پاداش استفاده شده است.

شاخص دیگری با نام تنظیم‌های کاهشی RP در پژوهش حاضر بررسی شده است، که مکمل شاخص P است (رابطه‌ی ۲). شاخص RP ، میزان تولید نشده مطابق با برنامه به دلیل کاهش متر در ساعت دستگاه توسط سرپرست تولید در زمان مشخص را نمایش می‌دهد، که به دلایل مختلف، از جمله: مهارت کادر تولید، شناسایی مشکل بالقوه از سوی کادر فنی یا تولید، عدم مرغوبیت لازم مواد، و متریال به دلایل تأیید اجباری یا عدم مهارت کنترل کیفیت و... ایجاد می‌شود.

$$RP = \left(\frac{pl - pr}{pl} \right) * 100 \quad (2)$$

شاخص M ، به جهت ریشه‌یابی مشکلات و نیز لزوم افزایش روزافزون مهارت تیم متشکل از تولید، نت، و کنترل کیفیت است، که مطابق رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$M = \left(\frac{mt}{at} \right) * 100 \quad (3)$$

که در آن، M درصد توقف‌ها، mt مدت زمان توقف، و at مدت زمان در دسترس (مطابق با برنامه) است.

با توجه به اینکه تمرکز نوشتار حاضر در ارزیابی عملکرد تیم بوده است، زمان در دسترس منطبق بر زمان برنامه‌ریزی‌شده بوده و از توقف‌های راهبردی چشم‌پوشی شده است.

شاخص Q ، بیانگر درصد محصول یا خروجی نامنطبق است؛ که مطابق رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود:

$$Q = \left(\frac{pq}{pr} \right) * 100 \quad (4)$$

که در آن، pq تعداد یا مقدار محصول/ خروجی نامنطبق و pr تعداد یا مقدار کل محصول/ خروجی تولیدشده هستند.

شاخص A ، امتیاز عدم انطباق فرایند است، که مطابق رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌شود:

آن‌ها تعیین و بودجه‌بندی مالی سازمان در حوزه‌ی منابع انسانی، تجهیزات، مواد اولیه، و ملزومات تولید، و .. تعیین می‌شود. مقدار بودجه از روش‌های مختلف تحلیلی جبران خدمت و راهبردهای متفاوت تعیین می‌شود.^[۲۰] یکی از مزیت‌های این کار، آگاهی بیشتر از وضع موجود و نیز شفاف‌شدن مسیر پیشرفت در راستای دستیابی به اهداف سازمانی است. بالطبع، سازمان‌هایی که اهداف افزایش بهره‌وری را دنبال می‌کنند، باید در زمان هدف‌گذاری و تعیین راهبرد به انگیزه- نیروی انسانی به‌طور خاص توجه کنند. در پژوهش حاضر، از هدف‌گذاری بر مبنای فروش و سودآوری استفاده شده است. با افزایش روند پلکانی از نقطه‌ی سر به سر، مقدار تخصیص بودجه به پاداش نیز افزایش می‌یابد. به جهت کنترل دقیق‌تر، مقدار بیشینه‌ی افزایش بهره‌وری براساس ظرفیت‌های اسمی تعیین و کنترل روند پلکانی، افزایش سودآوری با افزایش راندمان تولید هم‌سو می‌شود. لذا پس از محاسبات لازم در بازه‌های تعیین‌شده، درصد استفاده از بودجه‌ی بیشینه مشخص می‌شود، که روشی پویا و انعطاف‌پذیر است.

۲.۳. تعریف شاخص‌های تیمی عملکردی متناظر با اهداف و وظایف

تیم، همراه با تعیین معیار پذیرش

تعیین شاخص‌های عملکردی، یکی از چالش‌های سازمان‌ها در مدیریت عملکرد و کنترل مؤثر سازمان است؛ به همین جهت پژوهش‌های زیادی در این حوزه به‌صورت نظری و بعضاً کاربردی صورت پذیرفته است و ادامه‌دار خواهد بود؛ چرا که سیستم‌های بومی‌سازی‌شده به مراتب کارآتر از سیستم‌های نظری و عمومی هستند. نظر به اینکه هدف از پژوهش حاضر افزایش بهره‌وری است، برای تعیین شاخص‌های عملکردی از مثلث بهره‌وری و نیز خروجی حاصل از بررسی فازی در رتبه‌بندی عوامل مؤثر در شاخص OEE، که توسط غلامیان و نیلی‌پور (۲۰۲۰)^[۲۶] ارائه شده است، استفاده شده است.

در صنایع تولید پیوسته‌ی اتوماتیک، با وجود کاهش تعامل مستقیم انسان با ماشین‌آلات، نیاز به تعامل و مشارکت بین نیروهای انسانی واحدهای تولید، نگهداری و تعمیرات، و کنترل کیفیت به مراتب بیشتر خواهد بود. این امر به دلایل مدیریت سیستم‌های پیچیده، حل مسائل چندبعدی، مدیریت تغییر، و اشتراک دانش است. همچنین واحدهای مذکور را می‌توان به عنوان رؤس مثلث بهره‌وری در نظر گرفت، که هر یک نقش حیاتی در دستیابی به هدف مشترک افزایش بهره‌وری دارند. این رویکرد حاکم بر طراحی و پیاده‌سازی سیستم ارزیابی عملکرد تیمی در پژوهش حاضر بوده است.

- مثلث بهره‌وری^{۱۲}

مثلث بهره‌وری، یک چارچوب مفهومی برای درک و بهبود بهره‌وری در سازمان‌هاست؛ که توسط دیوید سومانت^{۱۳} (۱۹۸۴)^[۲۲] در کتاب "مهندسی و مدیریت بهره‌وری" ارائه شده است. طبق نظریه‌ی مذکور، بهره‌وری یک سازمان، تابعی از سه عامل اصلی کارایی^{۱۴}، اثربخشی^{۱۵}، و کیفیت^{۱۶} است؛ که رأس‌های مثلث بهره‌وری را تشکیل می‌دهند. برای دستیابی به بهره‌وری بالا، سازمان‌ها باید در تمام سه جنبه، کارایی، اثربخشی، و کیفیت عملکرد خوبی داشته باشند. سه عامل مذکور در تعامل با یکدیگر هستند و بهبود در یک عامل می‌تواند در دیگر عوامل نیز تأثیرگذار باشد.^[۲۳]

در کنار نظریه‌ی مثلث بهره‌وری، شاخص‌های عملکردی KPI ابزارهای مهمی

¹⁵ Effectiveness

¹⁶ Quality

¹² Productivity Triangle

¹³ Sumanth

¹⁴ Efficiency

جدول ۱. شاخص‌ها و گزینه‌ها.

Indicators (Affecting Productivity)	Options (Team Members)
Production Schedule Attainment	Production
Setup Reduction Time	
Stoppages	Electrical Maintenance
Rework	Mechanical Maintenance
Process Deviation	Facilities Maintenance
	Quality Control

جدول ۲. حدود پاداش و جریمه برای شاخص‌ها.

Indicator Title	Responsibles	Reward Criterion	Penalty Criterion	Evaluation Method
Production Schedule Attainment	Production, Maintenance, Quality Control	93%	89%	Records / Statistics Officer / Quality Assurance / Audit documents
Setup Reduction Time		10%	15%	
Stoppages		2.5%	3%	
Rework		1.5%	2%	
Process Deviation		300	300	

پژوهش حاضر، حدود شاخص‌ها از ترکیب روش ذکرشده و اطلاعات سازنده‌ی دستگاه و نیز توان و ظرفیت نیروی انسانی تعیین شده‌اند (جدول ۲).

۴.۳. وزن دهی شاخص‌ها و گزینه‌ها

به جهت اطلاع از میزان تأثیرگذاری شاخص‌ها در هدف، لازم است که وزن آن‌ها تعریف شود. روش‌های زیادی برای وزن‌دهی وجود دارد، که با توجه به دسترسی به داده‌ها و نوع آن‌ها، وجود تیم خبرگان و اطمینان از همکاری به موقع و مؤثر ایشان و نیز اهداف مسئله، انتخاب روش صورت می‌پذیرد.

به جهت ترجیح بر استفاده از روش‌های مبتنی بر داده، در ابتدا فرم‌ها، نرم‌افزار، و ساختار جمع‌آوری و ثبت داده‌ها فراهم شده‌اند. سپس بر روی آن‌ها آزمایش صورت گرفته و پس از یک دوره‌ی ۶ ماهه‌ی وزن‌دهی، شاخص‌ها به روش انترویی و در وزن‌دهی گزینه‌ها بر تأثیر در شاخص‌ها، از روش پرامتی استفاده شده است (در جدول ۱، شاخص‌ها و گزینه‌ها ارائه شده‌اند). گزینه‌ها، واحدهای تشکیل‌دهنده‌ی تیم و تأثیرگذار در بهره‌وری و افزایش راندمان هستند. در ادامه، روش‌های مذکور تشریح و داده‌های مطالعه‌ی موردی در فصل بعد شرح داده شده‌اند.

الف) روش انترویی شانون برای وزن‌دهی معیارها

روش انترویی، یک روش عینی برای تعیین وزن معیارها در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است، که براساس پراکندگی داده‌ها در هر معیار عمل می‌کند. هر چه پراکندگی و اطلاعات یک معیار بیشتر باشد، وزن بیشتری به آن تعلق می‌گیرد.

ژي هانگ^{۱۷} و همکارش (۲۰۰۶)^[۳۸] روش انترویی را به‌صورت کامل و با جزئیات بیشتر تشریح کرده‌اند. ایشان از انترویی شانون برای محاسبه‌ی وزن

$$A = r * (Nc) \quad (5)$$

که در آن، Nc تعداد عدم انطباق‌ها و r شدت عدم انطباق هستند.

شاخص A ، میزان انطباق اجرای دستورالعمل‌ها و روش‌های کاری را متناظر با استانداردها نشان می‌دهد، که برگرفته از الزامات استانداردهای ISO ۹۰۰۱ و S۵ است. اندازه‌گیری شاخص A علاوه بر اطمینان از اجرای الزامات، اثربخشی آن‌ها را نیز رصد می‌کند و در صورت هرگونه انحراف، بررسی‌های لازم جهت هرگونه اصلاح به موقع صورت می‌پذیرد. به‌علاوه، انگیزه‌ی کارکنان را به مطالعه‌ی روش‌ها و مشارکت در بهبود آن‌ها تضمین می‌کند.

۳.۳. تعیین معیار پذیرش یا حدود هدف‌ها و شاخص‌ها

تعیین حدود و مقادیر هدف‌ها برای شاخص‌های عملکردی، یک موضوع مهم و چالش‌برانگیز در مدیریت عملکرد است و باید به گونه‌ای تعیین شوند که از یک طرف، قابل دستیابی و واقع‌بینانه باشند و از طرف دیگر، فشار و انگیزه‌ی لازم برای بهبود مستمر را ایجاد کنند. معمولاً این روش‌ها برای تعیین حدود مذکور استفاده می‌شوند:

۱. استفاده از داده‌های گذشته و روند تاریخی عملکرد.^[۳۴]

۲. الگوبرداری از رقبا و صنعت.^[۳۵]

۳. استفاده از تئوری محدودیت‌ها و روش‌های بهینه‌سازی.^[۳۶]

۴. استفاده از روش دلفی و نظرهای خبرگان.^[۳۷]

استفاده از داده‌های گذشته و روند تاریخی عملکرد، یکی از رایج‌ترین روش‌هاست. با بررسی عملکرد قبلی، می‌توان حدود و هدف‌های جدید را با توجه به بهترین عملکرد گذشته، میانگین عملکرد، و روند بهبود تعیین کرد. در

۵. رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس مقادیر $q(a)$ از بزرگ‌ترین به کوچک‌ترین.

در روش پرامتی ۲، علاوه بر q^+ و q^- که به‌ترتیب توان رقابتی و ضعف هر گزینه را نشان می‌دهند، از $q(a)$ به‌عنوان جریان خالص استفاده می‌شود، که رتبه‌ی نهایی گزینه‌ها را مشخص می‌کند.

معیارهای رتبه‌بندی در روش پرامتی ۲ عبارت‌اند از:

- گزینه‌ای با بزرگ‌ترین $q(a)$ ، بهترین گزینه است.

- اگر $q(a)$ صفر باشد، گزینه‌ی a نه بهتر است و نه بدتر.

- اگر $q(a)$ مثبت باشد، گزینه‌ی a از گزینه‌های دیگر با $q(a)$ منفی بهتر است.

روش مذکور، امکان رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها را فراهم می‌سازد و برای حل مسائل پیچیده‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره مناسب است.

۴. مطالعه‌ی موردی و یافته‌های پژوهش

در بخش کنونی، به ارائه‌ی داده‌های پیاده‌سازی و نتایج حاصل از آن پرداخته شده است. مطالعه‌ی موردی پژوهش حاضر، یک کارخانه‌ی تولید رادیاتور گرمایشی پنلی بوده است، که در گروه صنعت پیوسته و اتوماتیک قرار دارد و حدود ۴ نوع رادیاتور را در ۱۰ گروه سایزی (براساس طول) تولید می‌کند. بزرگ‌ترین مشکل کارخانه‌ی مذکور، راندمان پایین است. با عارضه‌یابی انجام‌شده، جلسه با خبرگان، و بررسی داده‌های گذشته مشخص شد که مشکل پیش‌آمده به‌علت نبود فرایند مناسب و تعامل صحیح بین واحدهای تأثیرگذار در بهره‌وری و نیز عدم انتقال دانش بین واحدهای اخیر بوده است؛ که در جهت رفع آن‌ها، در ابتدا ساختارهای تولیدی از نیروی انسانی تا فرایندها و فرم‌ها و ساختارهای نرم‌افزاری در یک دوره‌ی ۶ ماهه اصلاح شده است. پس از آن، به جهت ایجاد تعامل و تفکر تیمی میان واحدهای تولید، نت، و کنترل کیفیت و نیز اطمینان از اجرای صحیح ساختارهای اصلاح‌شده، سیستم ارزیابی عملکرد تیمی مبتنی بر داده‌های رکورده‌شده، طراحی و اجرا شده است. طبق فرایند تعریف‌شده در شکل ۱، در گام اول، بودجه‌ی تعریف‌شده برای انگیزش کارکنان ۱۰ میلیون تومان در نظر گرفته شده است. در گام‌های دوم و سوم، فهرست شاخص‌های مؤثر با هدف بهره‌وری و حدود پذیرش برای پاداش و نیز حدود جرمیه‌ی شاخص‌ها تعریف و در جدول ۲ ارائه شده است.

همان‌گونه که قبلاً گفته شد، اعداد مذکور براساس تحلیل‌های مالی، داده‌های گذشته، اطلاعات سازنده‌ی دستگاه، استهلاک دستگاه، و توانایی و پتانسیل نیروی انسانی در نظر گرفته شده‌اند. در گام چهارم، ابتدا باید از وجود و درستی داده‌ها و فرایند صحیح ثبت و درک مشترک تمام اعضا نسبت به آن اطمینان حاصل شود. در پژوهش حاضر، بررسی ساختارهای تولید، اصلاح، آموزش، و ایجاد ساختار قابل اطمینان برای ثبت و تحلیل داده‌ها، حدود ۶ ماه به طول انجامیده است. نمودارهای ابتدایی در حین پیاده‌سازی در شکل ۲ مشاهده می‌شود. مطابق نمودارها، روند بهبود در طی اصلاح ساختارها نیز ملاحظه می‌شود. پس از اتمام اصلاحات، دستورالعمل‌های کاری، روش‌های اجرایی، و چک‌لیست‌های ممیزی تهیه و در دوره‌های یک ماهه به مدت ۳ ماه، فرایند و نیروی انسانی ارزیابی شده است.

گام بعدی، اندازه‌گیری بهره‌وری یا راندمان تولید است، تا وضعیت پاداش یا جرمیه مشخص شود. از آنجا که مدیریت متريال در تولید انواع محصول و نیز

معیارها استفاده کرده‌اند، که کاربرد گسترده‌تری در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره دارد.

انتروپی شانون مطابق رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌شود:

$$K = \left(\frac{1}{\ln(m)} \right) \quad (6)$$

$$E_j = -K * \sum_{i=1}^m p_{ij} * \ln(p_{ij}) \quad (7)$$

که در آن‌ها، E_j انتروپی شانون برای معیار j ، p_{ij} نرمالیزه‌کردن x_{ij} از طریق $p_{ij} = x_{ij} / \sum_i x_{ij}$ ، m تعداد گزینه‌ها، و K ثابت برای نرمالیزه‌کردن انتروپی شانون در بازه‌ی [۰ و ۱] هستند.

سپس درجه‌ی عدم اطمینان d_j و وزن معیار w_j مطابق روابط ۸ و ۹ محاسبه می‌شوند:

$$d_j = 1 - E_j \quad (8)$$

$$w_j = d_j / \sum_j d_j \quad (9)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، انتروپی شانون با در نظر گرفتن احتمال وقوع داده‌ها در معیار j ، عدم اطمینان را محاسبه می‌کند. هر چه عدم اطمینان بیشتر باشد، معیار حاوی اطلاعات بیشتری است و وزن بالاتری دریافت می‌کند.

ب) روش پرامتی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها

روش پرامتی، یک روش رتبه‌بندی ارجحیت برای گزینه‌ها براساس معیارهای چندگانه است؛ که در آن، ارجحیت گزینه‌ها از طریق محاسبه‌ی جریان‌های ورودی و خروجی صورت می‌گیرد.^[۳۹] پرامتی ۲، یک روش رتبه‌بندی کامل برای تصمیم‌گیری چندمعیاره است، که گزینه‌ها را از بهترین به بدترین مرتب می‌کند و از ترکیب دو جریان ورودی و خروجی برای هر گزینه استفاده می‌کند. مراحل اجرای روش پرامتی ۲ عبارت‌اند از:

۱. محاسبه‌ی درجه‌ی ارجحیت $p_j(a, b)$ گزینه‌ی a نسبت به b در هر معیار j با استفاده از تابع ترجیح مناسب (خطی، گوسی، درجه‌ی ۲، و ...).

۲. محاسبه‌ی شاخص ارجحیت $\pi(a, b)$ از طریق میانگین وزنی درجه‌ی ارجحیت‌ها، که در پژوهش حاضر w از روش انتروپی حاصل شده است (مطابق رابطه‌ی ۱۰).

$$\pi(a, b) = \sum_j w_j * p_j(a, b) \quad (10)$$

۳. محاسبه‌ی جریان خروجی $q^+(a)$ و ورودی $q^-(a)$ برای هر گزینه‌ی a (مطابق رابطه‌های ۱۱ و ۱۲):

$$q^+(a) = 1 / (n-1) * \sum_x \pi(a, x) \quad (11)$$

$$q^-(a) = 1 / (n-1) * \sum_x \pi(x, a) \quad (12)$$

۴. محاسبه‌ی جریان خالص $q(a)$ برای هر گزینه‌ی a (مطابق رابطه‌ی ۱۳):

$$q(a) = q^+(a) - q^-(a) \quad (13)$$

جدول ۳. ورودی روش انترپوی (۶ ماه).

Alternatives	Process Deviation	Rework	Stoppages	Setup Reduction Time
Production	0.26	0.32	0.21	0.54
Electrical Maintenance	0.23	0.3	0.3	0.16
Mechanical Maintenance	0.26	0.22	0.38	0.21
Facilities Maintenance	0.13	0.06	0.08	0.01
Quality Control	0.13	0.10	0.03	0.08

جدول ۴. خروجی روش انترپوی: وزن شاخص‌ها.

Alternatives	Process Deviation	Rework	Stoppages	Setup Reduction Time
Production	-0.35	-0.36	-0.33	-0.33
Electrical Maintenance	-0.34	-0.36	-0.36	-0.30
Mechanical Maintenance	-0.35	-0.33	-0.37	-0.33
Facilities Maintenance	-0.26	-0.16	-0.21	-0.04
Quality Control	-0.26	-0.23	-0.11	-0.20
Sum of Column	-1.56	-1.46	-1.37	-1.20
Ej	0.97	0.9	0.85	0.74
Ej-1	0.03	0.1	0.15	0.26
wj	0.06	0.18	0.28	0.48

لزوم به حرکت تیم به سوی بهبود و قابل درک بودن دستیابی به هدف برای همه‌ی اعضا حائز اهمیت است، لذا برنامه‌ی تولید مطابق با هدف‌گذاری تنظیم و بیشینه‌ی ۹۰٪ آن جهت تأمین سفارش‌ها منظور شده و در ابتدای هفته‌ی بعد بروزرسانی داده‌ها صورت پذیرفته است. امتیاز تحقق برنامه به این صورت محاسبه شده است:

از بازه‌ی ۹۲ تا ۱۰۰ درصد، با هر یک واحد افزایش، یک واحد امتیاز مثبت و در بازه‌ی ۸۹ تا ۸۳ به ازاء هر واحد کاهش، یک واحد امتیاز منفی لحاظ می‌شود. درصد مربوط به سه ماهه‌ی دوم برای شاخص مذکور، ۹۵/۶۹٪ محاسبه و امتیاز دریافتی ۵۰٪ بوده است. میزان کل مبلغ پاداش برای ماه i ام به‌صورت رابطه‌ی ۱۴ محاسبه شده است؛ که در آن، R_i مبلغ پاداش کل ماه i ام، S_i امتیاز تحقق برنامه‌ی ماه i ام، و B بیشینه‌ی بودجه هستند.

$$R_i = S_i * B \quad R_7 = 0.5 * 10000000 = 5000000 \quad (14)$$

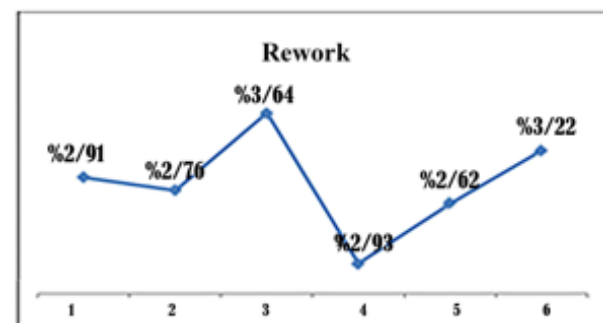
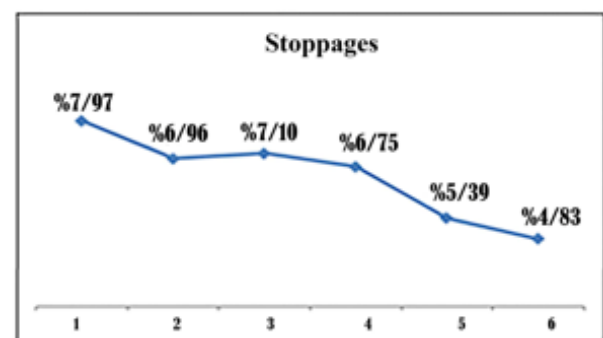
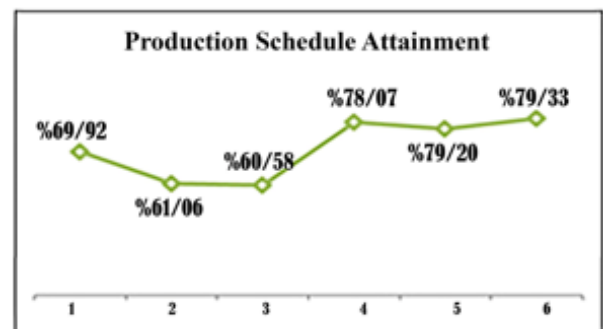
اگر مقدار شاخص تحقق برنامه از ۸۹ کمتر شود، جریمه به آن تعلق می‌گیرد و امتیاز منفی در مقدار بودجه ضرب می‌شود. در گام بعدی، باید مقدار به‌دست‌آمده از بودجه‌ی پاداش ماه هفتم به شاخص‌های تأثیرگذار تخصیص داده شود؛ بنابراین، نیاز به محاسبه‌ی وزن شاخص‌ها با استفاده از روش انترپوی است. در جدول ۳، که نشانگر ورودی روش انترپوی برای محاسبه‌ی وزن هر شاخص در دستیابی به هدف افزایش بهره‌وری است؛ داده‌های مربوط به عدم‌دستیابی به اهداف شاخص‌ها متأثر از هر یک از اعضا تیم مشاهده می‌شود.

طبق خروجی انترپوی (مطابق جدول ۴)، شاخص توقف‌های بیشتری در تحقق برنامه یا افزایش بهره‌وری تأثیر دارد. مبلغ تعلق گرفته به هر شاخص طبق جدول ۴ مطابق رابطه‌ی ۱۵ محاسبه شده است:

$$r_i = w_i * p_i \quad (15)$$

$$r_1 = 2418766 \quad r_2 = 1402812$$

$$r_3 = 903045 \quad r_4 = 275378$$



شکل ۲. نمودارهای روند شاخص‌ها در طی اجرای روش پیشنهادی.

جدول ۵. پاداش تعلق گرفته برای هر شاخص.

Reward Amount	Score	Period Ranking	indicator
$0.4 \times 2418765 = 967506$	4/10	6.9	Setup Reduction Time
$0.4 \times 1402812 = 561125$	4/10	1.53	Stoppages
$0.34 \times 903044 = 307035$	4/12	1.18	Rework
$0.5 \times 275380 = 137690$	6/12	168	Process Deviation

جدول ۶. وزن های خروجی مؤلفه های روش پرامتی ۲.

Component Weight(s)	q- - q+	q-	q+	Alternatives
53%	53%	0.05	0.58	Production
16%	16%	0.12	0.28	Electrical Maintenance
23%	23%	0.11	0.34	Mechanical Maintenance
3%	-50%	0.51	0.01	Facilities Maintenance
5%	-43%	0.45	0.02	Quality Control

جدول ۷. محاسبه ی پاداش کل برای هر یک از اعضا تیم / گروه.

Sum of Reward	Process Deviation	Rework	Stoppages	Setup Reduction Time	Alternatives
1045878	72975	162729	297396	512778	Production
315737	22030	49126	89780	154801	E-Maint.
453872	31668	70618	129059	222526	M-Maint.
59201	4131	9211	16834	29025	Fac. Maint.
98668	6884	15352	28056	48375	QC

در گام ششم، باید ضریب تأثیر هر یک از اجزاء تیم بر هر شاخص تعیین و پاداش هر یک از اجزاء مشخص شود. به این منظور، از روش پرامتی ۲ استفاده شده و خروجی آن به قرار جدول ۶ بوده است. گرچه جدول اخیر، نت تأسیسات و کنترل کیفیت را به صورت دو عامل غیرمؤثر نشان می دهد، اما با تحلیل داده ها مشخص است که فرایندها و فعالیت های دو عضو اخیر، تقریباً به حالت پایدارتری رسیده است و لذا، ۷٪ باقیمانده از مجموع درصدهای دیگر اعضا به نسبت میزان منفی بودن بین دو عضو تقسیم شده است. واضح است اگر شرایطی پیش آید که هر یک از اعضا به حالت پایدارتری برسند، با اجرای مجدد روش های انترویی و پرامتی، وزن های متفاوتی وجود خواهد داشت.

گام هفتم، محاسبه ی مجموع پاداش هر یک از اعضاست، که در جدول ۷ ارائه شده است. هر یک از اعضا تیم، قطعاً تعدادی کارکنان دارند و میزان به دست آمده برای هر یک از اعضا تیم، باید به نسبت اهمیت شغلی، که در تعیین حقوق افراد مؤثر بوده است، به افراد تخصیص داده شود.

۵. اعتبارسنجی

فرایند پیشنهادی به مدت ۳ ماه به صورت ماهانه و به جهت اعتبارسنجی ۳ ماه بعد، به صورت فصلی در شرکت تولیدکننده ی رادیاتور گرمایشی اندازه گیری شده است، که نتایج آن در شکل ۳ مشاهده می شود.

که در آن، I_i^* پاداش تعلق گرفته به هر یک از شاخص های توقف ها، دوباره کاری، و عدم انطباق ممیزی است. حال با توجه به میزان تحقق حدود پذیرش هر شاخص مطابق جدول ۲، امتیاز شاخص محاسبه و مبلغ پاداش تعلق گرفته مطابق جدول ۵ محاسبه شده است. واضح است در صورت عدم تحقق حدود پذیرش، مبلغ پاداشی تعلق نمی گیرد و ممکن است حتی ضرایب منفی و جریمه نیز منظور شود.

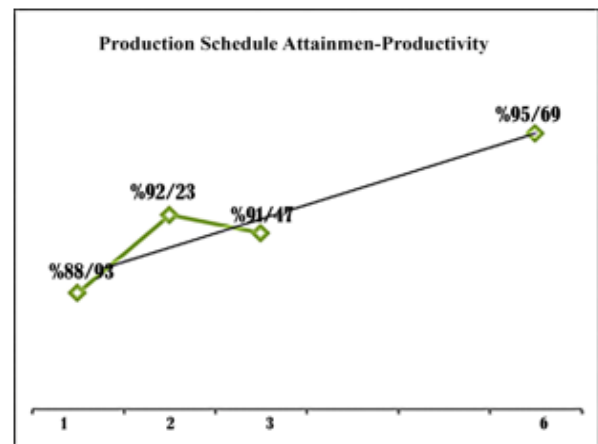
- شاخص تنظیم های کاهشی با هر کاهش ۱ درصدی از معیار پذیرش ۱ امتیاز کسب می کند.
 - شاخص دوباره کاری نیز با هر کاهش ۰/۲۵ درصدی از معیار پذیرش ۲ امتیاز کسب می کند.
 - شاخص دوباره کاری نیز با هر کاهش ۰/۵ درصدی از معیار پذیرش ۲ امتیاز کسب می کند.
 - شاخص عدم انطباق ممیزی با هر ۵۰ واحد کاهش از معیار پذیرش ۲ امتیاز کسب می کند.
- بدیهی است عکس موارد اخیر، مطابق با جدول ۲ برای جریمه صادق است.

ارتقاء بهره‌وری ارائه شده است. رویکرد پیشنهادی، عملکرد تیمی را با شاخص‌های تنظیم‌های کاهشی، توقف‌ها، دوباره‌کاری، و عدم انطباق فرایند مبتنی بر رویکرد تیمی را مورد هدف قرار داده و با تلفیق روش‌های آماری انترپوی و پرامتی مبتنی بر داده، وزن‌دهی پویای شاخص‌ها در هر دوره‌ی زمانی را برای شناسایی سریع تغییرات در عملکرد و نیاز به اصلاح یا بهبود فرآیندها فراهم کرده است. سیستم اخیر در یک کارخانه‌ی تولید رادیاتور گرمایشی پیاده‌سازی شده و با تأثیر مستقیم در سرمایه‌های انسانی و ایجاد تعامل و تفکر تیمی پس از یک دوره‌ی ۳ ماهه‌ی اولیه و اعتبارسنجی در ۳ ماهه‌ی دوم، نتایج به‌دست‌آمده، ۲۲٪ افزایش تولید، ۲۰٪ کاهش نرخ خرابی، ۱/۵٪ کاهش محصولات معیوب، و ۲۱/۵٪ افزایش امتیاز ممیزی فرایند را در پی داشته‌اند.

به لحاظ دستیابی به نتایج مشترک با مطالعات صورت گرفته، براساس یافته‌های نوشتار غلامیان و نیلی‌پور (۲۰۲۰)^[۳۱] با توجه به نتایج وزن‌دهی معیارهای شکست ابزار، خرابی ماشین‌آلات، و تعمیرات اصلاحی به ترتیب در اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند، که در ضرایب خروجی پژوهش حاضر نیز تنظیم‌های کاهشی و نگهداری و تعمیرات، وزن‌های بالاتری داشته‌اند.

به‌عنوان پیشنهاد برای مطالعات آتی، در صورت جمع‌آوری داده‌های حاصل از مدل ارزیابی عملکرد در چندین دوره، می‌توان وزن‌های موردنیاز در پژوهش را از روش ماشین لرنینگ به‌دست آورد.

در بخش تخصیص پاداش به کارکنان نیز می‌توان در صورت وجود داده‌های مربوط به مهارت‌ها، تجارب، رویکرد تیمی، و عوامل مرتبط دیگر از روش‌های داده‌محور برای وزن‌دهی به آن‌ها استفاده کرد.



شکل ۳. نتایج و اعتبار فرایند پیشنهادی.

در زمان پیاده‌سازی با اصلاحات و آموزش‌های انجام‌شده، نمودار تحقق برنامه یا بهره‌وری، روند صعودی به خود گرفته و از بیشترین مقدار ۷۸٪ به حدود ۸۹٪ رسیده است، که خود دست‌کم ۱۴٪ افزایش بهره‌وری را ایجاد کرده است. به مراتب دوره‌ی ۶ ماهه‌ی اجرا، افزایش ۸ درصدی را محقق ساخته است. لذا در مجموع، ۲۲٪ بهره‌وری از زمان شروع تا انتهای ارزیابی مشاهده شده است. همچنین، کارخانه موفق شده است که با انگیزه‌ی ایجادشده در کارکنان و تفکر تیمی و تعامل میان اعضا تأثیرگذار به میزان بیشینه‌ی بهره‌وری دست یابد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در نوشتار حاضر، یک سیستم نوآورانه‌ی پاداش و جریمه مبتنی بر داده برای

References – منابع

1. Aneja, R. and Arjun, G., 2021. Estimating components of productivity growth of Indian high and medium-high technology industries: A non-arametric approach. *Social Sciences & Humanities Open*, 4 (1), pp.100-180. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2021.100180>
2. Bag, S., Gupta, S. and Foropon, C., 2019. Examining the role of dynamic remanufacturing capability on supply chain resilience in circular economy. *Management Decision*, 57 (4), pp.863-885. <https://doi.org/10.1108/MD-07-2018-0724>
3. Fraser, K., Hvolby, H.-H. and Tseng, T.-L.(B.), 2015. Maintenance management models: a study of the published literature to identify empirical evidence: A greater practical focus is needed. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32 (6), pp.635-664. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2013-0185>
4. Lindberg, C.F., Tan, S.T., Yan, J. and Starfelt, F., 2015. Key performance indicators improve industrial performance. *Energy Procedia*, 75, pp.1785-1790. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.474>
5. Tavana, M., Sahebi, A. and Valaei, N., 2021. An integrated fuzzy framework for analyzing barriers to the implementation of continuous improvement in manufacturing. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(1), pp.116-146. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2020-0072>
6. Chan, S.C.H., 2019. Participative leadership and job satisfaction: The mediating role of work engagement and the moderating role of fun experienced at work. *Leadership & Organization Development Journal*, 40(3), pp.319-333. <https://doi.org/10.1108/LODJ-06-2018-0215>
7. Abzari, M. and Alam, R., 2013. Investigating factors affecting productivity in chemical companies [In Persian]. *Industrial Engineering and Management*, 29(2), pp.53-62. https://sjie.journals.sharif.edu/article_5245.html
8. Shajar, M., Ghasemi, M. and Mohseni, A., 2024. Designing a Performance Evaluation Model in Macro Government Organizations (Case Study: Jam Petrochemical Company) [In Persian]. *Journal of System Management (JSM)*, 10(1), pp.207-224. <https://doi.org/10.30495/JSM.2023.1993183.1857>
9. Onofrei, G., Prester, J., Fynes, B., Humphreys, P. and Wiengarten, F., 2019. The relationship between investments in lean practices and operational

- performance: Exploring the moderating effects of operational intellectual capital. *International Journal of Operations & Production Management*, 39(3), pp.406-428. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-04-2018-0201>
10. Azizi, A., 2015. Evaluation improvement of production productivity performance using statistical process control, overall equipment efficiency, and autonomous maintenance. *Procedia Manufacturing*, 2, pp.186-190. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.032>
11. Zahraee, S.M., Rohani, J.M. and Wong, K.Y., 2018. Application of computer simulation experiment and response surface methodology for productivity improvement in a continuous production line: Case study. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 30(3), pp.207-217. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2018.04.003>
12. Muchiri, P. and Pintelon, L., 2008. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), pp.3517-3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
13. Garza-Reyes, J.A., 2018. Lean and green—a systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, 182, pp.615-635. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.097>
14. Arabioun, A., Abdi Jomayran, A., Bahadori Kosj Rad, Z. and Abolhasani, S.M., 2015. Investigation of key performance indicators in the product manufacturing process with an entrepreneurship approach [In Persian]. In: *International Conference on Management and Social Sciences*. Available at: <https://sid.ir/paper/828291/fa>
15. Emrouznejad, A. and Marra, M., 2017. The state of the art development of AHP (1979–2017): A literature review with a social network analysis. *International Journal of Production Research*, 55(22), pp.6653-6675. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1364976>
16. Ayhan, M.B., 2013. A fuzzy AHP approach for supplier selection problem: A case study in a gear motor company. *International Journal of Production Research*, 51(11), pp.3477-3494. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.757183>
17. Agrawal, N., 2022. Multi-criteria decision-making toward supplier selection: exploration of PROMETHEE II method. *Benchmarking: An International Journal*, 29(7), pp.2122-2146. <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2021-0071>
18. Chang, T.-W., Pai, C.-J., Lo, H.-W. and Hu, S.-K., 2021. A hybrid decision-making model for sustainable supplier evaluation in electronics manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 156, 107283. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107283>
19. Naji-Azarpoor, S. and Teimouri, E., 2018. Evaluation and selection of contractors in construction projects using supply chain management approach and PROMETHEE method [In Persian]. *Industrial Engineering and Management*, 34(1.1), pp.29-37. doi: 10.24200/j65.2018.5545
20. Shawe, R., 2023. Budget and Organization Management. *Open Journal of Business and Management*, 11, pp.910-919. <https://doi.org/10.4236/ojbm.2023.113049>
21. Smirnov, M.B. and Abdilova, G.B., 2021. Ways of improvement of technological equipment performance. *Theory and Practice of Meat Processing*, 6(1), pp.87-96. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-1-87-96>
22. Oyefusi, F., 2022. Team and Group Dynamics in Organizations: Effect on Productivity and Performance. *Journal of Human Resource and Sustainability Studies*, 10(1). <https://doi.org/10.4236/jhrss.2022.101008>
23. Alsakarne, A., Shatnawi, H.A., Alhyasat, W.B.A.K., Zowid, F., Alrababah, R.A.M. and Eneizan, B., 2024. The effectiveness of human resource management practices on increasing organizational performance and the mediating effect of employee engagement. *Uncertain Supply Chain Management*, 12(2), pp.1141-1154. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2023.11.019>
24. Amiri, M., Taghavi-Fard, M.T. and Eftekhari, H., 2020. Presenting a linear model for evaluating the performance of decision-making units with a data envelopment analysis and common weights approach: Case study of pharmaceutical companies listed on the Tehran Stock Exchange [In Persian]. *Industrial Engineering and Management*, 36(1.2), pp.3-14. <https://doi.org/10.24200/j65.2019.52190.1938>
25. Parmenter, D., 2020. Key performance indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs, *Journal of Business Performance Management*, 24(2), pp.155-170. ISBN: 978-1-119-62077-8
26. Delgado, A. and Romero, I., 2016. Environmental conflict analysis using an integrated grey clustering and entropy-weight method: A case study of a mining project in Peru. *Environmental Modelling & Software*, 77, pp.108-121. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.12.011>
27. Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E.K. and Turskis, Z., 2019. A Combined Compromise Solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), pp.2501-2519. <https://doi.org/10.1108/MD-05-2017-0458>
28. Groover, M.P., 2019. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. 5th ed. Pearson. ISBN-13: 978-0132393218

29. Kalpakjian, S. and Schmid, S.R., 2020. *Manufacturing Engineering and Technology*. 8th ed. Pearson. ISBN-13: 978-1-292-42229-9
30. Shawe, R., 2023. Budget and Organization Management. *Open Journal of Business and Management*, 11(3). <https://doi.org/10.4236/ojbm.2023.113049>
31. Gholamian, B. and Nili Pour Tabatabaei, S.A., 2020. Application of fuzzy AHP technique in identifying and ranking factors affecting equipment effectiveness (OEE) [In Persian]. In: *First National Conference on Optimization of Production and Service Systems*, Rudsar. Available at: <https://civilica.com/doc/1163747>
32. Sumanth, D.J., 1984. *Productivity engineering and management*. McGraw-Hill. ISBN: 9780070624269
33. Tangen, S., 2005. Demystifying productivity and performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54(1), pp.34-46. <https://doi.org/10.1108/17410400510571437>
34. Marr, B., 2012. *Key Performance Indicators (KPI): The 75 measures every manager needs to know*. 1st ed. Financial Times Press. ISBN: 978-0273750116
35. Horváthová, J., Mokrišová, M. and Vrábliková, M., 2021. Benchmarking—A Way of Finding Risk Factors in Business Performance. *J. Risk Financial Manag.*, 14(5), 221. <https://doi.org/10.3390/jrfm14050221>
36. Goldratt, E.M., 2012. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. 30th ed. North River Press. ISBN-13: 978-0884271956
37. Dwivedi, P.P. and Sharma, D.K., 2022. Application of Shannon entropy and CoCoSo methods in selection of the most appropriate engineering sustainability components. *Cleaner Materials*, 5, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100118>
38. Zhi-hong, Z., Yi, Y. and Jing-nan, S., 2006. Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *Journal of Environmental Sciences*, 18(5), pp.1020-1023. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(06\)60032-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(06)60032-6)
39. Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A. and Aghdasi, M., 2010. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), pp.198-215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>