

Paper Type: Original Article

Index Evaluation of Overall Equipment Effectiveness Using Data Envelopment Analysis

Nazila Adabavazeh¹, Mehrzad Navabakhsh^{2,*}, Atefeh Amindoust¹

¹ Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran; nazilaadabavazeh@yahoo.com; atefeh_amindoust@yahoo.com.

² Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University of Tehran South Branch, Tehran, Iran; mnabavakhsh@yahoo.com

Citation:



Adabavazeh, N., Navabakhsh, M., & Amindoust, A. (2022). Index evaluation of overall equipment effectiveness using data envelopment analysis. *Modern research in performance evaluation*, 1(1), 58-66.

Received: 08/08/2021

Reviewed: 17/10/2021

Revised: 20/11/2021

Accept: 25/12/2021

Abstract

Purpose: The overall equipment effectiveness index is a key indicator and basis used for measuring the effectiveness of equipment and examining the effectiveness of the maintenance system. Improvement of the OEE index is of great importance in production operations management, since it can enhance and upgrade the level of organizational equipment management. In this study, data envelopment analysis model has been developed to evaluate the overall equipment effectiveness index.

Methodology: The present descriptive-analytical study has been conducted on the kiln of Mazandaran Cement Factory. The overall equipment effectiveness indices, including three inputs and one output, have formed the axis of the model.

Findings: Improvement of the OEE index is of great importance in production operations management, since it can enhance and upgrade the level of organizational equipment management. In order to achieve better efficiency, it is recommended to focus on the key components of the overall productivity maintenance and productivity system, implement the SMED method, integrate the two approaches of Lean Production and Six Sigma production, and improve the Process Capability (PC).

Originality/Value: Given the importance of achieving equipment effectiveness, there is a need to evaluate the overall equipment effectiveness. Using data envelopment analysis models, in addition to relative efficiency, determines the weaknesses of the organization in various indices, and by providing the optimal amount of them, leads the organization's policy towards improving efficiency. Due to rapid developments in today's world as well as the importance of the overall equipment effectiveness and its obvious impact on the organization's performance and, consequently, its success, the researchers decided to evaluate the overall equipment effectiveness using data envelopment analysis.

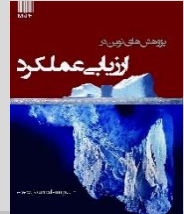
Keywords: Effectiveness index, Equipment, Data envelopment analysis.



Corresponding Author: mnabavakhsh@yahoo.com



Licensee. **Modern Research in Performance Evaluation**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ارزیابی شاخص اثربخشی کلی تجهیزات با تحلیل پوششی داده‌ها

نازیلا ادب آوازه^۱، مهرزاد نوابخش^۲، عاطفه امین دوست^۱

^۱گروه مهندسی صنایع، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

^۲گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

هدف: شاخص اثربخشی کلی تجهیزات، شاخصی کلیدی و مبنایی برای سنجش میزان اثربخشی تجهیزات و بررسی اثربخشی سیستم نت می‌باشد. بهبود شاخص *OEE* به منظور بهبود و ارتقاء سطح مدیریت تجهیزات سازمانی در مدیریت عملیات تولید بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش مدل تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی شاخص اثربخشی کلی تجهیزات ایجاد گردیده است.

روش‌شناسی پژوهش: پژوهش توصیفی تحلیلی حاضر در خصوص کوره کارخانه سیمان مازندران صورت گرفته است. شاخص‌های اثربخشی کلی تجهیزات شامل سه نهاد و یک ستاده محور مدل مذکور را تشکیل داده‌اند.

یافته‌ها: بهبود شاخص *OEE* به منظور بهبود و ارتقاء سطح مدیریت تجهیزات سازمانی در مدیریت عملیات تولید بسیار حائز اهمیت است. تمرکز بر روی اجزای کلیدی سیستم نگهداری و تعمیرات بهره‌وری فراگیر، اجرای روش *SMED*، ادغام دورویکرد تولید ناب و شش سیگما، بهبود قابلیت فرآیند (*PC*) به منظور اثربخشی بهتر، توصیه می‌شود.

اصالت/ارزش افزوده علمی: با توجه به اهمیت دستیابی به اثربخشی تجهیزات، ارزیابی اثربخشی کلی تجهیزات احساس می‌گردد. استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها علاوه بر میزان کارایی نسبی، نقاط ضعف سازمان را در شاخص‌های مختلف تعیین نموده و با ارائه میزان مطلوب آن‌ها، خطی مشی سازمان را به سوی ارتقای کارایی سوق می‌دهد. بنا بر تحولات سریع دنیای کنونی و اهمیت اثربخشی کلی تجهیزات و تأثیر آشکار اثربخشی کلی تجهیزات بر عملکرد و به تبع آن موفقیت سازمان، پژوهشگران بر آن گردیدند تا به ارزیابی اثربخشی کلی تجهیزات با روش تحلیل پوششی داده‌ها بپردازد.

کلیدواژه‌ها: شاخص اثربخشی، تجهیزات، تحلیل پوششی داده‌ها.

۱- مقدمه

امروزه بازار متلاطم موجبات پاسخ‌دهی با سرعت و کیفیت به تقاضای مشتریان را فراهم آورده است. سه عامل «زمان، کیفیت و قیمت در تعامل و وابستگی متقابل هستند، بنابراین باید بین آن‌ها تعادل ایده آل با هدف دستیابی به رضایت مشتری ایجاد نمود. سازمان‌ها همواره به دنبال دستیابی به میزان رضایت‌بخشی از کارایی و اثربخشی فرآیندهای خود هستند. یکی از راهکارهای ارتقا اثربخشی، شناسایی تنگناهای

* نویسنده مسئول

mnavabakhsh@yahoo.com



فرایندها و تلاش برای حذف گلوگاه‌های موجود در سیستم است. از جمله مشکلات اصلی سازمان‌های صنعتی می‌توان به نرخ بالای زمان‌های بیکاری و توقف‌های بلندمدت ماشین‌آلات و تجهیزات و تأخیرهای مخالف در فرآیندهای تولید و عملیات اشاره نمود (باغبانی و همکاران^۱، ۲۰۲۰).



پیشرفت‌های حاصل از رشد تکنولوژی و گسترش روزافزون صنایع موجب گردیده است تا ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی از پیچیدگی‌های بیشتری برخوردار گردد. از طرفی به‌کارگیری روش‌های نوین مدیریتی در عصر حاضر به دلیل پیچیده‌تر شدن دستگاه‌های اقتصادی و اجتماعی امری اجتناب‌ناپذیر است، به طوری که همان اندازه که تکنولوژی پیچیده‌تر می‌شود مدیریت نیز مشکل خواهد شد. سازمان‌های تولیدی با ایجاد ارزش افزوده در مواد اولیه، محصولات مورد نیاز مشتریان را تولید می‌کنند. برای دستیابی به ارزش افزوده اثربخش، به‌کارگیری اثربخش ماشین‌آلات با حداقل اتلاف ممکن از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین اندازه‌گیری عملکرد جهت هدایت و مدیریت تولید بسیار حائز اهمیت است.

اثربخشی کلی تجهیزات^۲ یک نوع اندازه‌گیری است که در نگهداری بهره‌ور فراگیر مورد استفاده قرار می‌گیرد و نشان می‌دهند که ماشین‌آلات چقدر اثربخش کار می‌کنند. ماهیت اثربخشی کلی تجهیزات، قابلیت اطمینان، تعمیرپذیری و ایجاد سیستمی اثربخش است. این بدین معنا است که ماشین به صورت جداگانه یا به‌عنوان بخشی از زیرسیستم یا به‌عنوان یک سیستم بایستی طبق طراحی عمل نماید. در دسترس بودن مداوم و صحیح تجهیزات پیشرفته قابل اعتماد، از ضروریات بازار رقابتی است. لذا با توجه به چالش‌های کلی، شرکت‌های تولیدی بایستی به طور مداوم عملکرد سیستم تولیدی خود را به منظور کاهش هزینه‌های تولید بهبود دهند (خلیلی و همکاران^۳، ۲۰۱۷). با توجه به محدودیت‌های ارزیابی عملکرد خطوط تولیدی و همچنین اهمیت دستیابی به اثربخشی تجهیزات، ارزیابی اثربخشی کلی تجهیزات احساس می‌گردد. چند مورد از مطالعاتی که در زمینه اثربخشی کلی تجهیزات انجام گرفته به این شرح است:

علیزاده طباطبایی^۴ (۲۰۲۰) نحوه اجرای نگهداری بهره‌ور جامع در تجهیزات کنترلی مرکز فرمان متروی تهران و تأثیر آن بر اثربخشی کلی تجهیزات و کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتریان مترو را مورد بررسی قرار دادند. از طریق مشاهده و مصاحبه با مسئولین مرکز فرمان متروی تهران به بررسی سه عامل کیفیت، نسبت تجهیزات و نسبت قابلیت دسترسی تجهیزات پرداخته شد. اطلاعات با استفاده از آزمون *R* پیرسون و تحلیل رگرسیون مورد تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد اجرای *TPM* با اثربخشی کلی تجهیزات، کاهش هزینه‌های واحد نت و افزایش رضایت مشتریان رابطه معناداری دارد.

رحیم سبحانی و فقهی فرهمند^۵ (۲۰۱۹) عوامل و مؤلفه‌های مؤثر بر اثربخشی کلی تجهیزات خط تولید در شرکت ماشین‌سازی تبریز مورد شناسایی قرار دادند. ۲۶ شاخص با مطالعه تحقیقات پیشین به‌عنوان چارچوب نظری و به همراه یک سؤال اصلی و دو سؤال فرعی تنظیم گردید. با توجه به نتایج حاصل از پایایی مقیاس و تحلیل عامل اکتشافی و تأییدی از ۲۶ عامل اولیه شناسایی شده مؤثر بر اثربخشی کلی تجهیزات خط تولید در شرکت ماشین‌سازی تبریز در چهار دسته «عملکرد ماشین‌آلات، توانمندسازی کارکنان، کیفیت محصولات تولیدی و دسترسی به ماشین‌آلات» به ترتیب اولویت تقسیم‌بندی گردید.

باغبانی و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر پیاده‌سازی *PFMEA* با رویکرد فازی در ارتقای اثربخشی کلی تجهیزات صنایع قند را مورد مطالعه قرار دادند. ابتدا میانگین اثربخشی کلی تجهیزات در هشت هفته کاری متوالی به‌عنوان پیش‌آزمون استخراج گردید. سپس انواع خطاهای بالقوه در فرآیند تولید شناسایی و پارامترهای شدت خطا، احتمال وقوع خطا و احتمال کشف خطا برای هر حالت خطا به صورت مقیاس‌های کلامی و با استفاده از توافق جمعی تعیین گردید و با ضرب مقادیر عددی دفازه شده متناظر این سه پارامتر، میزان عدد اولویت هر خطا محاسبه گردید. ماتریس شدت وقوع و جدول رتبه‌بندی ریسک، ۲۴ خطای اولویت‌دار مشخص گردید. سپس راهکار مناسب برای کاهش اثرات و یا حذف خطاهای اولویت‌دار تعیین و مداخلات لازم برنامه‌ریزی شد. در پایان هر هفته اثربخشی کلی تجهیزات به‌عنوان پس‌آزمون محاسبه شد و رابطه بین تغییرات عدد اولویت خطا و *OEE* در قالب همبستگی پیرسون مورد مطالعه قرار گرفت.

¹ Baghban et al.

² Overall equipment effectiveness (OEE)

³ Khalili et al.

⁴ Alizadeh Tabatabai

⁵ Rahim Sobhani and Fegghi Farahmand



طاهری و همکاران^۱ (۲۰۱۹) شاخص اثربخشی کلی تجهیزات بندر امام خمینی را بررسی و اندازه‌گیری نمودند. در این تحقیق توصیفی کاربردی شاخص اثربخشی کلی تجهیزات در خصوص تجهیزات تخلیه و بارگیری کشتی بندر امام خمینی اندازه‌گیری گردید و با توجه به اهمیت عملکرد بنادر در زنجیره تأمین و اقتصاد حمل‌ونقل دریایی در حمل‌ونقل تجارت جهانی، مشخص گردید این شاخص به صورت جامع اثربخشی قسمت‌های مختلف بندری را کنترل نموده و اثربخشی مطلوب به‌کارگیری سیاست‌های نت مشاهده گردید و کاهش کارایی تجهیزات به دلیل استهلاک نمایان نمود.

مصطفوی و تابان^۲ (۲۰۱۸) اثربخشی استقرار نگهداری و تعمیرات فراگیر را در شرکت سایپا بررسی نموده‌اند. برای گردآوری داده‌های موردنیاز، چک‌لیست استاندارد ممیزی ساختار نگهداری و تعمیرات در هفت موضوع و پرسش‌نامه محقق ساخته ممیزی منابع انسانی در پنج موضوع عوامل اجتماعی و روانی، فرهنگی و مدیریتی، اقتصادی و فیزیکی استفاده گردید. نتایج حاکی بود که عوامل ساختاری و انسانی در پیاده‌سازی TPM از سطح مناسبی برخوردار نمی‌باشد.

مظفری و بهداد^۳ (۲۰۱۸) به بررسی راهکارهای بهبود شاخص اثربخشی کلی تجهیزات در صنایع تولیدی پرداختند. با استفاده از مطالعات مروری و کتابخانه‌ای چهار راهکار به‌منظور بهبود شاخص OEE مشتمل بر تمرکز بر روی اجزای کلیدی سیستم نت بهره‌ور فراگیر^۴، اجرای روش SMED^۵، ادغام دو رویکرد تولید ناب و شش سیگما^۶ و بهبود قابلیت فرآیند^۷ شناسایی شدند.

خلیلی و همکاران (۲۰۱۷) پایداری خط تولید و افزایش سود در بازار رقابتی با به‌کارگیری تکنیک اثربخشی کلی تجهیزات در راستای تحقق اقتصاد مقاومتی را بهبود دادند. این پژوهش با تحقیق پیمایشی از منابع کتابخانه‌ای و کارشناسان و اپراتورهای شرکت مورد مطالعه، عوامل مؤثر بر شاخص شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاکی از بهبود ۲۲/۵۶٪ اثربخشی کلی تجهیزات بوده است.

پراستیو و ورویا^۸ (۲۰۲۰) کاربرد شاخص اثربخشی کلی تجهیزات را برای کمینه نمودن گلوگاه بررسی نمودند. شاخص اثربخشی کلی تجهیزات از طریق فرآیند DMAIC^۹ شش سیگما مورد استفاده قرار داده و چارچوب حاصل برای گلوگاه اعمال گردید. چارچوب مفهومی شامل ادغام رویکردهای اثبات‌شده نت بهره‌ور فراگیر، آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن^{۱۰}، طراحی آزمایش‌ها^{۱۱} و تعویض تک‌دقیقه‌ای قالب^{۱۲} است. نتایج حاصل از این اعمال این چارچوب موجب افزایش ۳۰٪ بهبود شاخص اثربخشی کلی تجهیزات در مطالعه کاربردی پژوهش بوده است.

چیو و همکاران^{۱۳} (۲۰۲۰) چارچوب یکپارچه شاخص اثربخشی کلی تجهیزات برای بهبود بهره‌وری ارائه داده‌اند. این پژوهش با بررسی سوابق مطالعات شاخص اثربخشی کلی تجهیزات، چارچوب پیشنهادی جهت بهبود مؤثر سیستماتیک به همراه معیارها و مؤلفه‌های اولویت‌بندی شده خرابی را ارائه داد. چارچوب پیشنهادی در یک مطالعه موردی اجرا و به موفقیت دست‌یافت.

ساروواس^{۱۴} (۲۰۱۹) عملکرد خط تولید را از طریق شاخص اثربخشی کلی تجهیزات بهبود بخشید. آمار توصیفی از اطلاعات خرابی و تعمیرات خط بر اساس وقفه‌های برنامه‌ریزی‌شده و نشده صورت پذیرفت. علاوه بر آن معیارهای در دسترس بودن، کارایی عملکرد و نرخ کیفیت برای خطوط بررسی گردید. این پژوهش به درک مدیریت عملیات خط تولید کمک نمود. نتایج پژوهش به شناسایی گلوگاه‌ها و تصمیم در خصوص بهبود بهره‌وری و کیفیت تولید کمک می‌نماید.

¹ Taheri et al.

² Mostafavia and Taban

³ Mozaffari and Behdad

⁴ Total productive maintenance (TPM)

⁵ Single-minute exchange of die (SMED) | single-minute

⁶ Lean and six sigma

⁷ Process capability (PC)

⁸ Prasetyo and Veroya

⁹ Define measure analyze improve control (DMAIC)

¹⁰ Failure mode and effects analysis (FMEA)

¹¹ Design of experiments (DOE)

¹² Single minute exchange of die (SMED)

¹³ Cheah et al.

¹⁴ Tsarouhas



هنگ و همکاران^۱ (۲۰۱۹) به برآورد شاخص اثربخشی کلی تجهیزات در شرایط عدم قطعیت پرداخت. برای مدیریت عدم قطعیت در تخمین سرعت تولید، مدت زمان توقف و افت کیفیت به ترتیب دو روش مبتنی بر ریاضیات محاسباتی و ریاضی ارائه گردید. مجموعه داده‌های این پژوهش مبتنی بر دنیای واقعی برای نشان دادن مفاهیم در عمل استفاده گردید.

غفورپور یزدی و همکاران^۲ (۲۰۱۸) به بررسی رابطه بین شاخص اثربخشی کلی تجهیزات و پایداری در انقلاب صنعتی چهارم با رویکرد مطالعه زمان می‌پردازد. این پژوهش به ارزیابی و بهینه‌سازی شاخص اثربخشی کلی تجهیزات با توجه به پایداری سیستم می‌پردازد. بر اساس مطالعات زمان‌شناسی، مشاهدات تحلیلی و هیستوگرام بررسی شد. عوامل مؤثر بر پایداری فعالیت‌های بهبود فرآیند از دیدگاه خبرگان تعیین گردید.

شناسایی ضایعات مرتبط با تجهیزات در بخش‌های مختلف و انجام امکانات متقابل در جهت حذف ضایعات و بهره‌برداری از ظرفیت پنهان تجهیزات امری مهم محسوب می‌شود. *OEE* تنها ابزاری است که در جهت تعیین سریع و حذف علل ریشه‌ای کارایی ضعیف ماشین‌آلات، تسهیل‌کننده سازمان‌ها است. *OEE* ابزاری جهت آنالیز، گزارش، تعیین مسیر اصولی جهت بهبود اثربخش تجهیزات با حذف ضایعات بزرگ است. با توجه به اهمیت دستیابی به اثربخشی تجهیزات، ارزیابی اثربخشی کلی تجهیزات احساس می‌گردد. استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها علاوه بر میزان کارایی نسبی، نقاط ضعف سازمان را در شاخص‌های مختلف تعیین نموده و با ارائه میزان مطلوب آن‌ها، خطی مشی سازمان را به‌سوی ارتقای کارایی سوق می‌دهد. بنا بر تحولات سریع دنیای کنونی و اهمیت اثربخشی کلی تجهیزات و تأثیر آشکار اثربخشی کلی تجهیزات بر عملکرد و به تبع آن موفقیت سازمان، پژوهشگران بر آن گردیدند تا به ارزیابی اثربخشی کلی تجهیزات با روش تحلیل پوششی داده‌ها بپردازد.

۲- اثربخشی کلی تجهیزات (*OEE*)

اثربخشی کلی تجهیزات توسط ناکاجیما^۳ (۱۹۸۸) در صنایع ژاپن ارائه شد (فولوی و همکاران^۴، ۲۰۱۹). این تکنیک به‌عنوان یک ابزار سنجش عملکرد با کمترین محاسبات، وضعیت موجود تولید را نشان می‌دهد. کاربرد عام این ابزار در صنایع تولیدی است. این ابزار به ارزیابی ضررها و اقدامات اصلاحی برای کاهش آن‌ها کمک می‌کند (باغبانی و همکاران، ۲۰۲۰).

اثربخشی کلی تجهیزات یکی از ابزارهای کاربردی برای بهبود وضعیت اثربخشی فرآیندهای تولید است. این ابزار ساده و کاربردی، منابع اصلی و مشترک مرتبط به زیان‌های مرتبط به تولید را شناسایی و این زیان‌ها را در سه گروه اصلی به‌منظور بهبود اثربخشی تجهیزات تقسیم‌بندی می‌نماید (آهایر و رلکار^۵، ۲۰۱۲).

رشد روزافزون فناوری و لزوم بهبود بهره‌وری ماشین‌آلات و تجهیزات، حرکت به‌سوی خودکارسازی را سرعت بخشیده است. با پیشرفت صنایع به‌سوی مکانیزاسیون بیشتر و تولید پیوسته (پیوسته)، امور نت از پیچیدگی بیشتری برخوردار شده‌اند؛ بنابراین مزایای اثربخشی کلی تجهیزات عبارت‌اند از افزایش دسترسی به تجهیزات، بهره‌وری عملکرد و همچنین نرخ کیفی که همگی در جهت اثربخشی کلی تجهیزات بهینه و بهبود بخشید به تولید می‌باشند، کاهش زمان و تعداد تعمیرات تکراری، مصرف کمتر لوازم‌یدکی و کمتر شدن هزینه خدمات هزینه عملکرد را بهبود می‌بخشد و نمایش سریع و دقیق ضایعات به وجود آمده در سیستم را از مزایای دیگر این شاخص می‌توان برشمرد (رحیم سبحانی و فقهی فرهنگند، ۲۰۱۹). اگرچه ضریب اثربخشی کلی تجهیزات به طرز فزاینده‌ای محبوبیت پیدا کرده و به‌صورت یک ابزار ضروری و کمی برای اندازه‌گیری بهره‌وری مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما این ابزار محدود به رفتار تجهیزات مستقل است. ضریب اثربخشی کلی تجهیزات در اصل نسبت زمان تولید خالص به زمان برنامه‌ریزی شده برای تولید هست اگرچه در عمل ضریب اثربخشی کلی تجهیزات تحت سه فاکتور سهیم در آن، مطابق شکل ۱ و رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

¹ Heng et al.

² Ghafoorpoor Yazdi et al.

³ Nakajima

⁴ Foulloy et al.

⁵ Ahire and Relkar



۱. قابلیت دسترسی^۱ (A).

۲. عملکرد^۲ (P).

۳. نرخ کیفیت^۳ (Q).

$$OEE = A \times P \times Q \quad (1)$$



شکل ۱- اثربخشی کلی تجهیزات.

Figure 1- The overall effectiveness of the equipment.

محاسبات رابطه (۱)، ضریب اثربخشی کلی تجهیزات را به یک آزمون سخت‌گیرانه تبدیل می‌نماید. عملاً برای تحقق هدف رسیدن به سطح جهانی در ضریب اثربخشی کلی تجهیزات هر یک از فاکتورها بایستی به مقداری کاملاً متفاوت با یکدیگر برسند که این مقادیر در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱- کلاس جهانی ضریب اثربخشی کلی تجهیزات (فرهادیان و جوانبخت^۴، ۲۰۰۸).

Table 1- World class overall effectiveness factor of the equipment (Farhadian and Javanbakht, 2008).

فاکتور	مقدار ضریب در کلاس جهانی
دسترسی به تجهیزات	90%
عملکرد	95%
کیفیت	99/9%
میزان ضریب اثربخشی کلی تجهیزات	85%

مطالعات گسترده‌ای که در سطح جهانی انجام گرفته است، حاکی از آن است که میزان متوسط OEE برای کارخانه‌های تولیدی حدود ۶۰٪ می‌باشد. درحالی‌که کلاس جهانی ۸۵٪ بیان گردیده است. لذا روشن است در هر کارخانه می‌بایست برنامه مؤثر برای بهبود شاخص اثربخشی کلی تجهیزات تدارک دیده شود.

۳- مدل BCC ورودی محور

علت انتخاب این رویکرد این است که مدیریت کنترل بهتری بر نهاده‌ها داشته و برای افزایش کارایی به دنبال افزایش ستاده‌ها است و همچنین به دلیل عدم وجود پژوهش‌هایی با تائید فرض بازده ثابت به مقیاس، مدل پایه (۲) پیشنهاد شد:

$$\text{Min } \theta$$

$$\text{s. t. } \theta x_{i0} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s$$

¹ Availability

² Performance

³ Quality

⁴ Farhadian and Javanbakht

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1,$$

آزاد در علامت $\lambda_j \geq 0, \forall j, \theta$.

که در آن با اضافه شدن قید تحدب ($\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$) امکان مقایسه واحدهای تصمیم‌گیرنده با یکدیگر فراهم گردیده است. θ اندیس واحد تصمیم‌گیرنده تحت بررسی است. y_{ij} و x_{ij} نیز به ترتیب، مقادیر ستاده r ام و i نهاد i ام برای واحد تحت بررسی (واحد θ) است و همچنین، به ترتیب، مقادیر ستاده r ام و مقدار نهاد i ام برای واحد z ام است. s تعداد ستاده‌ها m تعداد نهادها و n بیانگر تعداد واحدهاست. از آنجاکه حل مسائل ثانویه یا مدل پوششی به دلیل محدودیت‌های کمتر نیازمند حجم عملیات کمتری است، در این پژوهش از مدل پوششی BCC ورودی محور استفاده می‌شود.

۴- روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و توسعه‌ای است. چارچوب نظری پژوهش از ضریب اثربخشی کلی تجهیزات (OEE) برگرفته شده است. نهاد، قابلیت دسترسی، نرخ کارایی، نرخ کیفیت و ستاده نیز ضریب اثربخشی کلی تجهیزات می‌باشد. برای تعیین بالاترین نسبت کارایی و دخالت دادن میزان نهادها و ستاده‌های سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده در تعیین اوزان بهینه برای واحد تحت بررسی، مدل پایه BCC ورودی محور پیشنهاد می‌شود. از آنجاکه مدل‌های ثانویه می‌توانند میزان بهبود بهینه (مجموعه مرجع) ورودی و خروجی‌های ناکارا را تعیین کنند، در این پژوهش از مدل پوششی BCC ورودی محور استفاده می‌شود.

تعریف ۱: قابلیت دسترسی (A) بالاتر از ۹۰٪، نرخ کارایی (P) بالاتر از ۹۵٪ و نرخ کیفیت (Q) بالاتر از ۹۹/۹٪، مطلوب محسوب می‌شود. از آنجایی که کارایی شاخصی است که توانایی مدیریت یک واحد تصمیم‌گیرنده را در استفاده بهینه از ورودی‌ها در جهت تولید خروجی‌ها می‌سنجد. هر چه یک واحد بتواند با مصرف ورودی کمتر خروجی بیشتری را تولید کند کارا تر است. از این رو، مقدار ضریب کلاس جهانی هر فاکتور را بر آن فاکتور تقسیم نموده تا ارزش عددی کمتری یابد. کلاس جهانی هر فاکتور در بردار l درج شود.

تعریف ۲: میزان ضریب اثربخشی کلی تجهیزات بالای ۸۵٪، بیانگر میزان اثربخشی مطلوب است. جهت برآورد نسبت صحیح اثربخشی y_{ro} را بر ۸۵ تقسیم می‌نماییم، تا نمرات بالاتر از ۸۵ ارزش عددی بیشتری یابند.

مدل (۳) از افزودن دو قید تعاریف ۱ و ۲ به مدل (۲) جهت ارزیابی اثربخشی کلی تجهیزات پیشنهاد می‌شود.

Min θ

$$s.t. \quad \theta \frac{x_{io}}{l_i} - \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_j x_{ij}}{l_i} \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad l_1 = 90 \quad l_2 = 95 \quad l_3 = 99.9$$

$$\sum_{j=1}^n (\lambda_j y_{rj} / 85) \geq (y_{ro} / 85), \quad r = 1, \dots, s \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1,$$

آزاد در علامت $\lambda_j \geq 0, \forall j, \theta$.

چون الگوی مدل ثانویه ورودی محور است، تابع هدف سعی در کاهش میزان سطح ورودی‌ها (θ) با ثابت نگه داشتن سطح خروجی‌ها دارد. در واقع θ یک متغیر واقعی تصمیم λ و یک بردار غیرمنفی متغیرهای تصمیم می‌باشد که در این مدل انتخاب هر بردار z مجاز، یک حد بالا برای ستاده‌ها و یک حد پایین برای داده‌های DMUO ایجاد می‌کند و در مقابل این محدودیت‌های θ مرتبط با $\lambda \geq 0$ گزینه بهتر برای مرتبط شدن با $\theta^* = \min \theta$ ارائه می‌دهد، این امر موجب می‌شود که θ^* به عنوان الگوی هدف سایر واحدهای ناکارا میزان بهبود بهینه را بیان دارد.

تعریف ۳: در مدل (۲) یک واحد تصمیم‌گیرنده وقتی کارا است که $\theta^* = 1$.





داده‌های کوره کارخانه سیمان مازندران را در نظر می‌گیریم که هرکدام از آن‌ها، سه نهاده را برای تولید یک ستاده مصرف کنند. داده‌های نهاده و ستاده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۳- مجموعه داده‌های اندازه‌گیری ضریب اثربخشی کلی تجهیزات.

Table 3- The data set for measuring the overall effectiveness of the equipment.

DMU	قابلیت دسترسی	نرخ کارایی	نرخ کیفیت	ضریب اثربخشی کلی تجهیزات
DMU ₁	87	83	75	54/16
DMU ₂	95/01	94/5	71/13	63/86
DMU ₃	90/01	97/53	72/27	63/44
DMU ₄	92/8	97/75	88/34	80/13
DMU ₅	96/57	98/34	90/49	85/94
DMU ₆	95/92	98/85	93/01	88/19
DMU ₇	90/98	90/43	72	59/24
DMU ₈	88/82	91/02	78/88	63/77
DMU ₉	91/69	95/59	77/34	67/79
DMU ₁₀	94/7	95/16	85/57	80/35
DMU ₁₁	96/26	98/85	90/45	86/07
DMU ₁₂	98/9	96/76	91/21	87/28

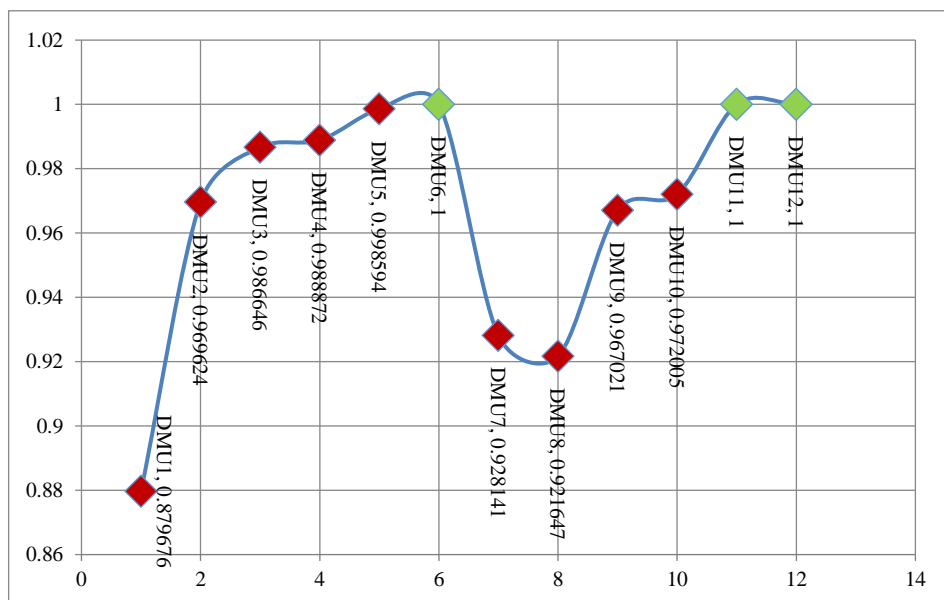
مدل پژوهش با استفاده از نرم‌افزار *LINGO 12.0* اجرا گردید و نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر کارایی حاصل از اجرای مدل که در جدول ۴ آمده است، بهترین مقدار کارایی ممکن برای هر واحد تصمیم‌گیرنده به ازای نهاده‌ها و ستاده‌ها در مقایسه با سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده است. همان‌گونه در جدول ۴ مشاهده می‌شود ۳ واحد در سطح کلاس جهانی هستند. متوسط مقدار ناکارایی ۰/۹۵۶۹۱۴ است.

جدول ۴- میزان کارایی محاسبه شده با نرم‌افزار لینگو مطابق مدل (۲).

Table 4- Calculated efficiency with Lingo software according to model (2).

کارایی	کارایی	کارایی	کارایی
0/928141	DMU ₇	0/879676	DMU ₁
0/921647	DMU ₈	0/969624	DMU ₂
0/967021	DMU ₉	0/986646	DMU ₃
0/972005	DMU ₁₀	0/988872	DMU ₄
1	DMU ₁₁	0/998594	DMU ₅
1	DMU ₁₂	1	DMU ₆

بر اساس یافته‌های پژوهش در بعد قابلیت دسترسی، واحد ۲ الی ۷ و ۹ الی ۱۲ بهترین وضعیت و واحد ۱ و ۸ از شرایط نامطلوبی برخوردار است. در ابعاد نرخ کارایی، واحد ۱، ۲، ۷ و ۸ از شرایط نامطلوبی برخوردار است. در ابعاد نرخ کیفیت، کلیه واحدها از شرایط نامطلوبی برخوردار هستند. نتایج مطالعات نشان داد که اثربخشی کلی تجهیزات واحدهای ۶، ۱۱ و ۱۲ در سطح کلاس جهانی و در سایر واحدها پایین‌تر از حد کلاس جهانی ارزیابی شده است.



شکل ۲- نمودار پراکندگی کارایی محاسبه شده اثربخشی کلی تجهیزات واحدها.

Figure 2- Scatter diagram of the calculated efficiency of the overall effectiveness of the units' equipment.

یافته‌ها نشان داد میانگین نمره کارایی ۰/۹۷۲۲۴۱۵۹۲ است. با توجه به ناکارایی اثربخشی کلی تجهیزات واحدهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹ و ۱۰، لازم است در تخصیص بهینه منابع توجه ویژه و نگاه علمی و اقتصادی نمود.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

یکی از بهترین شاخص‌های نظارت بر اثربخشی تجهیزات تولیدی که در اکثر کارخانه‌های مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص اثربخشی کلی تجهیزات است که به خوبی وضعیت عملکرد تجهیزات و دستگاه‌های تولیدی را نمایش می‌دهد. یکی از بزرگ‌ترین محاسن این شاخص نگرش جامع آن است. این شاخص باظرافت خاصی، عملکرد تجهیزات را در عملکرد فرآیندهای برنامه‌ریزی تولید، مدیریت منابع، تولید و کیفیت بررسی می‌نماید.

پژوهش حاضر به ارزیابی اثربخشی کلی تجهیزات با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته است. نتایج مطالعات نشان داد واحد ۶، ۱۱ و ۱۲ کارا و سایر واحدها ناکارا شناسایی شدند. برای کاهش تأثیرات احتمالی ناشی از اثربخشی تأثیر فرهنگ‌سازمانی ضعیف در ایستگاه‌های ناکارا باید ضریب اثربخشی کلی تجهیزات را بهبود و ارتقا بخشید. پیاده‌سازی مناسب اقدامات اصلاحی، موجب کاهش خرابی‌ها می‌شود و این کاهش هم به نوبه خود منجر به افزایش میزان اثربخشی کلی تجهیزات خواهد شد.

انجام تحلیل‌های دقیق به منظور بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر روی شاخص *OEE* بسیار حائز اهمیت است. لذا توصیه می‌شود راهکار مناسب با توجه به آنالیزهای دقیق وضعیت پارامترهای تأثیرگذار تعیین و تصمیم‌گیری شود. همچنین جهت پیاده‌سازی بهتر شاخص *OEE*، بهره‌گیری از نمودارهایی نظیر پارتو کمک شایان و قابل توجهی در شناسایی نقاط ضعف و قدرت سیستم و برنامه‌ریزی بهتر جهت برطرف نمودن نقاط ضعف می‌نماید. پیشنهادهای زیر به منظور بهبود شاخص اثربخشی کلی تجهیزات توصیه می‌شود:

۱. تمرکز بر روی اجزای کلیدی سیستم نت بهره‌ور فراگیر.
۲. اجرای روش *SMED* یا تعویض قالب در زمان تکریمی برحسب دقیقه.
۳. ادغام دورویکرد تولید ناب و شش سیگما.
۴. بهبود قابلیت فرآیند.

یکی از محدودیت‌های مهم مطالعه حاضر محدودیت در نهاد و ستاده مدل تحلیل پوششی داده‌ها است. پیشنهاد می‌گردد که پژوهشگران در مطالعات آتی از متدولوژی غیرخطی نیز استفاده کنند و نتایج را با مدل‌های خطی مورد مقایسه قرار دهند. از دیگر محدودیت‌های پژوهش این است که یافته‌های پژوهش محدود به مدت‌زمان جمع‌آوری داده‌ها است.



- Ahire, C. P., & Relkar, A. S. (2012). Correlating failure mode effect analysis (FMEA) & overall equipment effectiveness (OEE). *Procedia engineering*, 38, 3482-3486.
- Alizadeh Tabatabai, S. A. (2020). Investigating the implementation of comprehensive productive maintenance in the control equipment of Tehran subway center and its impact on the overall effectiveness of equipment and reducing costs and increasing subway customer satisfaction. *4th scientific conference of applied research in science and technology of Iran*. Ilam, Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1144795/>
- Baghbani, M., Iranzadeh, S., & Bagherzadeh khajeh, M. (2020). Impact of PFMEA implementation with fuzzy approach on improving overall equipment effectiveness in the sugar industry. *Management researches*, 12(46), 199-226. (In Persian). DOI: 10.22111/jmr.2020.30009.4580
- Cheah, C. K., Prakash, J., & Ong, K. S. (2020). An integrated OEE framework for structured productivity improvement in a semiconductor manufacturing facility. *International journal of productivity and performance management*, 69(5), 1081-1105. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2019-0176>
- Farhadian, B., & Javanbakht, M. (2008). *A review of the maintenance system and OEE and the total productive maintenance (TPM) index*. Arkan Danesh Publication. (In Persian). <https://www.gisoom.com/book/1578000/>
- Foulloy, L., Clivillé, V., & Berrah, L. (2019). A fuzzy temporal approach to the overall equipment effectiveness measurement. *Computers & industrial engineering*, 127, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.043>
- Ghafoorpoor Yazdi, P., Azizi, A., & Hashemipour, M. (2018). An empirical investigation of the relationship between overall equipment efficiency (OEE) and manufacturing sustainability in industry 4.0 with time study approach. *Sustainability*, 10(9), 3031. <https://doi.org/10.3390/su10093031>
- Heng, Z., Aiping, L., Liyun, X., & Moroni, G. (2019). Automatic estimate of OEE considering uncertainty. *Procedia CIRP*, 81, 630-635. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.167>
- Khalili, S., Shokfteh, A., Bahraini, K., & Razeghi, S. (2017). Improving production line stability and increasing profits in a competitive market by applying the technique of overall equipment effectiveness in order to achieve a resistive economy. *Second international conference on management cohesion and development economics*. Tehran, Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/715367/>
- Mostafavi, M., & Taban, H. (2018). The importance and effectiveness of total productive maintenance implementation-case study: saipa company. *Sharif journal of industrial engineering & management*, 34(1.2), 137-146. (In Persian). DOI: 10.24200/J65.2018.5606
- Mozaffari, M. M., & Behdad, M. (2018). Solutions for improving the overall index efficiency (OEE) in the manufacturing industry. *The first international conference of new approaches in business management and accounting with an emphasis on value creation and resistance economy*. Tehran, Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/822506/>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: total productive maintenance*. Productivity Pr; Eleventh Printing Edition.
- Prasetyo, Y. T., & Veroya, F. C. (2020). An application of overall equipment effectiveness (OEE) for minimizing the bottleneck process in semiconductor industry. *2020 IEEE 7th international conference on industrial engineering and applications (ICIEA)* (pp. 345-349). IEEE. DOI: 10.1109/ICIEA49774.2020.9101925
- Rahim Sobhani, M., & Feghhi Farahmand, N. (2019). Identification of effective factors and components and overall effectiveness of production line equipment in Tabriz machinery manufacturing company. *2nd international conference on management industrial engineering, economic and accounting*. Tehran, Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/897391/>
- Taheri, E., Almasi, M., & Bani Saeed, I. (2019). Investigating the importance of measuring and controlling the overall effectiveness index of port equipment. *2nd international conference on industrial engineering & management in the new age*. Tehran, Iran. (In Persian). <https://civilica.com/papers/1-10458/>
- Tsarouhas, P. (2019). Improving operation of the croissant production line through overall equipment effectiveness (OEE): a case study. *International journal of productivity and performance management*, 68(1), 88-108. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2018-0060>