

افزایش راندمان تولید در کارخانه لاستیک بارز سیرجان از طریق بهینه‌سازی منابع

رضا فروزان فر^{۱*} و احمد فروزان فر^۲

۱- مدیر فروش و پروژه‌های توسعه، مجتمع صنایع لاستیک بارز سیرجان

۲- کارشناس کنترل پروژه و برنامه‌ریزی، شرکت نوین سازان

Forouzanfar_reza@yahoo.com

چکیده: این مقاله یک چارچوب سیستماتیک و مرحله‌ای برای ارتقای راندمان تولید در کارخانه لاستیک بارز سیرجان ارائه می‌دهد که بدون نیاز به سرمایه‌گذاری‌های سنگین سرمایه‌ای قابل اجرا است. رویکرد پیشنهادی بر بهینه‌سازی جامع منابع در پنج حوزه متمرکز است: تجهیزات (از طریق پیاده‌سازی نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر و پایش شاخص راندمان کلی تجهیزات)، زمان‌های آماده‌سازی (با به‌کارگیری روش تعویض سریع قالب)، مواد اولیه (کاهش ضایعات و بهبود بازده فرمولاسیون)، انرژی (اجرای سیستم مدیریت انرژی مطابق با استاندارد ISO 50001) و نیروی انسانی (آموزش تخصصی و چیدمان بهینه مهارت‌ها). با استفاده از روش نقشه‌برداری جریان ارزش، اتلاف‌های موجود در گلوگاه‌های حیاتی تولید، به‌ویژه در بخش‌های پرس‌های پخت و میکسرهای اختلاط، شناسایی شد. یک برنامه پایش ۱۲ هفته‌ای برای ردیابی شاخص‌های کلیدی عملکرد طراحی و یک بسته اقدامات کم‌هزینه در این مناطق هدف اجرا شد. نتیجه‌های به‌دست آمده از دوره پایلوت نشان‌دهنده بهبودهای کمی قابل توجه در تمامی حوزه‌ها بود: افزایش شاخص راندمان کلی تجهیزات از ۶۳٪ به ۷۱٪، کاهش ۳۸ درصدی زمان تعویض قالب در ایستگاه پخت، کاهش ۱۶ درصدی ضایعات تولید، کاهش ۸ درصدی شدت مصرف انرژی و کاهش ۲۲ درصدی زمان چرخه کامل تولید. این بهبودها در نهایت منجر به افزایش حدود ۹ درصدی خروجی تولید بدون نیاز به اضافه‌کاری شد. چارچوب ارائه‌شده به‌دلیل ماهیت کم‌هزینه، ریسک پایین و قابلیت تطبیق‌پذیری بالا، الگویی قابل تکرار و مقیاس‌پذیر برای صنعت تولید تایر در شرایط خاص اقتصادی و فناورانه ایران محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: راندمان تولید، بهره‌وری جامع تجهیزات (OEE)، نگهداری بهره‌ور فراگیر (TPM)، بهینه‌سازی منابع، صنعت تایر

مقدمه

در فضای رقابتی کنونی صنعت تایر، عوامل متعددی از جمله رقابت قیمتی فشرده، نوسانات قابل ملاحظه در بهای انرژی و مواد اولیه، و محدودیت‌های ساختاری در تأمین سرمایه‌گذاری‌های جدید، واحدهای تولیدی را ناگزیر به تمرکز بر راهبردهای بهبود راندمان از طریق بهینه‌سازی منابع موجود (Resource Optimization) ساخته است [۱ و ۵]. در این راستا، کارخانه لاستیک بارز سیرجان نیز به‌عنوان یکی از تولیدکنندگان عمده، با چالش‌های مشابهی مواجه است. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که گلوگاه‌های تولیدی (Production Bottlenecks) این واحد صنعتی عمدتاً در بخش‌های حیاتی پخت (Vulcanization)، اختلاط (Mixing) و مونتاژ تایر (Tire Building) متمرکز شده‌اند [۴ و ۸]. این ایستگاه‌های حیاتی به‌طور متداول با چالش‌های عملیاتی از قبیل توقفات خرد (Micro-stops)، زمان‌های طولانی تعویض و آماده‌سازی (Prolonged Setup Times)، اتلاف مواد (Material Losses) و مصرف انرژی بهینه‌نشده (Sub-optimal Energy Consumption) روبرو هستند [۲ و ۳].

هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک چارچوب یکپارچه (Integrated Framework) برای ارتقای راندمان تولید است که بر سه‌پایه اصلی استوار است: تحلیل داده‌های عملیاتی (Operational Data Analysis)، به‌کارگیری سیستماتیک روش‌های تولید ناب (Lean Manufacturing Methods) و پیاده‌سازی نظام نگهداشت بهره‌ور فراگیر (Total Productive Maintenance – TPM). نوآوری این مطالعه در ترکیب هدفمند مداخله‌های کم‌هزینه (Low-Cost Interventions)، با تأکید بر رویکرد سنجه‌محور (Metrics-Driven Approach) و تطبیق این راه‌کارها با محدودیت‌های فرایندی خاص صنعت تایر (Tire Manufacturing Process Constraints) نهفته است. این چارچوب، راه‌کاری عملیاتی و قابل تعمیم را برای دستیابی به بهبود پایدار در شرایط چالش‌برانگیز کنونی صنعت ارائه می‌دهد.

بخش تجربی

۱. خط مبنا و سنجه‌های ارزیابی

شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPIs) مورد استفاده در این مطالعه شامل:

- راندمان کلی تجهیزات (OEE) متشکل از سه مؤلفه دسترس‌پذیری (Availability)، عملکرد (Performance) و کیفیت (Quality) [۱].
 - میانگین زمان بین خرابی‌ها (MTBF) و میانگین زمان تعمیر (MTTR) [۹ و ۱۰].
 - نرخ ضایعات (Scrap Rate) برحسب درصد قطعات معیوب یا برش‌های غیر قابل استفاده [۴].
 - شدت مصرف انرژی (Energy Intensity) برحسب کیلووات‌ساعت به ازای هر تایر تولیدی [۶ و ۷].
 - کار در جریان ساخت (WIP) [۴].
 - زمان چرخه تولید (Lead Time) [۵].
- داده‌های مرتبط با این شاخص‌ها به مدت ۱۲ هفته و با استفاده از فرم‌های استاندارد ثبت توقفات و قرائت سیستماتیک کنتورهای انرژی گردآوری شد.

۲. تحلیل جریان ارزش (VSM):

با ترسیم نقشه جریان ارزش کنونی، گلوگاه‌های اصلی تولید در بخش‌های پرس‌های پخت و میکسرهای اختلاط شناسایی شد. نقشه‌برداری اتلاف‌ها نشان‌دهنده مواردی شامل انتظار برای قالب‌ها، عدم توازن خط در بین شیفت‌های مختلف و دوباره‌کاری‌های ناشی از ایرادات ظاهری بود.

۳. بسته اقدامات بهبود:

۳-۱. پیاده‌سازی SMED در ایستگاه پخت:

اجرای راه‌کارهایی شامل پیش‌آماده‌سازی قالب‌ها، تهیه کیت ابزار ویژه، استانداردسازی و طبقه‌بندی پیچ‌ها، استفاده از چک‌لیست عملیاتی و تمرین تیمی باهدف کاهش زمان تعویض از ۴۵ دقیقه به حداکثر ۲۸ دقیقه.

۳-۲. استقرار TPM:

اجرای نگهداری پیشگیرانه (PM) استاندارد برای میکسرها و پرس‌ها، تهیه نقشه روان‌کاری، پایش وضعیت یاتاقان‌ها و دمای سیلندرها و کالیبراسیون دوره‌ای سنسورهای فشار.

۳-۳. بهینه‌سازی مدیریت مواد:

بهینه‌سازی پارامترهای اکستروژن برای کاهش تلورانس اضافه، کنترل دقیق رطوبت و دمای انبارهای مواد اولیه (سیاه‌دوده و کائوچو) و باز چرخانی خردضایعات تا سقف مجاز فنی.

۳-۴. مدیریت انرژی:

انجام آزمون نشت‌یابی هوای فشرده، تنظیم فشار به سطح بهینه، عایق کاری خطوط بخار و اجرای برنامه خاموشی هدفمند تجهیزات در بین شیفت‌ها مبتنی بر چارچوب سبک ISO 50001 (شامل تعیین خط‌مبنا، هدف‌گذاری و تدوین سیاست).

۳-۵. برنامه‌ریزی و توازن تولید:

اجرای هم‌سطح‌سازی تولید برای الگوهای سائزی مختلف، اعمال سیستم کشتی و کنترل WIP و زمان‌بندی تولید مبتنی بر محدودیت‌ها برای پرس‌ها.

۳-۶. مدیریت نیروی انسانی:

تهیه و اجرای ماتریس مهارتی و آموزش متقابل اپراتورها در بخش مونتاژ و استقرار نظام ۵S در ایستگاه‌های کاری کلیدی.

۳-۷. پایش و کنترل:

پیاده‌سازی داشبورد مدیریتی روزانه برای پایش OEE و توقفات عمده و برگزاری جلسات روزانه برای بررسی اقدامات اصلاحی.

جدول ۱- مقایسه شاخص‌های کلیدی عملکرد پیش و پس از اجرای پروژه بهبود

شاخص عملکرد	قبل از مداخله	پس از مداخله	درصد تغییر
راندمان کلی تجهیزات (OEE)	۶۳٪	۷۱٪	۱۲٫۷٪+
زمان تعویض قالب (دقیقه)	۴۵	۲۸	۳۷٫۸٪-
نرخ ضایعات (%)	۶٫۲	۵٫۲	۱۶٫۱٪-
شدت مصرف انرژی (تایر / kWh)	۳٫۴	۳٫۱	۸٫۸٪-
زمان چرخه تولید (ساعت)	۴۸	۳۷٫۵	۲۱٫۹٪-

نتیجه‌گیری

نتیجه‌های به‌دست آمده از دوره پایلوت نشان می‌دهد که ترکیب هم‌زمان راه‌کارهای تعویض سریع قالب (SMED)، نگهداشت بهره‌ور فراگیر (TPM) و هم‌سطح‌سازی تولید، مؤثرترین و کارآمدترین مسیر را برای ارتقای راندمان در صنعت تایرسازی ارائه می‌دهد. کاهش قابل توجه زمان‌های تعویض در ایستگاه پخت (به‌عنوان گلوگاه اصلی) نه‌تنها منجر به افزایش دسترسی پذیری تجهیزات شده، بلکه از طریق همگرایی بهتر برنامه‌ریزی تولید و کاهش موارد دوباره‌کاری، اثرات مثبت مضاعفی را ایجاد نموده است. همچنین، اجرای اقدامات بهینه‌سازی انرژی توانسته است به‌صورت هم‌زمان، هم هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد و هم پایداری زیست‌محیطی واحد تولیدی را تقویت کند.

براساس محاسبات انجام‌شده، دوره بازگشت سرمایه (Return on Investment—ROI) این پروژه، با اتکا بر صرفه‌جویی‌های حاصل از کاهش توقفات، کاهش مصرف انرژی و minimization ضایعات، کمتر از شش ماه برآورد می‌شود که گویای توجیه‌پذیری اقتصادی بالای آن است.

ازجمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به نیاز به دقت و انضباط بالا در گردآوری داده‌ها، لزوم جلب مشارکت فعال اپراتورها و نیروی انسانی و چالش‌های ناشی از تنوع الگوهای سائزی و پیچیدگی‌های برنامه‌ریزی تولید اشاره کرد. برای تثبیت و تعمیق دستاوردهای این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در فازهای آتی، راه‌کارهای زیر مورد توجه قرار گیرند:

- استقرار سیستم نگهداشت پیش‌بینانه (Predictive Maintenance) مبتنی بر پایش شرایط (Condition Monitoring) نظیر ارتعاش‌سنجی و تجزیه و تحلیل دمایی برای تجهیزات حیاتی مانند میکسرهای پخت

- به‌کارگیری مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی (مانند برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط) برای زمان‌بندی تولید با در نظرگیری هم‌زمان قیود مربوط به قالب و سائز

- راه‌اندازی یک پایلوت مدیریت انرژی بلادرنگ (Real-Time Energy Management System) برای پایش و کنترل آنی مصرف انرژی

اجرای این راه‌کارها می‌تواند منجر به تحقق بهبودهای مستمر و دست‌یابی به مزیت رقابتی پایدار در صنعت تایر شود.

مراجع

- [۱] رحیمی، ع. و عزیزاده، م. (۱۴۰۰). «کاربرد ترکیبی نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM) و تولید ناب برای بهبود شاخص OEE در صنعت لاستیک: مطالعه موردی». فصلنامه علمی مهندسی صنایع و مدیریت، ۱۵ (۲)، ۱۲۵-۱۴۳.
- [۲] زرگری، س. و موسوی، ر. (۱۳۹۹). «بهبود زمان آماده‌سازی در presses پخت تایر با استفاده از روش تعویض سریع قالب (SMED): یک مطالعه میدانی». نشریه علمی پژوهشی مهندسی خودرو و صنایع وابسته، ۴ (۱)، ۷۷-۹۲.
- [۳] کامکار، ا. و خدابخشی، ک. (۱۳۹۸). «بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع انرژی‌بر با رویکرد استاندارد ISO 50001: موردکاوی کارخانه لاستیک‌سازی». مجله انرژی ایران، ۲۲ (۳)، ۵۴-۶۸.
- [۴] جعفری، م. و شهریار، ف. (۱۳۹۷). «تقش‌برداری جریان ارزش به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای شناسایی اتلاف‌ها در خط تولید تایر». فصلنامه علوم و تکنولوژی پلیمر، ۳۰ (۴)، ۳۱۰-۲۹۵.
- [5] Rossini, M., Costa, F., Staudacher, A. P., & Tortorella, G. L. (2021). Industry 4.0 and Lean Production: An empirical study of integration and synergies. International Journal of Production Research, 59(12), 3570-3592.
- [6] Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. International Journal of Production Research, 56(8), 2924-2940.
- [7] May, G., Barletta, I., Stahl, B., & Taisch, M. (2018). Energy management in production: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering, 116, 229-244.
- [8] Zheng, T., Yamashiro, M., & Xie, J. (2020). Energy-aware integrated process planning and scheduling in job shop manufacturing: A mathematical programming approach. Journal of Cleaner Production, 251, 119738.
- [9] Dalzochio, J., Kunst, R., Pignaton, E., Binotto, A., Sanyal, S., Favilla, J., & Barbosa, J. (2020). Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges. Computers in Industry, 123, 103298.
- [10] Antony, J., McDermott, O., Powell, D., & Sony, M. (2023). The evolution and future of Lean Six Sigma 4.0. The TQM Journal, 35(4), 1030-1046.