

استقرار و تعمیم تکنیک SMED در فرایند جامع تغییر سایز خطوط تایرسازی

محمد حیدری فراهانی^{۱*}، امین پاکزاد^۱ و رضا اسدزاده^۲

۱- کارشناس مهندسی صنایع، شرکت کویرتایر

۲- مدیر مهندسی صنایع و برنامه‌ریزی، شرکت کویرتایر

heidary.farahani@gmail.com

چکیده: افزایش بهره‌وری و استفاده حداکثری از ظرفیت تولید، شرط بقاء در صنعت تایرسازی، به‌ویژه در شرایط محدودیت‌های اقتصادی است. این مقاله به بررسی پیاده‌سازی و تعمیم تکنیک تعویض تک‌دقیقه‌ای قالب (SMED) در فرایند جامع تغییر سایز ماشین‌آلات تایرسازی تک‌مرحله‌ای می‌پردازد. دامنه پروژه در ابتدا محدود به تعویض تجهیزات فیزیکی بود، اما باهدف حذف تمامی اتلاف‌های زمان توقف، به فرایندهای پس از تعویض شامل تنظیمات تکنولوژی، رنگ‌زنی، پخت تایرهای تستی و فینیشینگ تعمیم یافت. وضعیت اولیه زمان کل فرایند تغییر سایز (درامست) به‌طور میانگین ۴۷۸ دقیقه بود. با اجرای فازبندی شده SMED، که شامل کایزن‌های سخت‌افزاری (مانند نصب وینچ) و استانداردهای فرایندی جامع (تدوین کار استاندارد تنظیمات تکنولوژی، پخت و کیفیت) بود، زمان کل فرایند به ۲۶۶ دقیقه کاهش یافت. این کاهش ۲۱۲ دقیقه‌ای معادل ۴۴.۳۵ درصد بهبود در زمان آماده‌سازی خط تولید است. در نتیجه این افزایش کارایی، ظرفیت تولید ماهانه ۱۳۰۴ حلقه تایر افزایش یافت که منجر به سودآوری سالانه ۱۶۴,۳۰۴,۰۰۰,۰۰۰ ریال برای سازمان شد. نتایج نشان می‌دهد که تعمیم SMED از حوزه فیزیکی به فرایندهای اطلاعاتی و کیفی، برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری در صنایع پیچیده ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تایرسازی، SMED، بهره‌وری، تایر، تعویض قالب، کار استاندارد

مقدمه

امروزه، رقابت فشرده در صنعت جهانی تایر، شرکت‌ها را ملزم به اجرای تفکر ناب (Lean Thinking) کرده است تا از این طریق ضایعات حذف و ارزش بیشتری برای مشتری خلق شود. یکی از موانع اصلی در مسیر افزایش بهره‌وری، توقفات طولانی خط تولید ناشی از تغییر محصول یا تغییر سایز است [۱]. تکنیک تعویض تک‌دقیقه‌ای قالب (SMED)، که توسط شیگو شینگو توسعه داده شد، ابزاری قدرتمند برای کاهش زمان آماده‌سازی به زیر ده دقیقه است. کار پیشگامانه شینگو کاهش زمان تغییر ابزار را تا ۹۴ درصد در صنایع مختلف محقق ساخت [۲]. در صنعت تایرسازی، نیاز به پیاده‌سازی SMED به‌دلیل توقفات زیاد ناشی از تغییر سایز در ماشین‌های تک‌مرحله‌ای، عدم رعایت ارگونومی در حمل تجهیزات سنگین و سود ازدست‌رفته، به‌شدت احساس می‌شود. مطالعات اولیه نشان داد که میانگین زمان کل فرایند تغییر سایز (درامست)، که شامل تعویض تجهیزات، تنظیمات تکنولوژی، ساخت تایرهای تستی، رنگ‌زنی و پخت و انجام تست‌های کیفی (بالانس و یونیفورمیتی) برای تأیید نهایی است، ۴۷۸ دقیقه به طول می‌انجامد. این زمان طولانی توقف، نه تنها بهره‌وری را کاهش می‌داد، بلکه به‌دلیل سنگینی تجهیزات، فشار فیزیکی زیادی بر اپراتورها وارد می‌ساخت. پروژه اولیه باهدف کاهش زمان تعویض تجهیزات فیزیکی آغاز شد و موفقیت قابل توجهی کسب کرد، اما گلوگاه‌های پنهان در فرایندهای پسین (تنظیمات تکنولوژی و پخت) همچنان مانع از دستیابی به حداکثر ظرفیت بودند. این مقاله در ادامه گزارش‌های قبلی، به تشریح گام‌های تعمیم SMED به تمامی فرایندهای درامست پرداخته و نتایج نهایی حاصل از نظام‌مندسازی کل زنجیره تغییر سایز را ارائه می‌کند.

بخش تجربی

مدل پیاده‌سازی تکنیک SMED براساس گام‌های ۱۱ گانه شامل تشکیل تیم، انتخاب پایلوت، بررسی و ثبت شرایط موجود، شناسایی فعالیت‌های درونی و بیرونی، هدف‌گذاری، تبدیل فعالیت‌های درونی به بیرونی، طراحی دستورالعمل‌ها، اجرا، نظارت، سنجش مجدد شاخص‌ها و ثبت رویه‌ها است. این پروژه توسط تیمی متشکل از ادارات تولید، تکنولوژی، نت، کیفیت، مهندسی صنایع و برنامه‌ریزی در دو فاز اصلی پیگیری شد [۳].

فاز ۱: استانداردسازی تعویض تجهیزات فیزیکی (کاهش زمان از ۳۴۲ به ۶۲۱ دقیقه)
در این فاز، تمرکز تیم بر روی کاهش زمان تعویض فیزیکی تجهیزات هفت‌گانه ماشین‌های تایرسازی (شامل درام شپ‌ها، سگمنت‌های درام، بلت، ترنسفر بلت و پوشک‌ها) بود. زمان تعویض این تجهیزات در ابتدا ۲۴۳ دقیقه بود.

اقدامات کلیدی فاز اول شامل موارد زیر بود:

۱. بررسی وضعیت موجود: فیلم‌برداری دقیق از فرایند درامست، مشخص کردن مراحل کاری و لیست تقدم و تأخر عناصر کاری.
۲. بهبود ارگونومی و سرعت: به‌دلیل سنگینی درام شپ‌ها و نیاز به سه اپراتور برای جابه‌جایی دستی، یک جرثقیل مخصوص (وینچ) برای حمل و باز و بست این تجهیزات نصب شد. هم‌چنین، یک گاری مخصوص جهت حمل و نگهداری ابزارآلات و تجهیزات درامست ساخته شد.
۳. تدوین کار استاندارد: برای جلوگیری از کار سلیقه‌ای، کار استاندارد تعویض هر یک از هفت تجهیز تدوین و آموزش‌های لازم به تیم مخصوص درامست در هر شیفت ارائه شد.

نتیجه این فاز، کاهش میانگین زمان تعویض تجهیزات از ۲۴۳ دقیقه به ۱۲۶ دقیقه (۴۸ درصد کاهش) بود. این کاهش ۱۱۷ دقیقه‌ای، زمان کل فرایند درامست را از ۴۷۸ دقیقه به ۳۶۱ دقیقه رساند.

فاز ۲: تعمیم بهینه‌سازی به فرایندهای اطلاعاتی، تکنولوژی و کیفیت (کاهش زمان از ۱۶۳ به ۶۶۲ دقیقه)

باوجود کاهش زمان تعویض تجهیزات، ۹۵ دقیقه کاهش زمان موردنیاز بود تا به هدف نهایی کاهش زمان کل دست‌یابیم. این اتلافات باقی‌مانده عمدتاً در مراحل تنظیمات تکنولوژی، ساخت تایرهای تستی، رنگ‌زنی، پخت و انتظار برای نتایج تست‌های کیفی (بالانس و یونیفورمیتی) متمرکز بودند. این امر نشان داد که در یک سیستم تولیدی پیچیده مانند تایرسازی، اتلاف‌های مربوط به دانش، اطلاعات، و هماهنگی‌های بین واحدی، به اندازه اتلاف‌های فیزیکی اهمیت دارند. در این راستا، پروژه SMED به‌طور فزاینده‌ای به سمت استانداردسازی فرایندی و اطلاعاتی تعمیم یافت. اقدامات کلیدی در تعمیم پروژه به فرایندهای پایین دست عبارت‌اند از:

۱. استانداردسازی تنظیمات تکنولوژی تدوین دستورالعمل انجام کار استاندارد برای تنظیمات تکنولوژی، باهدف حذف حدس و گمان و تضمین ثبات در پارامترهای ساخت.
۲. استانداردسازی رنگ‌زنی و پخت: تدوین کار استاندارد «رنگ‌زنی و پخت» همراه با استانداردسازی تنظیمات مهندسی پخت اتوماسیون و مکانیک پخت این اقدام تضمین کرد که تایرهای تستی پس از ساخت، بدون تأخیر در شرایط استاندارد پخته شوند.
۳. استانداردسازی فینیشینگ و کیفیت: تدوین کار استاندارد برای فرایند فینیشینگ و انجام سریع و دقیق تست‌های یونیفورمیتی و بالانس تایر جهت صدور مجوز تولید روتین.

نظام‌مندسازی و مدیریت فرایند با مستندات کنترل کیفیت

برای نظام‌مندسازی فرایند تغییر سایز و اطمینان از آمادگی ۱۰۰ درصدی، مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها و فرم‌ها تدوین شد که فرایند را از حالت سلیقه‌ای خارج کرده و به یک فرایند قابل اندازه‌گیری و ممیزی تبدیل کرد.

- **دیگرام فرایند تغییر سایز (درامست):** طراحی دیگرام جهت تشریح فعالیت‌های هر فرد و مشخص کردن توالی دقیق انجام کار، از زمان صدور مجوز برنامه‌ریزی تا تأیید نهایی کیفیت.
- **فرم اعلان مشکل:** طراحی فرم اعلان مشکل برای ثبت جزئیات دقیق زمان‌های فرایند (مجوز تولید، تعویض تجهیزات، تنظیمات تکنولوژی، زمان انجام تست‌های بالانس و یونیفورمیتی). این امر امکان مقایسه مستمر زمان‌های واقعی با زمان‌های استاندارد را فراهم ساخت و به تیم اجازه داد تا اتلاف‌های پنهان را شناسایی و حذف کند.
- **چک‌لیست‌های کنترلی:** تدوین چک‌لیست تجهیزات، چک‌لیست نیم‌ساخته و چک‌لیست ممیزی درامست برای اطمینان از این که تمامی پیش‌نیازها و قطعات مورد نیاز قبل از توقف خط، آماده و در محل قرار گرفته‌اند (بیرونی‌سازی فعالیت‌های آماده‌سازی). این رویکرد، که به تعریف وظایف سرشیفت و سایر واحدهای دخیل در قبال درامست انجامید، یک نظام مدیریتی پایدار برای حفظ بهبودها ایجاد کرد.

نتیجه‌ها و بحث

بهره‌وری

اجرای کامل و جامع تکنیک SMED در تمامی ابعاد فرایند تغییر سایز، شامل تجهیزات فیزیکی و فرایندهای اطلاعاتی/کیفی، نتایج قابل توجهی را در پی داشته است. سنجش مجدد شاخص‌ها نشان‌دهنده تحقق اهداف تعیین شده بود. تحلیل مقایسه‌ای کاهش زمان کل فرایند: با تعمیم پروژه به فاز دوم، زمان کل فرایند تغییر سایز به صورت چشم‌گیری کاهش یافت. کاهش نهایی زمان از ۴۷۸ دقیقه به ۲۶۶ دقیقه، به روشنی نشان‌دهنده کارایی بالای استانداردسازی در فرایندهای پس از تعویض قالب (تنظیمات تکنولوژی، پخت و تست‌های کیفی) است. کاهش اولیه (فاز ۱) به میزان ۱۱۷ دقیقه در بخش تعویض تجهیزات رخ داد و کاهش دوم (۹۵ دقیقه) ناشی از بهینه‌سازی فرایندی در فاز ۲ بود.

جدول ۱- مقایسه شاخص‌های عملکردی و اقتصادی نهایی پروژه SMED در فرایند درامست

شاخص عملکردی	وضعیت اولیه (Baseline)	نتایج فاز ۱ (تا ۳۶۱ دقیقه)	نتایج نهایی (پس از تعمیم) (بهبود نهایی)	میزان
زمان کل فرایند (دقیقه)	۴۷۸	۳۶۱	۲۶۶	۴۴٫۳۵٪ کاهش
کاهش در زمان تعویض تجهیزات (دقیقه)	-	۱۱۷	۱۱۷	۴۸٪ کاهش
افزایش تولید ماهانه (حلقه)	۰	۶۰۸	۱۳۰۴	-
سودآوری سالانه (میلیارد ریال)	۰	۷۶۶۰۸	۱۶۴۳۰۴	-

داده‌های فوق اثبات می‌کند که در محیط‌های تولیدی که گلوگاه‌های فرایندی مانند تنظیمات تکنولوژی و تأیید کیفیت (که زمان صدور مجوز تولید نهایی را تعیین می‌کنند) وجود دارند، بهینه‌سازی صرفاً فیزیکی کافی نیست. ۹۵ دقیقه صرفه‌جویی اضافی در

زمان توقف نشان داد که اتلاف‌های مرتبط با جریان اطلاعات و دانش، عملاً ارزش پنهانی را در برداشته‌اند که تنها با استانداردسازی فرایندی SMED قابل بازیابی بود.

دستاوردهای عملیاتی و اقتصادی

پیاده‌سازی این پروژه دستاوردهای چندوجهی را به همراه داشت:

۱. **افزایش ظرفیت تولید:** افزایش زمان فعال تولید از دست‌رفته به خط، منجر به افزایش تولید ۱۳۰۴ حلقه تا ۶ ماه شد. این رقم در مقایسه با ۶۰۸ حلقه تا ۲۱۲ افزایش یافته در فاز اولیه، رشدی مضاعف را نشان می‌دهد.
۲. **تأثیر مالی و سودآوری:** سودآوری نهایی پروژه بالغ بر ۱۶۴٫۳۰۴٫۰۰۰٫۰۰۰ ریال در سال ارزیابی شده است. این میزان، دو برابر سودآوری ۷۶٫۶۰۸ میلیارد ریالی است که صرفاً با کاهش زمان تعویض تجهیزات به دست آمده بود. این تفاوت فاحش، نقش حیاتی تعمیم SMED به فرایندهای پشتیبان تولید را تأیید می‌کند.
۳. **بهبود ارگونومی:** با نصب جرثقیل و مکانیکی شدن حمل تجهیزات سنگین، مشکل ارگونومی اپراتورها و راحتی انجام فرایند سخت درامست حل شد.
۴. **نظام‌مندسازی فرایند:** با تدوین کار استاندارد برای تمامی فعالیت‌ها و مشخص شدن وظایف دقیق هر اداره (تولید، تکنولوژی، کیفیت)، کار سلیقه‌ای حذف و فرایند تغییر سایز کاملاً نظام‌مند شد.
۵. **مدیریت اطلاعات و آراستگی:** ثبت اطلاعات فرایند تغییر سایز به منظور بایگانی و استفاده در آینده ممکن شد. هم‌چنین، نظام آراستگی 5S در محیط کاری مربوط به درامست به صورت کامل رعایت شد.

نتیجه‌گیری

استقرار موفقیت‌آمیز تکنیک SMED نشان داد که در محیط‌های پیچیده مانند تایرسازی، فرایند تغییر سایز نباید صرفاً به‌عنوان یک فعالیت تعویض فیزیکی تجهیزات نگریسته شود. بلکه، فرایند درامست شامل یک زنجیره ارزش کامل است که از زمان برنامه‌ریزی تولید تا تأیید کیفیت نهایی ادامه می‌یابد. کاهش زمان کل فرایند از ۴۷۸ دقیقه به ۲۶۶ دقیقه و تحقق سودآوری سالانه ۱۶۴ میلیارد ریالی، بزرگ‌ترین درس آموخته استراتژیک این پروژه را به نمایش می‌گذارد: سود واقعی و افزایش ظرفیت تولید، تنها با مدیریت دقیق اتلاف‌های مرتبط با تنظیمات تکنولوژی و تست‌های کیفیت، هم‌زمان با بهینه‌سازی فیزیکی (تعویض تجهیزات)، محقق می‌شود. استانداردسازی فاز دوم، ۹۵ دقیقه زمان توقف را صرفه‌جویی کرد که بیانگر این واقعیت است که اتلاف‌های ناشی از عدم استانداردسازی در تنظیمات (فرایندهای دانش‌محور) تقریباً به اندازه اتلاف‌های فیزیکی مهم هستند. استفاده از مستندات کنترلی مانند فرم اعلان مشکل و چک‌لیست‌های تخصصی، نه تنها به اجرای موفقیت‌آمیز پروژه کمک کرد، بلکه مکانیسمی برای حفظ بهبودهای حاصله و تسهیل ممیزی مستمر ایجاد کرد.

پیشنهادهای

باتوجه به نتایج مثبت حاصل از تعمیم SMED، پیشنهادها زیر برای تضمین بهبود مستمر و افزایش بهره‌وری ارائه می‌شود:

۱. **تعمیم SMED در دیگر ایستگاه‌ها:** باتوجه به موفقیت‌های به دست آمده، پیاده‌سازی و تعمیم تکنیک SMED باید در سایر ایستگاه‌های تولیدی نظیر اکستروژن و استیلستیک ادامه یابد. هم‌چنین، پیگیری هدف‌گذاری کاهش زمان تعویض قالب پرس‌های پخت به زیر ۳۰ دقیقه، که پیش‌تر از ۷۲ دقیقه به ۴۲ دقیقه کاهش یافته بود، از طریق مانیتورینگ مجدد ضروری است.
۲. **حفظ و نگهداری استانداردها:** آموزش مداوم کارکنان و اجرای ممیزی‌های دوره‌ای با استفاده از چک‌لیست‌های تدوین شده برای تضمین پایبندی به کار استاندارد و جلوگیری از بازگشت به روش‌های سلیقه‌ای، حیاتی است.
۳. **کاهش بیشتر زمان:** تیم باید تلاش کند تا زمان ۲۶۶ دقیقه‌ای کنونی را از طریق اجرای کاین‌های جدید در زمان‌های باقی‌مانده، مطابق با فلسفه بهبود مستمر، کاهش دهد.