

ارزیابی شاخص‌های کلیدی عملکرد و رابطه آن با اجرای نگهداری و تعمیرات جامع بهره‌ور تولیدکننده در بخش تولید

علی درودچی^۱

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه آزاد نجف آباد

چکیده

این مقاله بر ارزیابی تجربی شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPIs) نگهداری و تعمیرات جامع بهره‌ور (TPM) تمرکز دارد. دستورالعمل‌های اجرایی را ارائه می‌کند و اندازه‌گیری تأثیر و پشتیبانی برای تعالی کسب‌وکار در بخش تولید را تسهیل می‌کند. مطالعه حاضر وضعیت فعلی TPM را بررسی می‌کند و حوزه‌های کلیدی برای پذیرش TPM را با استفاده از یک فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی در یک محیط تولید شناسایی می‌کند. این مطالعه به ایجاد چارچوبی برای قضاوت در مورد وزن اجزای TPM کمک می‌کند. روش‌های کمی و کیفی در کنار هم نتایج قابل اعتمادی را تولید کرده‌اند. داده‌ها با استفاده از پرسشنامه‌ای که به درستی ساخته شده بود جمع‌آوری شده است. شاخص‌های کلیدی عملکرد برای بررسی تأثیر محیط خارجی بر عناصر داخلی بخش تولید استفاده شده است. با استفاده از رویکرد مقایسه زوجی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، وزن شاخص‌های عملکرد کلیدی TPM تعیین شد. اشاره شده است که در صنایع تولیدی مورد مطالعه به محیط کار و مزیت رقابتی کمتر از افزایش بهره‌وری و کیفیت اهمیت داده می‌شود. به منظور ساخت مدلی برای نیازهای امروزی بر اساس داده‌های واقعی و توجیه‌های فلسفی، نتایج این مطالعه، گونه‌شناسی کاملی از تکنیک‌های TPM و عملکرد آنها در قلمرو تولید ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات جامع بهره‌ور، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان

۱- مقدمه

نگهداری و تعمیرات جامع بهره ور (TPM) نقش مهمی در افزایش رقابت جهانی دارد. توسعه استراتژیک برنامه TPM با ترکیب محتوا و فرآیندهای عملیات استراتژیک به عملکرد تولیدی بیشتری دست می یابد. معیار عملکرد خوب سیستم TPM با کیفیت به عنوان یکی از متغیرهای ورودی کلیدی آن تامین می شود [۸]. عناصر مهم TPM توسط چندین نویسنده با اهداف مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. جنبه های بحرانی باید به عنوان شرایط یا رویه هایی در نظر گرفته شوند که از قبل وجود داشته اند یا باید برای تضمین موفقیت TPM ایجاد شوند. از طریق استفاده از افراد و نه صرفاً از فناوری یا سیستم ها، TPM راهی برای دستیابی به سطوح اثربخشی تجهیزاتی ارائه می دهد که همتراز با آنچه در بهترین محیط های صنعتی یافت می شود. این چارچوب های اداری، پویایی بین فردی، تکنیک های تحلیلی و استانداردهای موفقیت مربوط به اجرای برنامه های تولید کل تولید را پوشش می دهد. روش های مدیریت کیفیت رابطه خوبی با عملکرد سازمانی دارند. موفقیت اجرای برنامه TPM برای مدیریت نگهداری و تعمیر بسیار مهم است زیرا نه تنها اثربخشی و کارایی سازمانی را بهبود می بخشد، بلکه تسهیلات را به یک مرکز تولیدی در کلاس جهانی تبدیل می کند. استراتژی به نام TPM تلاش می کند تجهیزات موجود را در دسترس تر قرار دهد، که نیاز به سرمایه گذاری اضافی را کاهش می دهد [۳]. دومین مزیت سرمایه گذاری در منابع انسانی، بهبود استفاده از سخت افزار، بهبود کیفیت محصول و کاهش هزینه های نیروی کار است [۱۳، ۲۰، ۲۴]. به ویژه با توجه به تقاضاهای روزافزون امروزی برای در دسترس بودن، ایمنی، بهره وری، کیفیت و محیط زیست و همچنین باریک شدن هزینه های عملیاتی، حاشیه سود و نگهداری و تعمیر که می تواند باعث شکست یا شکست یک شرکت شود [۲۴]. با توجه به اهمیت اجرای TPM و دشواری پذیرش آن در بخش تولید، نیاز به توسعه یک مدل ساختاریافته برای اجرای موفقیت آمیز آن ایجاد می شود. برای توسعه چنین مدلی، مطالعه گام به گام جنبه های مختلف TPM مورد نیاز است. تمام این جنبه های اجرای TPM به روش فازی تقسیم شده و چهار هدف زیر را مشخص می کند.

۱. تعیین مهمترین عناصر برای موفقیت اجرای TPM.

۲. برای بررسی وضعیت فعلی سیستم TPM در بخش تولید و شناسایی شیوه های استاندارد.

۳. برای تعیین اینکه آیا KPI شناسایی شده برای نصب TPM قابل اعتماد است یا خیر

۴. برای اولویت بندی KPI با استفاده از رویکرد AHP و بررسی روابط علی بین KPI برای ایجاد روش های

تصمیم گیری انعطاف پذیر بلندمدت و اجرای شیوه های TPM.

مدل یا استراتژی پیشنهادی TPM را می توان به عنوان راهنمای استفاده از TPM در بخش های تولیدی به کار برد.

۲- بررسی ادبیات و شناسایی KPI ها

شکاف هایی که نیاز به تحقیقات بیشتری دارند در نتیجه بررسی ادبیات شناسایی می شوند. طبق مطالعه یک محقق، فعالیت های نگهداری و تعمیر کارخانه به طور متوسط ۱۵ تا ۴۰ درصد به طور متوسط ۲۸ درصد از هزینه های کلی تولید را تشکیل می دهند [۳۲]. وقتی صحبت از عنصر مالی می شود، تاریخ نشان داده است که فعالیت های مربوط به نگهداری و تعمیر کارخانه، بخش قابل توجهی از کل هزینه انجام تجارت را تشکیل می دهد که به معنای هزینه های مربوط به نگهداری و تعمیر تجهیزات و سیستم، تلفات تولید، و هزینه نیروی کار و مواد است. علاوه بر این، این هزینه ها احتمالاً در آینده به دلیل پیچیدگی هایی که فناوری های جدید، اتوماسیون، استفاده از ربات و سایر عوامل به تجهیزات صنعتی می افزایند، بسیار بیشتر خواهد شد [۱۸]. محقق همچنین کشف کرد که وقتی نوبت به مولفه هزینه می رسد، فعالیت های مربوط به نگهداری و تعمیر

کارخانه، بخش قابل توجهی از کل هزینه انجام کسب و کار را تشکیل می‌دهند. خرابی تجهیزات، عیوب ساخت و حوادث به دلیل رویکردهای چرخه عمر TPM در مدیریت تجهیزات کاهش می‌یابد. هر کارمندی از سطح بالا تا پایین در این فرآیند دخیل است [۴۳]. TPM سهم نیروی کار فعال را بهبود می‌بخشد؛ حجم تولید بدون تغییر در نهاده‌ها ۴۰ درصد افزایش می‌یابد؛ افزایش تولید کارکنان؛ و شکایات مشتریان را ۲۰ درصد کاهش داد [۱۹]. اجرای موفقیت‌آمیز TPM با دیجیتالی‌سازی همچنین می‌تواند نتایج بهتر و طولانی‌تری نسبت به سایر برنامه‌های جداگانه ایجاد کند، زیرا پیشرفت منجر به تغییر نهایی در دانش، مهارت‌ها و رفتار نیروی کار می‌شود [۷، ۱۱، ۳۹]. تولیدکنندگان در حال حاضر به این فکر می‌کنند که آیا انقلاب دیجیتال جدید را بر اساس سرمایه‌گذاری و پاداش‌های احتمالی در آغوش بگیرند یا خیر. نسل بعدی سیستم‌های تعمیر و نگهداری عمده‌تاً شامل شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، رباتیک پیچیده، تولید تطبیقی، محاسبات ابری، واقعیت افزوده، یکپارچه‌سازی سیستم‌های افقی و عمودی اینترنت صنعتی و امنیت سایبری خواهد بود [۵، ۱۲]. هنگامی که TPM اتخاذ می‌شود، یک سازمان می‌تواند مزایایی مانند کیفیت بالاتر، افزایش خروجی، هزینه‌های ارزان‌تر، خرابی‌های کمتر، تحویل قابل اعتماد، افزایش ایمنی، شرایط کاری تحریک شده و روحیه کارکنان را تسهیل کند [۴۸]. پذیرش TPM همچنین می‌تواند به سازمان‌ها برای بهبود OEE از ۱۴ تا ۴۵ درصد، کاهش موجودی از ۴۵ به ۵۸ درصد، بهبود خروجی کارخانه از ۲۲ به ۴۱ درصد، کاهش عدم پذیرش از ۵۰ به ۷۵ درصد، کاهش تصادفات از ۹۰ به ۹۸ درصد، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری از ۱۸ به ۴۵ درصد، کاهش دوباره کاری و نقص از ۶۵ به ۸۰ درصد، کاهش خرابی‌ها از ۶۵ به ۷۸ درصد، کاهش هزینه‌های انرژی از ۸ به ۲۷ درصد، و افزایش مشارکت کارکنان از ۳۲ به ۶۵ درصد [۳] کمک کند. با توجه به ارزیابی ادبیات، تکنیک‌های مدرن نگهداری تجهیزات برای بهبود عملکرد و پشتیبانی، برای خدمات به شکلی که در حال حاضر ارائه می‌شود، بهترین نیستند. برای تجزیه و تحلیل کاربرد زیست محیطی برای پذیرش موفقیت‌آمیز TPM، برخی از محققان بر این محدودیت‌ها غلبه کرده و چارچوب مناسبی را ارائه کرده‌اند [۱۴، ۲۷]. قادر به تعیین میزان حضور هر جزء TPM در یک سازمان نیست و قادر به مقایسه سازمانها بر اساس اجزای TPM نیست. با توجه به این موضوع، هدف افزایش در دسترس بودن تجهیزات به طور منظم و جلوگیری از تخریب آن برای دستیابی به کارایی مطلوب است. برای دستیابی به این اهداف، پشتیبانی قوی مدیریتی، همراه با استفاده مداوم از کار تیمی و فعالیت‌های گروهی ضروری است [۱۷، ۲۳]. علاوه بر این، بر افزایش در دسترس بودن تجهیزات، عملکرد و کیفیت در سلامت و ایمنی کارکنان و حفاظت از محیط زیست تأکید دارد [۲۷]. شکاف‌هایی که نیاز به تحقیقات بیشتری دارند در نتیجه بررسی ادبیات شناسایی می‌شوند. پس از بحث با دانشگاهیان و متخصصان صنعت، نویسندگان هشت KPIS و سیزده عامل فرعی آنها را انتخاب کرد که توسط این مطالعات از ادبیات پشتیبانی می‌شدند.

۳ - روش شناسی

تحقیق به صورت مرحله‌ای انجام می‌شود. در مرحله اول، صنایع تولیدی شناسایی و به شدت برای جمع‌آوری شیوه‌های TPM و موانع در اجرای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه تلاش کردند. در مرحله دوم، عوامل ضروری اجرای TPM مورد بررسی قرار می‌گیرند. پس از ارزیابی سازمانی با استفاده از پرسشنامه ساختاریافته، اعتبار TQM-KPI با استفاده از تحلیل پایایی مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین وزن مربوط به شاخص‌های عملکرد نسبت به اجرای TPM، مرحله نهایی بررسی، متغیرهای TPM را بر اساس درجه عملکرد مقایسه کرد. در این مرحله، ما سعی کردیم از طریق طیف وسیعی از بررسی انتقادی، واقعیت را از نزدیک درک کنیم و وزن‌های نسبی شاخص‌های عملکرد کلیدی را از طریق AHP تعیین کنیم. جدول ۱ اطلاعات مربوط به طرح تحقیق، روش جمع‌آوری داده‌ها و کاربرد آن را ارائه می‌دهد.

روش تحقیق و طرح		ابزار استفاده شده	توجیه
روش کیفی	جزئیات سازمان	ابزارهای آماری	تاریخ ها از طریق پرسشنامه ساختاریافته جمع آوری و برای درک بهتر به صورت گرافیکی نمایش داده شد
روش کمی	تحلیل داده ها	ابزار تحلیل قابلیت اطمینان	تجزیه و تحلیل همسانی درونی برای سنجش پایایی KPI ها با استفاده از محاسبه آلفای کرونباخ انجام شد. قابلیت اطمینان نتایج آزمایش را بررسی می کند
		ابزار تحلیل AHP	فرآیند تحلیل سلسله مراتبی معیارها را با هم مقایسه می کند و اهمیت KPI را نسبت به یکدیگر تعریف می کند. برای نهایی سازی اولویت KPI ها از روش مقایسه زوجی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد.

جدول ۱- روش شناسی

۴- تفسیر و تجزیه و تحلیل داده ها

تجزیه و تحلیل داده ها به سازماندهی صحیح داده های جمع آوری شده با اهمیت واقعی کمک می کند. فرآیند تجزیه و تحلیل داده ها را می توان به عنوان فرآیندی مبهم، کثیف، وقت گیر، خلاقانه و جذاب توصیف کرد که نیاز به اعمال نوعی منطق در تحقیق دارد. محققین قاطعانه ادعا می کنند که تحلیل و تفسیر داده ها منعکس کننده کاربرد استدلال قیاسی و استقرایی در تحقیق است. این مطالعه هم از روش پدیدارشناختی و هم از دیدگاه عمل گرایانه به عنوان محور اصلی پژوهش خود استفاده می کند. محققان روش های کمی و کیفی را برای جمع آوری داده ها به صورت ترکیبی ترکیب کردند. در حالی که تحقیقات کیفی مفاهیم و نظریه های جدیدی را با ادغام مفاهیم تجربی و انتزاعی توسعه می دهد، تحقیقات کمی آمار را برای آزمایش یک فرضیه با استفاده از سازه های متغیر دستکاری می کند [۲۹]. علاوه بر این، محققان بسیار آشکار می سازند که منظور آنها از «داده»، اطلاعاتی است که به طور روشمند به دست آمده، مستند شده و سازماندهی شده است تا به خواننده اجازه دهد آن را به درستی درک کند. در نتیجه، به جای صرفاً تصادفی، اطلاعات در پاسخ به مشکلات خاصی که محقق می خواهد حل کند، جمع آوری می شود. دیدگاه ها، افکار و توصیه های ارائه شده توسط محققان و نویسندگان مختلف برای استفاده در این مطالعه بر اساس بحث تجزیه و تحلیل داده ها و تفسیر قبلی مهم تلقی شده است. در این بخش، محقق به تحلیل و تفسیر اطلاعات کیفی که برای مطالعه به دست آمده است، پرداخته است. مجموعه ای از سؤالات طراحی شده به طور خاص برای جمع آوری داده ها از طریق سازمان های تولیدی در پرسشنامه ها گنجانده شده است. درک موضوع یا پیگیری مفهوم مطرح شده توسط هدف مبتنی بر اطلاعات جمع آوری شده از طریق پاسخ به سؤالات است. نگرانی های اولیه تحقیق از طریق طراحی و روش تحقیق مورد توجه قرار گرفته و توضیح داده می شود. بخش فعلی به وضعیت TPM می پردازد و ارزیابی می کند که آیا شرکت ها دانش و عمل دارند یا خیر. دوم، بررسی می کند که آیا جنبه های عملی لازم در فرآیند تعمیر و نگهداری برای بهبود TPM گنجانده شده است یا خیر. داده ها با استفاده از روش پیمایش و مصاحبه جمع آوری شده است. متغیرهای عملکرد و عملکرد TPM شناسایی و برای این مطالعه بر اساس بررسی ادبیات و بحث با کارشناسان در بخش های تولیدی مورد توجه قرار گرفتند. هدف پرسشنامه اول سنجش میزان تبحر اصول TPM در بخش های مختلف تولید است. جمع آوری داده ها برای پرسشنامه دوم با استفاده از روش AHP انجام شد. هشت KPIS که بر استقرار TPM تأثیر دارند، از طریق بررسی ادبیات و همچنین داده های تجربی بر اساس مشاهدات انجام شده توسط پزشکان شناسایی شده اند. یافته های مطالعات تحقیقاتی فعلی توسط محققان که در ادبیات مستند شده اند برای ترسیم وزن های نسبی معیارهای مختلف عملکرد مورد استفاده قرار گرفتند. داده ها برای تعیین نسبت هر جزء TPM که در سازمان وجود دارد به دست آمد. این ارزیابی می کند که مدل ایجاد شده چقدر سودمند است. از پاسخ دهندگان خواسته شد تا اهمیت تسهیل کننده های ذکر شده را در مقیاس پنج درجه ای لیکرت رتبه بندی کنند. در این مقیاس، "کمترین تسهیل کننده" و "مهم ترین عامل توانمندسازی" به ترتیب ۱ و ۵ هستند. در مرحله اولیه، محقق در مجموع از ۱۴۸ سازمان درخواست کرد؛ ۸۳ پرسشنامه تکمیل و ۶۵ پرسشنامه نیمه

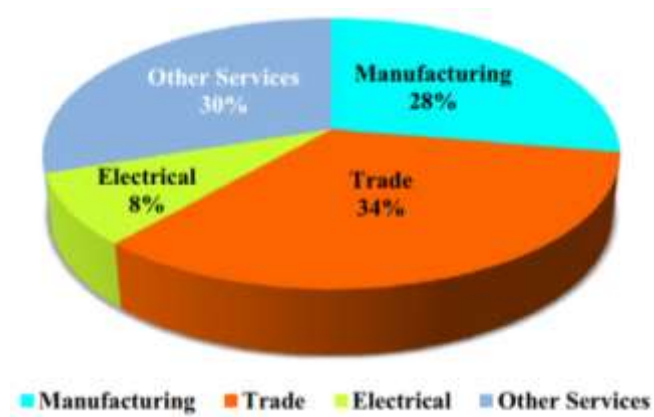
تکمیل شده دریافت شد؛ پرسشنامه های باقی مانده برای بررسی بیشتر حذف شدند. بنابراین، نرخ پاسخ کلی ۵۶,۰۸٪ بود و تنها پرسشنامه های کامل تکمیل شده برای تجزیه و تحلیل داده ها در نظر گرفته شد. از ۸۳ پاسخ، محقق دریافت که ۴۱ صنعت TPM را به طور کامل یا جزئی اجرا کرده اند و از آن آگاه بوده اند. مرحله دوم نظرسنجی شامل استفاده از روش های انتخابی برای جمع آوری پاسخ ها از ۴۱ سازمان توسط محقق بود. از ۴۱ نظرسنجی که در مرحله نهایی توزیع شد، ۱۸ پرسشنامه برگشت داده شد که ۲۳ پرسشنامه پاسخ داده نشده برای تجزیه و تحلیل حذف شد. از ۱۸ پرسشنامه ۸ پرسشنامه به طور کامل تکمیل نشدند و از بررسی بیشتر کنار گذاشته شدند. بنابراین، تنها ده نظرسنجی برای روش مقایسه عاقلانه زوجی (PCM) تحلیل AHP در نظر گرفته شد. این نتایج ۲۴,۳۹٪ نرخ پاسخ کلی را نشان می دهد. هنگام جمع آوری داده ها، محقق توجه زیادی به پاسخ دهنده می کند تا اطمینان حاصل کند که در پاسخ های آنها سوء تفاهم وجود ندارد. پایایی شاخص عملکرد با استفاده از تحلیل همسانی درونی و آلفای کرونباخ ارزیابی شد. پس از ارزیابی دقت تمام شاخص های عملکرد، وزن هر TPM KPIS با استفاده از PCM تجزیه و تحلیل AHP تعیین شد. کارشناسان در زمینه TPM برای ارزیابی سطح عملکرد شاخص انتخاب شدند. برای افزایش نرخ پاسخگویی به هر یک از کسب و کارها یک یادآوری ارسال شد و در موارد خاص تماس های شخصی نیز برقرار شد. برای نتایج نظرسنجی، نرخ پاسخ بیش از ۲۰ درصد ایده آل تلقی می شود [۴۹]. طبق گفته Malhotra و Grover [31]، ۲۰٪ از پاسخ دهندگان باید نظرسنجی ها را مثبت ارزیابی کنند. داده ها بر اساس پاسخ ها در بخش بعدی بررسی و ارائه شد.

۴-۱- روش های TPM و تجزیه و تحلیل عملکرد

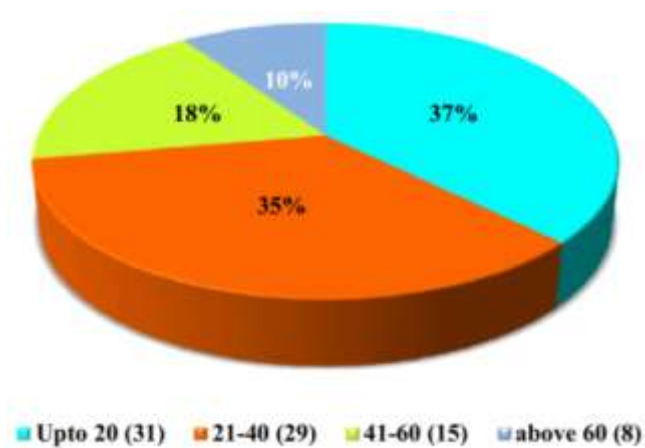
داده ها در دو مرحله جمع آوری شد. فاز اول داده های مربوط به ویژگی های سازمان، وضعیت فعلی TPM و ستون های TPM را جمع آوری می کند. پژوهش فاز دوم بر شرکت های خاصی متمرکز است که تجربه اجرای TPM را دارند و داده ها را برای ارزیابی سطح عملکرد متغیرهای مهم TPM جمع آوری می کند. در مرحله III، پاسخ دهنده توسط محقق به عنوان یک مرجع در TPM در نظر گرفته شد و پاسخ های آنها برای تجزیه و تحلیل AHP در نظر گرفته شد.

۴-۱-۱- پاسخ دهندگان هدف

فعالیت های مختلف تولید، فرآیند و خدمات مرتبط با بخش تولید متنوع است. صنایع تولیدی در حال گسترش دامنه فعالیت خود در سراسر بخش های اقتصادی هستند و طیف گسترده ای از کالاها و خدمات را برای برآوردن نیازهای بازار داخلی و بین المللی ایجاد می کنند. تولید، تجارت، برق و سایر خدمات برای دسته بندی سازمان های تولیدی مورد بررسی استفاده شد. محقق تلاش کرد تا بازخورد سازمان های تولیدی مختلف از جمله تولید مرتبط با تجارت، برق و غیره را جمع آوری کند. از مجموع پاسخ ها، بخش عمده تولید ۲۸ درصد، در حالی که تجارت، برق و سایر خدمات ۳۴ درصد، ۸,۴ درصد و ۳۰ درصد از کل پاسخ ها را به خود اختصاص داده اند. شکل ۱ پاسخ پرسشنامه مطالعه نظرسنجی را نشان می دهد.



شکل ۱- نمایش گرافیکی پاسخ دهندگان هدف



شکل ۲- نمایش گرافیکی کارکنان در سازمان های مورد مطالعه

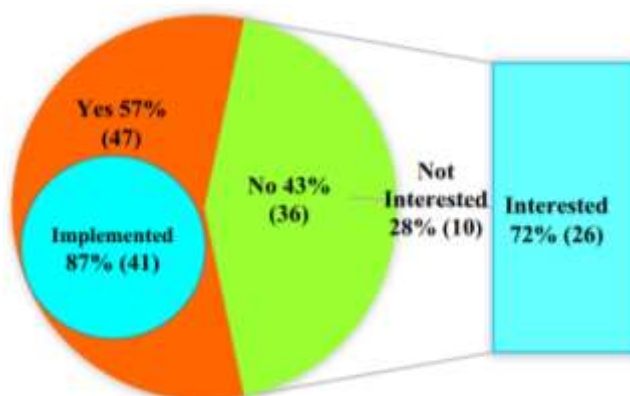
۴-۱-۲- اندازه شرکت ها

با توجه به فرصت های شغلی قابل توجهی که ارائه می دهد، صنعت تولید ضروری است. کسب و کارهای تولیدی می توانند شغل ایجاد کنند و به عنوان یک کاتالیزور برای توسعه اقتصادی عمل کنند. در این تحقیق ۳۱ صنعت با کارکنان زیر ۲۰ سال (۳۷٪)، ۲۹ صنعت با کارکنان بین ۲۱ تا ۴۰ سال (۳۵٪)، ۱۵ صنعت با کارکنان بین ۴۱ تا ۶۰ سال (۱۸٪) و ۸ شرکت با کارکنان بالای ۶۰ سال (۱۰٪) وجود دارد. شکل ۲ تعداد استخدام شرکت های مورد بررسی را نشان می دهد.

۴-۱-۳- دیدگاه های شرکت ها در مورد TPM

در حین بررسی مشاغل در مورد مشکلات مختلف TPM، مشخص شد که در حالی که ۴۳٪ از کارمندان هنوز از TPM بی اطلاع هستند، ۵۷٪ از پرسنل شرکت اطلاعی ندارند. تعداد کمی از آنها اما علاقه مند به پیاده سازی TPM در شرکت خود هستند. بر اساس این نظرسنجی، ۸۷ درصد از سازمان ها به طور کامل یا جزئی TPM را پذیرفته بودند. شکل ۳ نمایش گرافیکی این داده ها را نشان می دهد.

وضعیت آگاهی TPM



شکل ۳- نمایش گرافیکی آگاهی TPM

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، با اجرای TPM، ۴۱ صنعت برای تجزیه و تحلیل بیشتر در نظر گرفته شدند. تجزیه و تحلیل آگاهی و وضعیت TPM نیاز فوری به تاکید بر تحقیقات TPM و مدل کاشت آن را نشان می دهد.

۴-۱-۴- سطح ارکان TPM در شرکت ها

هشت مفهوم اصلی که TPM را می سازد به عنوان "هشت ستون" نامیده می شود. این مفاهیم پیشگیرانه هستند و به کارکنان این امکان را می دهند که در تعمیر و نگهداری روزمره ایستگاه کاری فعال باشند. در زیر خلاصه ای از ارکان TPM و اقدامات همراه آورده شده است.

۱. نگهداری و تعمیر خودمختار - به اپراتورها بر نگهداری و تعمیر معمولی که قبلاً توسط پرسنل نگهداری و تعمیر انجام می شد، اختیار می دهد. این حس مسئولیت پذیری شخصی را تشویق می کند و در عین حال به پرسنل نگهداری و تعمیر حرفه ای زمان بیشتری برای رسیدگی به مسائل پیچیده تر می دهد.

۲. بهبود متمرکز و مستمر - تیم هایی که بر بهبود مستمر متمرکز هستند، برای بهبود عملکرد تجهیزات و دستیابی به دستاوردهای کوچک اما قابل توجه با یکدیگر همکاری می کنند.

۳. نگهداری و تعمیر برنامه ریزی شده - می تواند در عملیات نگهداری و تعمیر عادی گنجانده شود و از خرابی جلوگیری می کند، که تجهیزات را در شرایط عملیاتی خوب نگه می دارد. برای جلوگیری از خرابی غیرمنتظره می توان کارهای نگهداری و تعمیر بزرگتری را برای زمانی که تجهیزات در حال استفاده نیستند، برنامه ریزی کرد.

۴. نگهداری و تعمیر کیفیت: با به حداقل رساندن یا حذف مسائل مربوط به فرآیند تولید، نگهداری کیفیت محصولاتی با بالاترین کیفیت ممکن تولید می کند. کارکنان باید از مراحل فرآیندی که بر کیفیت محصول تاثیر می گذارند و اینکه چگونه می توان آن مراحل را بهبود بخشید، آگاه باشند.

۵. نگهداری و تعمیر اولیه تجهیزات - استفاده از دانش و تکنیک های فعلی TPM، برنامه های نگهداری اولیه تجهیزات و انتظارات. قبل از هر گونه نصب، می توان با ارزیابی دانش عملی TPM پرسنل، آن را انجام داد.

۶. آموزش و تعلیم - ضرورت نگهداری و کاربرد عملی آن برای افزایش بهره وری در آموزش و پرورش مورد تاکید قرار گرفت.

۷. ایمنی، بهداشت و محیط زیست- ایجاد و حفظ یک محل کار ایمن و سالم هدف این رکن است. ایجاد یک محیط امن در حین استفاده از TPM ضروری است. برای دستیابی به صفر تصادف و صفر صدمات بهداشتی، ایمنی و سلامت محیط کار مورد بررسی قرار گرفت.

۸. TPM اجرایی و اداری - هدف اصلی این رکن افزایش بهره وری و اثربخشی در وظایف اداری است. باید بعد از چهار رکن اول راه اندازی شود و برای افزایش اثربخشی وظایف اداری و همچنین یافتن و رهایی از زیان ها تلاش شود. به عنوان وسیله ای برای کمک به کارخانه TPM، دفتر اصول TPM را برای وظایف اداری اعمال می کند. جدول ۲ نمای کلی از فهرست ستون ها و اقدامات مرتبط را ارائه می دهد. بر اساس این گزارش، تعداد کمی از کسب و کارها از ایده TPM استفاده کرده اند. بر اساس تجزیه و تحلیل ادبیات، یکی از راه های لنگر انداختن برنامه TPM ایجاد هشت ستون است [۱]. یافتن سطح هشت رکن TPM اولین مرحله در ایجاد این برنامه در سازمان است. پاسخ های افرادی که TPM را در سازمان های خود پذیرفته اند، جمع آوری شد تا میزان این برنامه در سازمان های تولیدی مشخص شود. برای دریافت پاسخ از پرسشنامه ساختاریافته استفاده شد. بر اساس این نظرسنجی، سه رکن TPM که بیشتر اجرا می شوند عبارتند از: «ایمنی، بهداشت و محیط زیست»، «TPM اجرایی و اداری» و «نگهداری کیفیت» به ترتیب با سطوح اجرای ۹۰،۲۴٪، ۸۰،۴۹٪ و ۶۵،۸۵ درصد. نگهداری و تعمیر اولیه تجهیزات کمترین میزان اجرا را دارد. برای سطوح TPM سطح نگهداری و تعمیر برنامه ریزی شده، آموزش و آموزش، نگهداری و تعمیر مستقل، و بهبود متمرکز و مستمر، دامنه ای از ۵۰٪ تا ۶۰٪ پیدا شد. شکل ۴ یک نمایش گرافیکی از سطح درصد کل سازمان مورد مطالعه برای ساخت ستون های TPM را نشان می دهد. تجزیه و تحلیل داده های ذکر شده نشان داد که بسیاری از سازمان های تولیدی علاقه مند به پیاده سازی TPM هستند اما به دلیل موانع متعدد در انجام این کار با مشکل مواجه هستند. از آنجایی که سازمان پیاده سازی شده توسط TPM در حین دستیابی به سطح ستون های TPM دارای موانعی است، شناخت این موانع و سطح اهمیت آنها بسیار مهم است. TPM طرز فکری است که به دنبال به حداقل رساندن هزینه ها و در عین حال بهبود کارایی و توانایی سازمان برای ارائه محصولات و خدمات با کیفیت است. اگرچه اجرای TPM دشوار است، اما مزایای آن قابل توجه است. اجرای موفق مستلزم زمان، پول و منابع مدیریت است. برای دستیابی به TPM،

سازمان در کل باید متعهد باشد. به صورت عمودی و افقی در تمام سطوح سازمانی باید جریان اطلاعات و ارتباطات نامحدودی وجود داشته باشد. برنامه ریزی نگهداری و استانداردسازی فرآیندها ضروری است. سازمان به طور کلی باید آموزش های گسترده ای در مورد TPM و مزایای آن دریافت کند. با تجزیه و تحلیل عناصر اصلی عملکرد TPM، به نظر می رسد که وضعیت فعلی فلسفه TPM در سازمان های تولیدی ممکن است بهبود یابد. تنظیم اولویت ها در حین اجرای TPM ممکن است با دادن وزن مناسب به هر TPM KPIS آسان تر شود. تجزیه و تحلیل نظرسنجی بعدی در این مطالعه، که به TPM KPIS مربوط می شود، در بخش دیگری مورد بحث قرار می گیرد.

۵- تجزیه و تحلیل داده های TPM-KPIS

TPM از دیدگاه سازمانی و شخصی ضروری است. تضمین خدمات و ایمنی بی عیب و نقص، کاهش نرخ شکست و در نهایت افزایش موفقیت و سود سازمانی به طور مستقیم یا غیرمستقیم به تعادل بین کار و زندگی سالم تر کمک می کند. موانع اصلی برای پذیرش TPM در صنایع تولیدی به عنوان فقدان تخصص TPM، فقدان رویه مدیریت نگهداری و تعمیر و عدم وجود یک دستورالعمل خاص TPM برای اجرای TPM تعیین شده است [۴۴]. ادبیات بررسی عوامل TPM موجود را ستوده است. انتخاب ویژگی ها پس از بررسی ادبیات و مشاوره با کارشناسان در طول سفر به صنایع مختلف انجام شد. داده های مربوط به وضعیت فعلی موضوع TPM در بخش اول پرسشنامه نظرسنجی جمع آوری شده است. این بخش شامل سوالات بسته در مورد عوامل فرعی TPM برای نشان دادن وسعت رویه های بخش های تولیدی برای ارزیابی قابلیت اطمینان عوامل کلیدی موفقیت است.

۵-۱- تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان TPM-KPIS

قابلیت اطمینان میزانی است که یک بررسی، مشاهده یا سایر روش های اندازه گیری همچنان نتایج یکسانی را در طول زمان ارائه می کند [۱۱]. اساساً، این ثبات یا ثبات نمرات در طول زمان است. اعتبار گویه های هر مؤلفه معنی دار با استفاده از تحلیل همسانی درونی با استفاده از آلفای کرونباخ ارزیابی شد. آلفای کرونباخ (α) با استفاده از فرمول زیر، با توجه به آلن و یین [۶] محاسبه می شود.

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum V_i}{Var(X)} \right)$$

این معادله نشان می دهد که n مورد یا سوال وجود دارد. تنوع امتیاز (V_i) مجموع واریانس آیتم های جداگانه برای هر آیتم یا سوال است. واریانس مرکب با $Var(X)$ نشان داده می شود.

S.N	ستون TPM	اقدامات مربوطه
ستون-۱	نگهداری مستقل (JISHU - HOZEN)	انتقال مسئولیت نگهداری معمول از پرسنل تعمیر و نگهداری به اپراتورها
ستون-۲	بهبود متمرکز و مستمر (KOBETSU KAIZEN)	تیم هایی که برای بهبود عملکرد تجهیزات با یکدیگر همکاری می کنند
ستون-۳	نگهداری و تعمیر برنامه ریزی شده	تغییر تلاش های تعمیر و نگهداری از واکنشی به فعالانه
ستون-۴	نگهداری با کیفیت	ایجاد محصول با بالاترین کیفیت احتمالاً با کاهش یا حذف مشکلات در فرآیند تولید
ستون-۵	نگهداری و تعمیر اولیه تجهیزات	استفاده از دانش و استراتژی های TPM موجود برای پیش بینی و برنامه ریزی

ستون-۶	آموزش و پرورش	آموزش کارگران نه تنها نحوه نگهداری تجهیزات، بلکه چرا تعمیر و نگهداری مهم است
ستون-۷	ایمنی، بهداشت و محیط زیست	ایجاد و حفظ محیط کار ایمن و سالم
ستون-۸	TPM اجرایی و اداری -	بهبود بهره وری و کارایی در وظایف اداری

جدول ۲- هشت رکن TPM

سطح ارکان TPM در سازمان های تولیدی



شکل ۴- سطح درصدی ستون های TPM

یک ابزار کاربردی و قابل انطباق برای بررسی قابلیت اطمینان یافته های آزمون آلفای کرونباخ (α) است. آلفای کرونباخ باید بزرگتر از ۰,۶ باشد تا قابل قبول در نظر گرفته شود [۲۶، ۴۱، ۴۵، ۴۶]. سازگاری داخلی با استفاده از آلفای کرونباخ ارزیابی می شود و دستورالعمل های زیر به طور کلی پذیرفته شده است. اگر مقدار کرونباخ ۰,۹ (α) باشد، سازگاری داخلی عالی است. سازگاری داخلی خوب زمانی که α بالای ۰,۸ باشد و اگر بزرگتر از ۰,۷ باشد قابل قبول است. زمانی که α در محدوده ۰,۶ تا ۰,۵ باشد، سازگاری داخلی مشکوک است در غیر این صورت غیرقابل قبول است. هشت معیار عملکرد و عوامل فرعی مربوط به TPM با استفاده از عوامل متعدد بر روی تکنیک های TPM ارائه شده توسط محققان مختلف ایجاد شد. گروه های منتخب از کارشناسان TPM، عوامل فرعی را که برای این مطالعه یافت شد به صورت دوگانه نمره گذاری کردند. در برگیرنده امتیاز پاسخ، یک تحلیل سازگاری درونی انجام شد و صحت آن با محاسبه آلفای کرونباخ تأیید شد. یافته های تحلیل سازگاری داخلی برای معیارهای عملکرد TPM در جدول ۳ نشان داده شده است. آزمایش آماری قابلیت اطمینان اجزای پیدا شده را نشان داد. برای هر TPM-KPI که در نظر گرفته شد، امتیازات قابلیت اطمینان بالاتر از مقدار مجاز بود. برای عوامل موفقیت مهم مورد بررسی، مقادیر آلفای کرونباخ از ۰,۶۰۲ تا ۰,۸۰۷ متغیر است. بنابراین مشخص شد که هر شاخص عملکرد به طور دقیق به مقیاس مربوط به خود اختصاص داده شده است. پس از ارزیابی قابلیت اطمینان، محقق استفاده از رویکرد مقایسه زوجی ایجاد شده توسط ساعتی [۴۰] که به AHP معروف است برای ارزیابی معیارهای مختلف به ترتیب نزولی مربوط به آنها استفاده کرد و پرسشنامه ای مطابق با آن ایجاد شد. محقق این رتبه بندی را انتخاب کرد زیرا تحلیل همسانی درونی نشان داد

که همه عناصر مهم قابل اعتماد هستند. داده های این پرسشنامه جمع آوری شد و سپس با استفاده از رویکرد AHP مورد ارزیابی قرار گرفت. مرحله بعدی در رسیدن به هدف تحقیق، تعیین اهمیت عوامل حیاتی برای شناخت حوزه های کلیدی بود.

۲-۵- تجزیه و تحلیل AHP

روش مقایسه جفتی در تحلیل AHP برای مقایسه معیارها و رتبه بندی آنها به ترتیب ارتباط PCM استفاده می شود. یک پرسشنامه خوب طراحی شده توسط هشت کارشناس TPM برای جمع آوری داده ها برای تجزیه و تحلیل AHP تکمیل شد که برای تعیین وزن شاخص های عملکرد استفاده شد. محقق تعیین کرد که هر یک از این صنایع تا چه اندازه معیارهای متفاوتی را که ایجاد کرده بودند به کار می برند. نقطه قوت تحقیق این است که پاسخ های پرسشنامه عینی بوده است زیرا محقق به آنها اطلاع نداده است که سوالات مربوط به حوزه TPM است. با توجه به تست کور فوق الذکر، شرکت ها هرگز در مورد اصطلاحات TPM نشنیده بودند. نتیجه گیری و توصیه های محقق باید قابل اعتماد و عینی باشد.

S.N	معیارهای عملکرد GSCM	تعداد کل از اقلام	آلفای کرونباخ (α)
۱	IP: بهبود بهره وری	۵	۰.۷۱۲
۲	IQ: بهبود کیفیت	۴	۰.۶۹۲
۳	RC: کاهش هزینه	۵	۰.۶۷۲
۴	DP: عملکرد تحویل	۳	۰.۶۰۲
۵	SH: ایمنی و سلامت	۳	۰.۶۴۲
۶	MO: روحیه	۵	۰.۶۷۷
۷	WE: محیط کار	۵	۰.۸۰۷
۸	CA: مزیت های رقابتی	۳	۰.۶۸۴

جدول ۳- نتیجه تجزیه و تحلیل سازگاری داخلی TPM-KPIs

هشت ویژگی که بر اجرای TPM تأثیر دارند از طریق مرور ادبیات شناسایی شدند و تلاش شد تا آنها با شواهد تجربی بر اساس بازتاب های پزشکان ترکیب شوند. همچنین برخی از مسائل جاری در مطالعه TPM را حل می کند و می تواند برای شناسایی عنصر محیطی مورد نیاز برای اجرای موثر TPM استفاده شود. مقیاس ۹ نقطه ای پایه اعداد مطلق AHP و Saaty [۴۰] هر دو برای ساخت ماتریس مقایسه جفتی چارچوب پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفتند. مقیاس ساعتی نشان می دهد که وزن یک معیار از دیگری چقدر بیشتر است. با ایجاد یک نسبت سازگاری (CR) برای هر پاسخ در طول این مرحله مطالعه، سازگاری پاسخ ها مشخص شد. برای محاسبه وزن نهایی شاخص های عملکرد از میانگین هشت پاسخ استفاده شد. جدول ۴ یک نمای کلی از میانگین وزن KPI های TPM و KPI های فرعی TPM ارائه می دهد.

صفت	وزن در مقیاس ۱ امتیازی	وزن در مقیاس ۱۰۰۰ امتیازی	رتبه
IP	۰.۲۳۵	۲۳۵	۲
IQ	۰.۳۶۴	۳۶۴	۱
RC	۰.۱۱۹	۱۱۹	۳
DP	۰.۰۸۲	۸۲	۴
MO	۰.۰۴۸	۴۸	۷
SH	۰.۰۵۷	۵۷	۵

WE	۰.۰۴۹	۴۹	۶
CA	۰.۰۴۷	۴۷	۸

جدول ۴- رتبه بندی و وزن TPM-KPI

۶- یافته ها و بحث

شاخص ترین معیارها، بهره وری و بهبود کیفیت بالاترین وزن های ۳۶۴ و ۲۳۵ را داشتند. این نتیجه با یافته های تحقیقاتی اتی و همکاران [۱۵]، کودالی و چاندرا [۲۷] و کالپاند و همکاران [۲۵] مطابقت دارد. این یافته های مطالعه را تقویت می کند. شاخص های TPM کاهش هزینه، عملکرد تحویل، بهبود محیط کار و ایمنی و سلامت را با وزن های ۱۱۹، ۸۲، ۵۷ و ۴۸ به ترتیب در رتبه های سوم، چهارم، پنجم و ششم قرار داده اند. این عناصر مهم همچنین به عنوان اولویت خط دوم در گزارش مطالعه احمد و کارمکر [۲] شناسایی شدند. گزارش مطالعه توسط Eti و همکاران [۱۵] از اهمیت شاخص عملکرد TPM " کاهش هزینه " پشتیبانی می کند. در این حالت TPM، مولفه ای که باعث تقویت روحیه و مزیت های رقابتی می شود، کمترین وزن را دارد و کمترین اولویت را دارد. محققان تریپاتی [۴۸]، نالوسامی [۳۵] نیز هنگام انجام مطالعات TPM خود، بهبود روحیه را در نظر گرفتند. بسیاری از شاخص های عملکرد مورد مطالعه TPM نیز توسط کودالی و چاندرا [۲۷] و پای و همکاران [۳۸] پشتیبانی می شوند. از توضیحات بالا می توان نشان داد که نتایج مدل با مطالعات قبلی مطابقت دارد. یکی دیگر از ویژگی های این مطالعه این است که تا چه اندازه نتایج مدل TPM توسط تحقیقات قبلی روی مدل پشتیبانی می شود. مقدار شاخص هر جزء باعث می شود که در جایی که نیاز به بهبود است، کاملاً واضح باشد. بنابراین، این مدل به عنوان راهنمای برنامه بهبود و همچنین ابزاری برای مقایسه عملکرد کلی TPM عمل می کند. وزن ها و رتبه بندی های نهایی برای هر جزء حیاتی، همانطور که با مقایسه زوجی با استفاده از روش AHP تعیین می شود، در جدول ۴ نشان داده شده است. این تحقیق بهبود جهت استراتژی تولید و شیوه های TPM را برجسته می کند که با برانگیختن چارچوب وزنی ویژگی های TPM در بالا منجر به مزیت رقابتی می شود. پیش بینی می شود که هم محققان و هم متخصصان به طور قابل توجهی تحت تأثیر یافته های این مطالعه قرار گیرند. این مطالعه به طور کلی به خوانندگان درک بهتری از اجزای مختلف مهم TPM و نحوه تأثیر آنها بر کارایی تولید می دهد. معیارهای وزن چارچوب پیشنهادی TPM برای خوانندگانی که می خواهند افق مطالعه خود را در این زمینه جذاب گسترش دهند و همچنین برای کسانی که قبلاً به این موضوع نگاه کرده اند، هرچند به صورت محدود یا منزوی، بسیار مفید خواهد بود. موارد زیر تنها تعدادی از مشارکت های بسیاری است که پیش بینی می شود این مطالعه در زمینه TPM ارائه کند:

۱. استفاده از TPM برای نشان دادن اهمیت جهت گیری استراتژی تولید و تأثیر آن بر یک شرکت یا سازمان.
۲. برای ایجاد یک دستورالعمل برای پذیرش TPM در سازمان های تولیدی، درک بهتر ارتباط بین شاخص های عملکرد مختلف و وزن شناخته شده آنها مفید است.
۳. شاخص عملکرد TPM IQ و IP به عنوان دو ویژگی مهم در بین ۸ عامل و سایر متغیرها در نظر گرفته شده است.
- عناصر CA و MO کمترین درجه اهمیت را دریافت کرده اند.
۴. بررسی اهمیت تطبیق طرح کسب و کار با محیط کار و استراتژی عملکرد.

۵. ایجاد یک چارچوب تحقیقاتی یکپارچه که توسعه نظری چارچوب‌های مختلف را بر پایه‌ای مستدل و محکم ممکن می‌سازد، و محققان را قادر می‌سازد صحت رابطه بین طرح‌های مختلف کیفیت و نگهداری و همچنین تأثیرات آن‌ها را بر عملکرد کسب‌وکار آزمایش کنند.

۷- نکته پایانی

هدف این مطالعه شناسایی استراتژی‌ها و تاکتیک‌های اجرای شیوه‌های TPM در بخش صنعتی است. اگرچه اجرای TPM دشوار است، اما مزایای آن قابل توجه است. وضعیت فعلی صنایع تولیدی برای تشخیص مناسب مشکل اجرای TPM مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که تعهد مدیریت و ارتباطات باز برای پذیرش موفقیت‌آمیز TPM بسیار مهم است. برای به حداکثر رساندن مزایای پذیرش TPM، باید از رویه‌های برنامه ریزی شده و استاندارد پیروی کرد و آموزش‌های عمیق TPM را دریافت کرد. با تعریف حوزه‌های ضروری TPM، محقق معتقد است که وضعیت فعلی فلسفه TPM در شرکت‌های تولیدی ممکن است بهبود یابد. محققان هشت شاخص عملکرد TPM و سیزده عامل فرعی آن‌ها را برای استفاده کارآمد از روش‌های TPM بر اساس بررسی ادبیات و بحث با متخصصان صنعت توصیه می‌کنند. با تعیین مقدار آلفای کرونباخ، اعتبار عوامل حیاتی شناسایی شده مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که همه عوامل به دلیل محدوده مجاز "آلفای کرونباخ" $0.6 < \alpha < 0.8$ قابل اعتماد هستند. شاخص‌های کلیدی عملکرد تحلیل شده در مقدار آلفای کرونباخ از 0.602 تا 0.807 متغیر بودند. اهمیت نسبی TPM-KPI با استفاده از تکنیک AHP، که به تعیین میزان تأثیر استقرار TPM بر عملکرد تجاری کمک می‌کند، ارزیابی شد. این به مکان‌یابی مناطق مشکل دار و راه حل‌هایی برای رفع مشکلات کمک می‌کند. بر اساس گزارش مطالعه، مهم‌ترین ویژگی‌ها، بهره‌وری و بهبود کیفیت است که بالاترین وزن‌های 0.364 و 0.235 را در مقیاس هزار امتیازی دریافت کرد. از سوی دیگر، شاخص عملکرد روحیه و مزیت‌های رقابتی، کمترین وزن را دریافت کرده و در این مدل TPM کمترین اولویت را دارد. مقدار شاخص هر جزء باعث می‌شود که در جایی که نیاز به بهبود است، کاملاً واضح باشد. علاوه بر این، اشاره شده است که نتایج مدل با مطالعات قبلی مطابقت دارد.

۸- محدودیت‌ها و دستورالعمل‌ها برای تحقیقات آینده

فقط صنایع مرتبط با تولید در زمینه هند موضوع این مطالعه است. پس از شناسایی معیارهای کلیدی موفقیت، این روش یا مدل TPM را می‌توان گسترش داد و در سایر بخش‌ها اعمال کرد. مطالعه فوق نشان می‌دهد که مطالعه حاضر هیچ نوع تحلیل روایی انجام نمی‌دهد. بنابراین، اعتبار سنجی چارچوب با استفاده از روش بررسی پرسشنامه برای بررسی اینکه آیا برای استقرار مناسب است یا خیر، بسیار مهم است. توسعه بیشتر یک رویکرد استقرار تصفیه شده برای چارچوب پیشنهادی برای استفاده در بسیاری از بخش‌ها امکان‌پذیر است. ستون‌های بیان شده و چارچوب مفهومی پیشنهادی برای TPM ممکن است توسط محققان آینده با استفاده از رویکردهای اکتشافی مانند تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی مورد بررسی قرار گیرد. درک محققین از مجموعه منسجمی از مؤلفه‌ها که ممکن است برای ساخت چارچوب‌های خاص برای بخش معینی از سازمان‌های تولیدی مورد استفاده قرار گیرند، بدون شک در نتیجه این فعالیت بهبود خواهد یافت.

منابع

1. Ahmed, S., Hassan, M.H.J., Taha, Z.: TPM can go beyond maintenance: except from a case implementation. *J. Qual. Maint. Eng.* 11(1), 19–42 (2005)
2. Ahmed, S.M., Karmaker, C.M.: A critical success factors model for total productive maintenance in manufacturing industry. *Int. J. Adv. Sci. Res.* 4(6), 37–45 (2019)
3. Ahuja, I.P.S., Khamba, J.S.: An evaluation of TPM implementation initiatives in an Indian manufacturing enterprise. *J. Qual. Maint. Eng.* 13(4), 338–352 (2007)
4. Ahuja, I.P.S., Khamba, J.S.: Assessment of contributions of successful TPM initiatives towards competitive manufacturing. *J. Qual. Maint. Eng.* 14(4), 356–374 (2008)
5. Ali, N., Mohamed Isa, Z., Abu Bakar, S., Ahmad Jali, F., Shaharruddin, S.: Industrial revolution (IR) 4.0: opportunities and challenges in online business. In: *Proceedings 2022*, vol. 82, p. 85. MDPI, Basel, Switzerland (2022). <https://doi.org/10.3390/proceedings2022082085>
6. Allen, M.J., Yen, W.M.: Introduction to measurement theory. Brooks/Cole Pub. Co., Monterey, Calif (1979)
7. Arunraj, K., Maran, M.: A review of tangible benefits of TPM implementation. *Int. J. Appl. Sci. Eng. Res.* 3(1), 171–176 (2014)
8. Badr, E., Anwar, M., E-n, Ahmed, Ahmed, M.: Towards a new model of industrial performance improvement for SMEs: a case study of TPM implementation in an industrial SME. *Int. J. Process Manag. Benchmark.* 9(4), 547 (2019)
9. Balouei Jamkhaneh, H., Khazaei Pool, J., Khaksar, S.M.S., Arabzad, S.M., Verij Kazemi, R.: Impacts of computerized maintenance management system and relevant supportive organizational factors on total productive maintenance. *Benchmark. Int. J.* 25(7), 2230–2247 (2018)
10. Bartz, T., Cezar, M.S., Paula, B.B.: Improvement of industrial performance with TPM implementation. *J. Qual. Maint. Eng.* 20(1), 2–19 (2014)
11. Bolarinwa, O.K.: Principles and methods of validity and reliability testing of questionnaires used in social and health science researches. *Niger. Postgrad. Med. J.* 22(04), 195–201 (2015)
12. Cardoso, S., de Almeida, C.M.V.B., Pinto, M.J.A., Jr. Jr., Contador, J.C., Giannetti, B.F., de Lima, A.F., Fragomeni, M.A.: Industry 4.0 implementation: the relevance of sustainability and the potential social impact in a developing country. *J. Clean. Prod.* (2022) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130456>
13. Chaabane, K., Schutz, J., Dellagi, S., Trabelsi, W.: Analytical evaluation of TPM performance based on an economic criterion. *J. Qual. Maint. Eng.* (2020). <https://doi.org/10.1108/JQME-08-2019-0085>
14. Chaurey, S., Kalpande, S.D., Gupta, R.C., Toke, L.K.: A review on the identification of total productive maintenance critical success factors for effective implementation in the manufacturing sector. *J. Qual. Maint. Eng.* (2021). <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0118>
15. Eti, M.C., Ogaji, S.O.T., Probert, S.D.: Maintenance schemes and their implementation for the thermal-power station. *Appl. Energy* 82(2005), 255–265 (2006)
16. Gardas, B.B., Raut, R.D., Narkhede, B.E.: Analyzing the 3PL service provider's evaluation criteria through a sustainable approach. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 68(5), 958–980 (2019)
17. Gosavi, A.: A risk sensitive approach to total productive maintenance. *Automatica* 42, 1321–1330 (2006)
18. Haddad, T.H., Jaaron, A.A.M.: The applicability of total productive maintenance for healthcare facilities: an implementation methodology. *Int. J. Bus. Humanit. Technol.* 2(2), 148–155 (2012)
19. Ireland, F., Dale, B.G.: A study of total productive maintenance implementation. *J. Qual. Maint. Eng.* 7(3), 183–191 (2001)
20. Jaaron, A., Backhouse, C.: Value-adding to public services through the adoption of lean thinking. *Int. J. Serv. Sci. Manag. Eng. Technol.* 2(3), 33–50 (2011)
21. Jain, V., Ajmera, P.: Evaluation of performance factors of FMS by combined decision making methods as AHP, CMBA and ELECTRE methodology. *Manag. Sci. Lett.* 9(4), 519–534 (2019)
22. Jain, V., Ajmera, P.: Modelling the enablers of industry 4.0 in the Indian manufacturing industry. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 70(6), 1233–1262 (2021)

23. Jain, V., Raj, T.: Modeling and analysis of FMS flexibility factors by TISM and fuzzy MICMAC. *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.* (2015). <https://doi.org/10.1007/s13198-015-0368-0>
24. Johansson, B., Nord, C.: TPM-one way to increased competitiveness: examples from a medium sized company, (in Swedish). IVF-Skrift 96849, 16 (1996)
25. Kalpande, S.D., Gupta, R.C., Dandekar, M.D.: Framework of TQM implementation in small businesses of an industrially backward region: a concept. *Perform. Improv. J.* 51(7), 07–13 (2012)
26. Kalpande, S.D., Toke, L.K.: Reliability analysis and hypothesis testing of critical success factors of total productive maintenance. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* (2022). <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2021-0068>
27. Kodali, R., Chandra, S.: Analytical hierarchy process for justification of TPM. *Prod. Plan. Control* 12(7), 695–705 (2001)
28. Kordi, M.: Comparison of fuzzy and crisp analytic hierarchy process (AHP) methods for spatial multicriteria decision analysis in GIS. Master's Thesis in Geomatics. Department of Technology and Built Environment, University of Gavle (2008)
29. Kreuger, L., Neuman, W.L.: *Social Work Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches: With Research Navigator*. Pearson/Allyn and Bacon, Boston (2006)
30. Kumar, J., Soni, V.K., Agnihotri, G.: Impact of TPM implementation on Indian manufacturing industry. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 63(1), 44–56 (2014)
31. Malhotra, M.K., Grover, V.: An assessment of survey research in POM: from constructs to theory. *J. Oper. Manag.* 16(4), 407–425 (1998)
32. Mobley, R.K.: *An Introduction to Predictive Maintenance*. Van Nostrand Reinhold, New York (2009)
33. Murata, K., Harrison, A.: How to make Japanese management methods work in the West, p. 42. Aldershot, Glover (1991)
34. Nakajima, S.: *Introduction to total productive maintenance*. Productivity Press, Cambridge, MA (1988)
35. Nallusamy, S., Majumdar, G.: Enhancement of overall equipment effectiveness using total productive maintenance in a manufacturing industry. *Int. J. Perform. Eng.* 13(02), 173–188 (2017)
36. Narkhede, B.E.: Advance manufacturing strategy and firm performance: an empirical study in a developing environment of small and medium-sized firms. *J. Benchmark. Int. J.* 24(1), 62–101 (2017)
37. Omar, M.B.: The implementation of TPM at high volume company. Bachelor Degree Thesis, Universiti Teknikal Malaysia, Melaka (2007)
38. Pai, M.P., Ramachandra, C.G., Srinivas, T.R., Raghavendra, M.J.: A study on usage of total productive maintenance (TPM) in selected SMEs. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 376, 012117 (2018)
39. Ryan, T.: Making best use of computing resources wherever they are, INTECH-official publication of the International Society of Automation, vol. 69, no. 04, pp. 27–29. < Retrieved from <https://www.isa.org/getmedia/f8563395-31cf-4f86-ba9a-46dda408ace3/InTech-August-2022.pdf> (2022)
40. Saaty, T.L.: Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* 1(1), 16 (2008)
41. Sarode, A.D., Bhaskarwar, V.S.: Development and evaluation of performance measure for the environmental management in Indian industries. *Ind. Eng. J.* 2, 31–34 (2011)
42. Shen, C.: Discussion on key successful factors of TPM in enterprises. *J. Appl. Res. Technol.* 13, 425–427 (2015)
43. Suresh, P.K.: TPM implementation in a food industry-A PDCA approach. *Int. J. Sci. Res. Publ.* 2(11), 01–09 (2012)
44. Tian Xiang, Z., Jeng Feng, C.: Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium sized enterprise. *J. Ind. Eng. Manag.* 14(2), 152–175 (2021)
45. Toke, L.K., Kalpande, S.D.: A framework of enabler's relationship for implementation of green manufacturing in Indian context. *Int. J. Sustain. Dev. World* 25(4), 303–311 (2018)
46. Toke, L.K., Kalpande, S.D.: Critical success factors of green manufacturing for achieving sustainability in Indian context. *Int. J. Sustain. Eng.* 12(6), 415–422 (2019). <https://doi.org/10.1080/19397038.2019.1660731>

47. Toke, L.K., Kalpande, S.D.: Total quality management in small and medium enterprises: An overview in Indian context. *Qual. Manag. J.* 27(3), 159–175 (2020). <https://doi.org/10.1080/10686967.2020.1767008>
48. Tripathi, D.: Influence of experience and collaboration on effectiveness of quality management practices: the case of Indian manufacturing. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 54(1), 23–33 (2005)
49. Yu, J., Cooper, H.: Aquantitative review of research design effects on response rates to questionnaires. *J. Market. Res.* 36, 36–44 (1983)