

Designing a Total Productive Maintenance (TPM) Management Model Using a Combined Approach of Factor Analysis and Interpretive Structural Modeling (ISM) in the Power Distribution Companies of Northwest Iran

1. Hadi Golnahali^{ID}: Department of Management, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Yaghoob Alavimatin^{ID*}: Department of Management, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran

3. Farhad Nejad Irani^{ID}: Department of Management, Bon.C., Islamic Azad University, Bonab, Iran

3. Sirus Fakhimiazar^{ID}: Department of Management, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran

*Corresponding Author's Email Address: 1376479451@iau.ac.ir

Abstract:

The aim of this study is to design a Total Productive Maintenance (TPM) management model using a combined approach of factor analysis and Interpretive Structural Modeling (ISM) in the power distribution companies of northwest Iran. This research is conducted within the power distribution companies of the northwest region, selected as the pilot area. Identifying the optimal maintenance strategy and selecting the most effective TPM management model are of significant importance. The results of this research will be provided to Tavanir and the Ministry of Energy for potential implementation in other affiliated companies. From a spatial perspective, the quantitative data pertains to operational data from the power distribution companies in the northwest region. The statistical population includes both experts and the self-assessment segment of all specialists and maintenance, repair, and warehouse personnel within these companies. Temporally, the data includes operational records from the inventory, accounting, and process systems of the power distribution companies for the years 2017 to 2022. The findings of this study indicate that the initiation of the TPM process should begin with enhanced management and leadership in maintenance and repair, followed by attention to reliability improvement, feedback and system outcomes, human resources and employee skills, and quality preservation in the process of preventive maintenance. Additionally, work processes, organizational structuring, task force formation, planned preventive maintenance, safety and health preservation, equipment and warehouse management, resource and contract management, adoption of preventive maintenance technologies, expansion of automation systems, self-controlled maintenance and repair, and ultimately, understanding the appropriate framework for TPM in power distribution companies—based on the insights of experts and system specialists—should be considered.

Keywords: Interpretive Structural Modeling (ISM), Structural Equation Modeling, Total Productive Maintenance (TPM), Power Distribution Companies of Northwest Iran

How to Cite: Mirzaei, H., Alidoust Ghahfarokhi, E., & Hamidi, M.. (2025). Designing a Total Productive Maintenance (TPM) Management Model Using a Combined Approach of Factor Analysis and Interpretive Structural Modeling (ISM) in the Power Distribution Companies of Northwest Iran. *Management, Education and Development in Digital Age*, 2(1), 88-108.



طراحی الگوی مدیریت نگهداری و تعمیرات بهرور فراگیر (TPM) با استفاده از ترکیب روش‌های تحلیل عاملی و مدل سازی ساختاری و تفسیری ISM در شرکت‌های توزیع برق شمال غرب کشور

۱. هادی گل نهالی^۱؛ گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۲. یعقوب علوی متین^۲؛ گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۳. فرهاد نژاد ایرانی^۳؛ گروه مدیریت، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران.

۳. سیروس فخمی آذر^۳؛ گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: 1376479451@iau.ac.ir

چکیده

هدف از این پژوهش، طراحی الگوی مدیریت نگهداری و تعمیرات بهرور فراگیر (TPM) با استفاده از ترکیب روش‌های تحلیل عاملی و مدل سازی ساختاری و تفسیری ISM در شرکت‌های توزیع برق شمال غرب کشور است. این پژوهش در شرکت‌های توزیع برق شمال غرب کشور که به عنوان پایلوت انتخاب گردیده است، انجام می‌گیرد. تعیین راهبرد نگهداری تعمیرات بهینه و همچنین انتخاب بهترین الگو استراتژی مدیریت نت بسیار حائز اهمیت می‌باشد و نتایج حاصل این پژوهش در اختیار توانیر و وزارت نیرو جهت تسری به سایر شرکت‌های زیر مجموعه قرار خواهد گرفت. از نظر مکانی داده‌های کمی، مختص داده‌های عملیاتی شرکت‌های توزیع نیروی برق شمال غرب کشور بوده و از نظر جامعه آماری خبرگان و همچنین جامعه آماری بخش خود ارزیابی کل خبرگان و پرسنل نگهداری تعمیرات و انبار شرکت‌های توزیع نیروی برق شمال غرب کشور را در بر می‌گیرد. داده‌ها از نظر زمانی مربوط به داده‌های عملیاتی سالهای ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۱ سامانه انبار، حسابداری و فرآیندهای شرکت‌های توزیع نیروی برق شمال غرب کشور می‌باشند. در نتیجه این تحقیق خروجی‌ها چنین نشان دادند که جهت شروع فرآیند نگهداری بهره‌ور باید در اول با مدیریت و رهبری ارتقاء یافته در نگهداری و تعمیرات شروع شده و با بهبود قابلیت اطمینان و بازخورد و نتایج سیستم، منابع انسانی و مهارت کارکنان و حفظ کیفیت در روند تعمیرات پیشگیرانه را مورد توجه قرارگیرد. همچنین فرآیندهای کاری، سازماندهی، تشکیل کارگروه‌ها، تعمیرات پیشگیرانه برنامه ریزی شده، حفظ ایمنی و سلامت، مدیریت تجهیزات و انبارها، مدیریت منابع و قراردادها، پذیرش تعمیرات پیشگیرانه و فناوری و گسترش سیستم‌های اتوماسیون، نگهداری و تعمیرات خود کنترلی و نهایتاً شناخت برای نگهداری و تعمیرات مناسب (TPM) در شرکت‌های توزیع برق و استفاده نخبگان و کارشناسان سیستم‌ها مورد نظر باشند.

کلیدواژه‌گان: مدل سازی ساختاری و تفسیری ISM، معادلات ساختاری، مدیریت نگهداری و تعمیرات بهرور فراگیر (TPM)، شرکت‌های توزیع برق شمال

نحوه استناددهی: گل نهالی، هادی، علوی متین، یعقوب، نژاد ایرانی، فرهاد، فخمی آذر، سیروس. (۱۴۰۴). طراحی الگوی مدیریت نگهداری و تعمیرات بهرور فراگیر (TPM) با استفاده از ترکیب روش‌های تحلیل عاملی و مدل سازی ساختاری و تفسیری ISM در شرکت‌های توزیع برق شمال غرب کشور. نشریه مدیریت، آموزش و توسعه در عصر دیجیتال، ۱(۲)، ۸۸-۱۰۸.



با پیچیده‌تر شدن زیرساخت‌های صنعتی و توسعه فناوری‌های تولید، نیاز به افزایش کارایی سیستم‌های نگهداری و تعمیرات به یکی از اولویت‌های اصلی سازمان‌های صنعتی بدل شده است. در این میان، رویکرد نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM)، به عنوان یکی از مؤثرترین نظام‌های مدیریت دارایی فیزیکی، مورد توجه گسترده محققان و متخصصان قرار گرفته است (Reyes et al., 2018; Tian & Jeng Feng, 2021). تلاش دارد تا با مشارکت کلیه واحدها و بهره‌گیری از ابزارهای پیشگیرانه و پیشگویانه، اثربخشی تجهیزات را به حداکثر برساند و از بروز خرابی‌های ناگهانی جلوگیری کند (Mostafavi & Tabani, 2018; Yang & Yang, 2023).

بر اساس مطالعات انجام‌شده، پیاده‌سازی موفق TPM مستلزم طراحی مدلی متناسب با ساختار فنی و سازمانی هر صنعت است که بتواند عوامل کلیدی موفقیت را شناسایی کرده و تعامل آن‌ها را به‌درستی مدل‌سازی کند (Samsudin & Hasanani, 2017; Sharafat et al., 2017). در این راستا، استفاده از روش‌های آماری و مدل‌سازی ساختاری همچون تحلیل عاملی تأییدی (CFA) و مدل‌سازی ساختاری-تفسیری (ISM) می‌تواند در شناسایی متغیرهای نهفته و ساخت روابط علی میان آن‌ها نقش بسزایی ایفا کند (Itxaro Errandonea et al., 2022; Shams & Alibeig, 2016).

ریشه در فلسفه‌های کیفیت‌گرا مانند تولید ناب و مدیریت کیفیت جامع دارد و هدف آن، کاهش اتلافات، افزایش عمر مفید تجهیزات و بهبود بهره‌وری منابع انسانی است (Chukwutoo et al., 2018; Heydarzadeh et al., 2013). مزایای TPM تنها به بعد فنی محدود نمی‌شود، بلکه تأثیر آن در ابعاد اقتصادی، منابع انسانی و حتی ایمنی نیز مشهود است (Jambadu et al., 2024; Liang Yang et al., 2022). بر این اساس، ایجاد ساختارهای مدیریتی توانمند و بهره‌گیری از منابع انسانی ماهر، از ارکان اساسی در موفقیت این رویکرد به شمار می‌آیند (Sayyah et al., 2018; Yang & Yang, 2023).

تحقیقات پیشین بر لزوم تدوین مدل‌های بومی‌سازی‌شده تأکید کرده‌اند؛ مدل‌هایی که نه تنها بتوانند ویژگی‌های فنی صنعت را لحاظ کنند، بلکه قابلیت سازگاری با ساختار فرهنگی و سازمانی کشور را نیز داشته باشند (Kabir & Hasin, 2013; Taheri & Babaeianpour, 2016). به‌طور خاص در صنعت توزیع برق، که دارای پیچیدگی‌های خاص عملیاتی و پویایی بالای شبکه است، طراحی یک مدل علمی و اجرایی TPM می‌تواند در ارتقای بهره‌وری و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات مؤثر باشد (Majidi, 2021; Shams & Alibeig, 2016).

در ایران، مطالعات متعددی در زمینه طراحی مدل‌های نگهداری و تعمیرات انجام شده است که بسیاری از آن‌ها بر اساس الگوهای سنتی و بدون بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی مدرن بوده‌اند (Rashidi & Ghasemi, 2017; Taheri & Babaeianpour, 2016). در حالی که مدل‌های نوین همچون TPM نیازمند تحلیل دقیق تعامل بین مؤلفه‌هایی نظیر مدیریت، منابع انسانی، فناوری، ایمنی و بازخوردهای عملکردی هستند (Campbell et al., 2015; Jardine & Tsang, 2013). برای پاسخ به این نیاز، رویکردهای چندمرحله‌ای مبتنی بر روش‌های آماری و ساختاری پیشنهاد شده‌اند که امکان تحلیل سلسله‌مراتبی و استخراج اولویت‌بندی بین متغیرها را فراهم می‌سازند (Arts, 2013; Van Horenbeek et al., 2013).

از منظر روش‌شناسی، ترکیب تحلیل عاملی با ISM این امکان را فراهم می‌آورد که هم از منظر آماری ساختار درونی متغیرها شناسایی شود و هم از منظر تفسیرپذیری، رابطه علت و معلولی میان آن‌ها مدل‌سازی گردد (Creswell, 2013; Davis et al., 2024). این ترکیب روشی به‌ویژه در صنایع برق و تولید که با متغیرهای متعدد و پیچیده روبه‌رو هستند، قابلیت پیاده‌سازی دقیق‌تری از راهبردهای نگهداری را فراهم می‌سازد (Vivek & Hemant, 2014; Zhang & Zeng, 2015).

در زمینه فنی، مطالعاتی مانند تحقیق (Ahmadi et al., 2015) در حوزه هماهنگی بهینه رله‌های جریان بیش از حد و نیز پژوهش (Yari Beigi & Beigi, 2019) در زمینه تخصیص منابع در شبکه‌های نوری، نشان می‌دهد که استفاده از رویکردهای مبتنی بر بهینه‌سازی و تحلیل ساختاری در زیرساخت‌های پیچیده، نتایج قابل توجهی در بهبود عملکرد دارد. به‌طور مشابه، در حوزه نگهداری تجهیزات صنعتی، مطالعه (AmboK, 2014) بر اهمیت طراحی به‌گونه‌ای که نیاز به نگهداری کاهش یابد تأکید دارد.

در صنایع برق، موضوع مدیریت تجهیزات و نگهداری به عنوان یکی از مؤلفه‌های حیاتی در تضمین پایداری شبکه و کاهش خاموشی‌ها شناخته شده است (Reyes et al., 2022; Shahriar et al., 2018). نگهداری بهره‌ور فراگیر می‌تواند در شناسایی زود هنگام نقاط ضعف، کاهش توقفات ناگهانی و افزایش عمر مفید تجهیزات نقش اساسی ایفا کند (Chukwutoo et al., 2018; Itxaro Errandonea et al., 2022). اما تحقق این اهداف بدون وجود یک الگوی منسجم و علمی امکان‌پذیر نخواهد بود (Mostafavi & Tabani, 2018; Tian & Jeng Feng, 2021).

از سوی دیگر، ابعاد فرهنگی، مدیریتی و منابع انسانی در پیاده‌سازی TPM نقش غیرقابل‌انکاری دارند. مشارکت کارکنان در فرایندهای نگهداری، ارتقاء آموزش‌های تخصصی و ایجاد انگیزه از جمله عواملی هستند که در موفقیت TPM تأثیر گذارند (Davis et al., 2024; Yang & Yang, 2023). تجربه کشورهایی چون ژاپن نشان می‌دهد که TPM تنها یک رویکرد فنی نیست، بلکه یک فرهنگ سازمانی است که باید در همه سطوح نهادینه شود (AmboK, 2014; Majidi, 2021). با توجه به آنچه ذکر شد، این پژوهش درصدد است با استفاده از داده‌های میدانی شرکت‌های توزیع برق شمال غرب کشور و بهره‌گیری از تکنیک‌های تحلیل عاملی و I.S.M، الگوی بومی برای مدیریت نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر ارائه دهد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نوع ترکیبی (کمی-کیفی) و کاربردی محسوب می‌شود و با هدف طراحی یک الگوی جامع برای مدیریت نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM) در شرکت‌های توزیع نیروی برق شمال غرب کشور انجام گرفته است. جامعه آماری تحقیق شامل دو گروه اصلی بوده است: اول، خبرگان حوزه نگهداری و تعمیرات و دوم، کلیه پرسنل فعال در بخش‌های انبار، تعمیرات و نگهداری این شرکت‌ها که به عنوان افراد دارای تجربه و آگاهی کافی برای ارزیابی ابعاد مورد نظر شناخته شده‌اند. این تحقیق در یک بازه زمانی پنج ساله انجام شده و داده‌های عملیاتی مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ میلادی از سامانه‌های حسابداری، انبارداری و فرآیندهای داخلی شرکت‌های مورد بررسی استخراج شده است.

جهت گردآوری داده‌ها از روش‌های مختلفی شامل مصاحبه با خبرگان، بررسی اسناد، مطالعات کتابخانه‌ای، و در نهایت طراحی و اجرای پرسشنامه محقق ساخته استفاده شد. پرسشنامه طراحی شده از ۶۲ گویه در قالب ۱۵ مؤلفه اصلی تشکیل شده است که این مؤلفه‌ها شامل: شناخت، پذیرش، مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات، سازماندهی و تشکیل کارگروه‌ها، فرآیندهای کاری، مدیریت تجهیزات و انبارها، نگهداری و تعمیرات خودکنترلی، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برنامه‌ریزی شده، منابع انسانی و مهارت کارکنان، فناوری و گسترش سیستم‌های اتوماسیون، مدیریت منابع و قراردادهای بهبود قابلیت اطمینان، حفظ کیفیت در روند TPM، حفظ ایمنی و سلامت، و بازخورد و نتایج TPM می‌باشند. روایی محتوایی پرسشنامه توسط گروهی از اساتید و خبرگان تأیید شد و پایایی آن نیز با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ مورد بررسی قرار گرفت که در تمامی مؤلفه‌ها مقادیر بالاتر از ۰/۷ به دست آمد و اعتبار بالای ابزار پژوهش را تأیید کرد.

جدول ۱. معیارهای پژوهش و نتایج آلفای کرونباخ

ردیف	عنوان معیار	سوالات پرسشنامه	تعداد سوالات یا گویه‌ها	آلفای کرونباخ
۱	شناخت	۱-۴	۴	۰.۸۵
۲	پذیرش	۵-۱۳	۹	۰.۷۹
۳	مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات	۱۴-۱۶	۳	۰.۷۹
۴	سازمان دهی و تشکیل کارگروه‌ها	۱۷-۱۹	۳	۰.۷۶
۵	فرآیندهای کاری	۲۰-۲۳	۴	۰.۸
۶	مدیریت تجهیزات و انبارها	۲۴-۲۵	۲	۰.۷۳
۷	نگهداری و تعمیرات خود کنترلی	۲۶-۳۰	۵	۰.۷۴
۸	نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برنامه ریزی شده	۳۱-۳۵	۵	۰.۸۲
۹	منابع انسانی و مهارت کارکنان	۳۶-۴۲	۷	۰.۸۲

۱۰	فناوری و گسترش سیستم‌های اتوماسیون	۴۳-۴۶	۴	۰,۷۶
۱۱	مدیریت منابع و قراردادها	۴۷-۵۰	۴	۰,۷۱
۱۲	بهبود قابلیت اطمینان	۵۱-۵۳	۳	۰,۷۲
۱۳	حفظ کیفیت در روند TPM	۵۴-۵۶	۳	۰,۸۸
۱۴	حفظ ایمنی و سلامت	۵۷-۵۸	۲	۰,۷۱
۱۵	بازخورد و نتایج TPM	۵۹-۶۲	۴	۰,۸۴

در گام اول تحلیل داده‌ها، از آمار توصیفی برای توصیف ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و متغیرهای پژوهش استفاده گردید. سپس، به منظور تحلیل روابط بین متغیرها و شناسایی ساختار زیرین آن‌ها، از تحلیل عاملی اکتشافی بهره گرفته شد. در ادامه، برای بررسی برازش مدل اندازه‌گیری و تایید ساختار عاملی، از تحلیل عاملی تاییدی (CFA) با استفاده از نرم‌افزار LISREL بهره‌گیری شد. شاخص‌های برازش نظیر RMSEA، CFI، GFI و χ^2/df نیز به کار گرفته شدند تا مدل مورد بررسی از لحاظ آماری اعتبار یابد. نتایج این تحلیل‌ها نشان داد که تمامی ابعاد پیشنهادی با ساختار نظری مدل هم‌راستا بوده و بارهای عاملی به‌دست‌آمده همگی بالاتر از $0/3$ بودند که نشان از کفایت مدل اندازه‌گیری داشتند. پس از تایید مدل مفهومی از طریق تحلیل عاملی تاییدی، به منظور شناسایی روابط علی و سلسله‌مراتب بین ابعاد و مؤلفه‌ها، از تکنیک مدل‌سازی ساختاری-تفسیری (ISM) بهره گرفته شد. در این مرحله، ابتدا ماتریس روابط متقابل (RM) طراحی گردید که در آن ۱۵ مؤلفه کلیدی پژوهش به صورت دوه‌دو با یکدیگر مقایسه شدند. سپس با استفاده از ابزار میک‌مک (MCMAC) ماتریس اثرات متقاطع ایجاد شد و بر اساس میزان اثرگذاری و اثرپذیری مؤلفه‌ها، طبقه‌بندی آن‌ها به پنج گروه انجام پذیرفت: مستقل، وابسته، ارتباطی، خودگردان و دوجبه‌ای. در این تحلیل، عواملی همچون «مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات»، «بهبود قابلیت اطمینان» و «بازخورد و نتایج سیستم» به عنوان پیشران‌های کلیدی تشخیص داده شدند. این مرحله با هدف شناخت عمیق‌تری از جایگاه و نقش هریک از مؤلفه‌ها در ساختار TPM طراحی شد.

در مرحله نهایی، نتایج حاصل از مدل‌سازی ISM و تحلیل میک‌مک به مدل نهایی پژوهش انجامید که رتبه‌بندی ۱۵ مؤلفه در آن مشخص شده است. این رتبه‌بندی بر پایه تحلیل‌های ترکیبی و سطح تأثیرگذاری هر بعد بر سایر ابعاد صورت گرفت. به عنوان نمونه، «مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات» با بیشترین اثرگذاری در رتبه نخست و «شناخت TPM» با کمترین اثرگذاری در رتبه پانزدهم قرار گرفت. این نتایج امکان طراحی یک مدل اجرایی مبتنی بر واقعیت‌های میدانی را فراهم کرده‌اند که در تصمیم‌گیری‌های راهبردی برای بهینه‌سازی سیستم‌های نگهداری و تعمیرات در شرکت‌های توزیع برق بسیار مؤثر خواهد بود.

یافته‌ها

در این بخش به بررسی ویژگی‌های هر یک از متغیرهای مورد نظر از لحاظ مقادیر آمار توصیفی خواهیم پرداخت که جدول‌های زیر این مقادیر را برای افراد شرکت کننده در تحقیق نشان می‌دهند:

جدول ۲. نتایج آمار توصیفی هر یک از ابعاد

فاکتورهای مورد بررسی	میانگین	میانه	واریانس	حداقل آماره	حداکثر آماره	درجه آزادی	آماره- کولموگروف- اسمیرنوف	سطح معنی داری
شناخت shenakht	۲/۲۲	۲	۰/۸۹۹	۱	۵	۱۱۶	۰/۱۷۲	۰/۱۹۴
پذیرش pazi resh	۲/۱۰	۲/۱۱	۰/۳۰۶	۱	۳/۵۶	۱۱۶	۰/۱۶۸	۰/۲۰۰
مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات Mnegahdari	۱/۶۶	۱/۶۵	۰/۳۹۵	۱	۴	۱۱۶	۰/۱۵۲	۰/۲۵۱



۰/۳۱۹	۰/۱۹۹	۱۱۶	۳/۳۳	۱	۰/۳۵۸	۱/۳۳	۱/۶۰	سازمان دهی و تشکیل کارگروه‌ها
								Sazemandehi T
۰/۲۳۳	۰/۱۹۶	۱۱۶	۳	۱	۰/۳۰۸	۱/۵۰	۱/۶۰	فرآیندهای کاری Fkari
۰/۳۹۱	۰/۲۷۵	۱۱۶	۳	۱	۰/۳۲۷	۱/۵۰	۱/۴۳	مدیریت تجهیزات و انبارها M'anbar
۰/۲۲۰	۰/۱۲۸	۱۱۶	۳/۲۰	۱	۰/۲۴۱	۱/۶۰	۱/۶۱	نگهداری و تعمیرات خود کنترلی Nt kont orol
۰/۳۸۴	۰/۱۲۴	۱۱۶	۳	۱	۰/۲۸۵	۱/۶۰	۱/۶۹	تعمیرات پیشگیرانه برنامه ریزی شده Tpbarnaneh
۰/۲۵۸	۰/۱۶۳	۱۱۶	۳/۴۳	۱	۰/۳۱۴	۱/۵۷	۱/۷۳	منابع انسانی و مهارت کارکنان Mensani Mk
۰/۳۴۱	۰/۱۰۸	۱۱۶	۵	۱	۰/۵۲۵	۲/۲۵	۲/۲۰	فناوری و گسترش سیستم‌های اتوماسیون FGSout onasi
۰/۲۴۳	۰/۱۱۰	۱۱۶	۵	۱	۰/۴۶۸	۲/۲۵	۲/۲۱	مدیریت منابع و قراردادهای Mgarar
۰/۲۰۹	۰/۱۴۷	۱۱۶	۳/۳۳	۱	۰/۳۸۱	۱/۶۶	۱/۷۶	بهبود قابلیت اطمینان Bget mi nan
۰/۱۹۷	۰/۱۵۴	۱۱۶	۴/۳۳	۱	۰/۵۱۴	۱/۶۶	۱/۷۵	حفظ کیفیت در روند Hef zeKR TPM
۰/۲۰۴	۰/۱۹۱	۱۱۶	۳/۵۰	۱	۰/۲۹۰	۱/۵۰	۱/۵۹	حفظ ایمنی و سلامت Hef zeES
۰/۱۷۷	۰/۲۱۱	۱۱۶	۳/۲۵	۱	۰/۳۲۳	۱/۵۰	۱/۶۰	بازخورد و نتایج Bazkhard TPM

از مقادیر موجود در جدول ۴-۷ میتوان نتیجه گرفت که میانگین‌های بدست آمده خصوصیات هر یک از متغیرها را کاملاً به اثبات رسانده اند و بطور مثال میانگین فاکتور مدیریت منابع و قراردادهای نشان میدهد که اکثر داده‌ها حول این نقطه پراکنده شده اند؛ علاوه بر آن مقادیر مربوط به واریانس گروه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که همه ی آنها بیشتر از مقدار صفر بوده و می‌توان بر نتایج حاصل از محاسبه فاکتورها تکیه نمود. همچنین مقادیر حداقل و حداکثر داده‌ها نیز بطور مثال برای فاکتورها نشان میدهد که کلیه اندازه گیری‌ها و داده‌ها در بین بازه ۱ تا ۵ قرار دارند.

در استخراج داده‌ها و محاسبات آنها در قالب متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش، از تکنیک تحلیل عاملی اکتشافی و نظرات خبرگان استفاده گشت. بدین منظور در مرحله اول و قبل از تحریر پژوهش اقدام به مصاحبه و کسب نظرات از متخصصان و مطالعه تحقیقات پیشین گردید، نتیجه این فرآیند پرسشنامه‌ای با ۶۲ گویه بر پایه ۱۵ بعد بود که مورد پذیرش اساتید محترم قرار گرفت و روایی آن تایید گردید. در ادامه کار با استفاده از ابعاد بدست آمده داده‌های حاصله مورد بررسی‌های اولیه قرار می‌گیرند که یکی از این تحلیل‌ها تکنیک تحلیل عاملی تاییدی می‌باشد و نتیجه آن نشان دهنده درستی و دقیق بودن انتخاب خاصه‌ها در رابطه با هر ابعاد خواهد بود. اما قبل از پرداختن به تحلیل تاییدی پیش فرض‌های مورد نظر باید بررسی گردند، که این فرآیندها عبارتند از:

قبل از انجام تحلیل عاملی ابتدا باید اطمینان حاصل کرد که آیا تعداد داده‌های موجود برای تحلیل عاملی مناسب هستند یا خیر. برای این منظور از شاخص‌های KMD و آزمون بارتلت استفاده می‌کنیم. مقدار این شاخص در بین دامنه صفر تا یک متغیر است. اگر مقدار شاخص نزدیک به یک باشد (حداقل ۰/۶) داده‌های مورد نظر برای تحلیل عاملی مناسب هستند. در غیر این صورت (معمولاً کمتر از ۰/۶) نتایج تحلیل عاملی برای داده‌های مورد نظر مناسب نیستند. در نتیجه از این شاخص برای کفایت نمونه گیری استفاده می‌شود به طوری که کوچک بودن همبستگی جزئی بین متغیرها را بررسی می‌کند و مشخص می‌سازد آیا واریانس متغیرهای تحقیق، تحت تاثیر واریانس مشترک برخی عامل‌های پنهان و اساسی است یا خیر. همچنین آزمون بارتلت، فرضیه: "ماتریس همبستگی متغیرهای مشاهده شده واحد است" را مورد آزمون قرار می‌دهد. این آزمون تایید می‌کند که متغیرها با یکدیگر ارتباط ندارند که این امر از طریق معنی‌داری آزمون کای دو بدست می‌آید. اگر سطح معنی‌داری در آزمون بارتلت کمتر از ۵ درصد باشد ماتریس همبستگی، واحد نخواهد بود یعنی بین متغیرها ارتباط وجود دارد و فرض صفر آماری رد خواهد شد.

جدول ۳. نتایج آزمون KMD و بارتلت

متغیر	KMD	بارتلت	سطح معنی داری
	آماره	خی دو	درجه آزادی
فاکتور ها			
shenakht	۰/۷۰۲	۲۶۵/۵۰۹	۶
pazi resh	۰/۷۳۲	۴۰۲/۶۷۴	۳۶
Mnegahdari	۰/۷۰۷	۱۰۲/۵۳۳	۳
sazenandehi T	۰/۶۶۶	۹۶/۰۶۲	۳
Fkari	۰/۷۹۲	۱۳۶/۲۵۸	۶
M anbar	۰/۶۰۸	۴۶/۱۵۰	۱
Nt kont or ol	۰/۶۹۰	۱۳۸/۸۰۸	۱۰
Tpbar nameh	۰/۷۶۱	۲۱۲/۳۴۵	۱۰
Mensani Mk	۰/۸۲۵	۳۲۹/۶۴۵	۲۱
FGSout omasi	۰/۷۱۸	۱۲۶/۲۸۹	۶
Mngarar	۰/۷۰۲	۸۷/۳۴۱	۶
Bget ni nan	۰/۶۴۲	۶۹/۰۹۲	۳
hef zeKR	۰/۷۰۲	۱۹۳/۳۶۲	۳
hef zeES	۰/۷۰۰	۳۱/۱۴۰	۱
bazkhord	۰/۷۶۴	۲۱۶/۱۱۸	۶

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول فوق آماره مربوط به KMD در تمامی ابعاد دارای مقادیر بزرگتر از ۰/۶ می باشد در نتیجه داده های مورد نظر برای تحلیل عاملی مناسب هستند علاوه بر این سطح معناداری آزمون بارتلت نیز در تمامی ابعاد ۰/۰۰۰ بدست آمده و این بدان معنی است که فرض صفر آزمون رد می شود و میان متغیرها ارتباط معناداری وجود دارد.

مقادیر جدول زیر اشتراکات گویه ها را در حالت بدون چرخش نشان می دهد. اشتراکات یک متغیر، مربع همبستگی چندگانه برای متغیر مربوطه با استفاده از عامل هاست، بنابراین نسبیتی از واریانس آزمون مورد نظر است که توسط عامل های مشترک استخراج شده در تحلیل عاملی برآورد می شود. بهترین مقدار برای هر گویه در این بخش نسبت ۱ می باشد.

جدول ۴. جدول اشتراکات واریانس

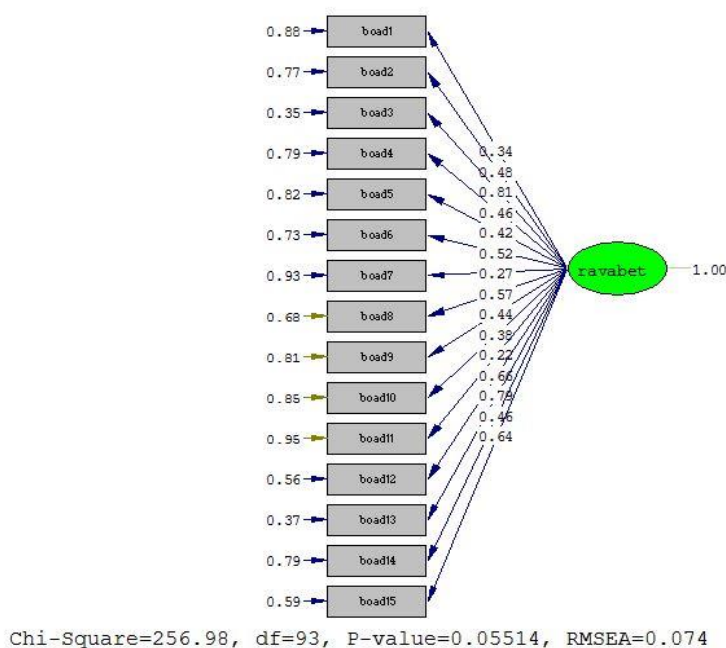
بعد	گویه ها	نسبت اشتراک در بُعد (Extraction)
اول	۱que	۰/۹۵۸
	۲que	۰/۹۳۲
	۳que	۰/۹۹۵
	۴que	۱/۰۰۰
دوم	۵que	۰/۸۶۱
	۶que	۰/۷۳۷
	۷que	۰/۷۴۷
	۸que	۰/۶۸۹
	۹que	۰/۸۴۶
	۱۰que	۰/۷۲۷
	۱۱que	۰/۸۱۸
	۱۲que	۰/۷۵۲

۰/۸۹۳	۱۳que	
۱/۰۰۰	۱۴que	سوم
۱/۰۰۰	۱۵que	
۱/۰۰۰	۱۶que	
۱/۰۰۰	۱۷que	چهارم
۱/۰۰۰	۱۸que	
۱/۰۰۰	۱۹que	
۰/۸۰۰	۲۰que	پنجم
۰/۹۷۰	۲۱que	
۰/۸۲۵	۲۲que	
۰/۹۸۰	۲۳que	
۱/۰۰۰	۲۴que	ششم
۱/۰۰۰	۲۵que	
۰/۹۷۰	۲۶que	هفتم
۰/۸۲۸	۲۷que	
۰/۸۹۱	۲۸que	
۰/۹۸۲	۲۹que	
۰/۹۸۸	۳۰que	
۰/۹۷۵	۳۱que	هشتم
۰/۹۱۵	۳۲que	
۰/۹۵۰	۳۳que	
۰/۹۱۴	۳۴que	
۰/۹۵۴	۳۵que	
۰/۸۴۱	۳۶que	نهم
۰/۷۷۰	۳۷que	
۰/۸۶۳	۳۸que	
۰/۸۰۲	۳۹que	
۰/۹۲۵	۴۰que	
۰/۸۱۶	۴۱que	
۰/۹۹۹	۴۲que	
۱/۰۰۰	۴۳que	دهم
۱/۰۰۰	۴۴que	
۱/۰۰۰	۴۵que	
۱/۰۰۰	۴۶que	
۱/۰۰۰	۴۷que	یازدهم
۱/۰۰۰	۴۸que	
۱/۰۰۰	۴۹que	
۱/۰۰۰	۵۰que	
۱/۰۰۰	۵۱que	دوازدهم
۱/۰۰۰	۵۲que	
۱/۰۰۰	۵۳que	
۱/۰۰۰	۵۴que	سیزدهم
۱/۰۰۰	۵۵que	
۱/۰۰۰	۵۶que	

چهاردهم	۵۷que	۱/۰۰۰
	۵۸que	۱/۰۰۰
پانزدهم	۵۹que	۰/۹۹۹
	۶۰que	۰/۹۷۰
	۶۱que	۰/۸۶۶
	۶۲que	۰/۹۵۹

در این بخش، نتایج حاصل از تحلیل عاملی تأییدی هر یک از متغیرهای پژوهش توسط نرم‌افزار LISREL به صورت جداگانه برای هر متغیر آورده شده است. لازم به ذکر است که به منظور کاهش متغیرها و در نظر گرفتن آن‌ها به عنوان یک متغیر مکنون، بار عاملی به دست آمده باید بیشتر از ۰٫۳ باشد.

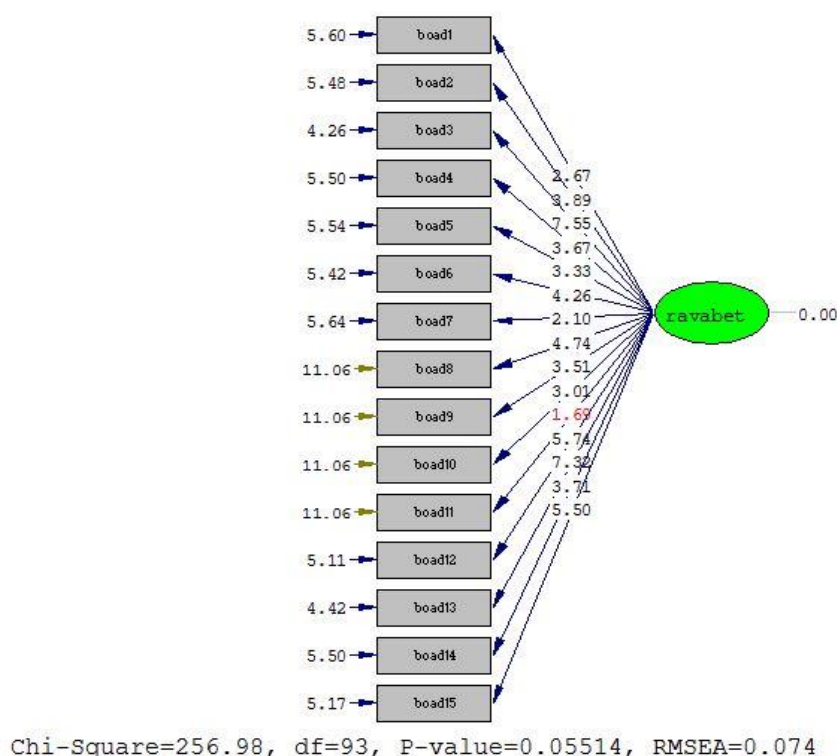
انتخاب هریک از این روش‌های تحلیل بستگی به اهداف تحقیق دارد. یکی از موارد مهم در تحلیل عاملی تعیین تعداد عامل‌های قابل استخراج است. بطور معمول به تعداد متغیرهایی که در تحلیل وارد می‌شوند می‌توان عامل استخراج کرد، اما آخرین عامل‌ها معمولاً سهم بسیار کمی در تبیین موضوع دارند. بنابراین نیاز به تعیین تعداد عامل‌های مورد نیاز داریم. هر چند مبنای دقیقی برای این کار وجود ندارد ولی معیارهایی مانند: معیار شبکه عصبی، مقدار ویژه، معیار پیشین، معیار درصد واریانس و معیار تست بریدگی، می‌تواند در تصمیم‌گیری در مورد عامل‌های استخراجی کارساز باشند. در این تحقیق نیز همانطور که در قبل بیان شد، پس از تعیین تعداد گویه عامل‌های مورد استخراج، با بررسی معنی داری بارهای عاملی، به تفسیر این عامل‌ها پرداخته می‌شود تا بر مبنای دقیق عددی اقدام به طرح بندی مدل نهایی کنیم.



شکل ۱. روابط عاملی نهایی ابعاد

شکل بالا تحلیل عاملی تأییدی ابعاد نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر بعد از پیرایش و آرایش و در حالت استاندارد را نشان می‌دهد. شاخص‌های برازش نشانگر برازش مطلوب مدل اندازه‌گیری است.

شکل زیر نیز تحلیل عاملی تأییدی ابعاد نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر را در حالت ضریب معناداری (t-value) نشان می‌دهد:



شکل ۲. معناداری روابط عاملی نهایی ابعاد

با توجه به خروجی لیزرل برای مقادیر χ^2 و RMSEA محاسبه شده و نسبت به درجه آزادی، حاکی از مناسب بودن نسبی مدل و مطلوبیت شاخص‌های برازش می‌باشد، همچنین مقدار آماره مربوط به ضریب معناداری ($t\text{-value} < 1/96$) نشان دهنده معناداری اکثریت بارهای عاملی و ابعاد هستند. جدول زیر نشان دهنده خلاصه‌ای از دو جدول فوق بوده که دربردارنده ترتیب بارهای عاملی و معناداری آن‌ها به ترتیب رتبه و اهمیت می‌باشد:

جدول ۵. نتایج آزمون تحلیل عاملی و معناداری لیزرل

متغیر	شماره ابعاد	بار عاملی	t
ابعاد			
مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات	۳	۰/۸۱	۷/۵۵
حفظ کیفیت در روند	۱۳	۰/۷۹	۷/۳۸
بهبود اطمینان	۱۲	۰/۶۶	۵/۷۴
بازخورد	۱۵	۰/۶۴	۵/۵۰
تعمیرات پیشگیرانه برنامه ریزی شده	۸	۰/۵۷	۴/۷۴
مدیریت انبارها	۶	۰/۵۲	۴/۲۶
پذیرش	۲	۰/۴۸	۳/۸۹
حفظ ایمنی و سلامت	۱۴	۰/۴۶	۳/۷۱
سازماندهی و تشکیل گروه‌ها	۴	۰/۴۶	۳/۶۷
منابع انسانی و مهارت کارکنان	۹	۰/۴۴	۳/۵۱
فرآیندهای کاری	۵	۰/۴۲	۳/۳۳
فناوری و سیستم اتوماسیون	۱۰	۰/۳۸	۳/۰۱
شناخت	۱	۰/۳۴	۲/۶۷
تعمیرات خود کنترل	۷	۰/۲۷	۲/۱۰
مدیریت قراردادها	۱۱	۰/۲۲	۱/۶۹

همانطور که از نتایج جدول فوق حاصل گشته است، ابعاد به ترتیب معناداری از بیشتر به کمتر بوده‌اند، در نتیجه بر پایه این آمارها اقدام به مدل بندی ابعاد و تشکیل الگوها خواهیم نمود.

مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM) روشی اکتشافی برای شناسایی روابط شاخص‌ها و سطح‌بندی آن‌ها مبتنی بر پارادایم تفسیرگرایانه است. با استفاده از این روش می‌توان الگوی روابط علی و پیچیده میان یک مجموعه از عوامل را شناسایی کرد. این روش نوعی تحلیل ساختاری است که براساس پارادایم تفسیری بنا نهاده شده است. هدف این روش نیز شناسایی روابط بین متغیرهای زیربنایی یک پدیده چندوجهی و پیچیده است و برای مطالعات مدیریت و علوم اجتماعی مناسب است. طراحی مدل ساختاری تفسیری (ISM) روشی برای بررسی اثر هر یک از متغیرها بر روی متغیرهای دیگر است. این طراحی رویکردی فراگیر برای سنجش ارتباط است و برای توسعه چارچوب مدل به کار می‌رود تا اهداف کلی تحقیق امکان‌پذیر شود. مفاهیمی مانند روایی و پایایی نیز در مورد این پرسشنامه مصداق ندارند. چنانچه روش پرسشنامه‌ای تحلیل ساختاری استفاده شده در این پژوهش، روش ترکیبی ISM-DEMATEL می‌باشد.

در این مرحله با بررسی مراحل پژوهش و کنکاش در خروجی‌های آزمون تحلیل عاملی و معناداری، ابعاد و محرک‌های الگوی نهایی تحقیق به شکل زیر تعیین گردیده است: ارائه می‌شود:

جدول ۶. متغیرهای سطح نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM)

ردیف	عنوان مؤلفه	کد اختصاری (Rokn)
۱	مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات	Rokn۱
۲	حفظ کیفیت در روند	Rokn۲
۳	بهبود قابلیت اطمینان	Rokn۳
۴	بازخورد و نتایج سیستم	Rokn۴
۵	تعمیرات پیشگیرانه برنامه‌ریزی شده	Rokn۵
۶	مدیریت تجهیزات و انبارها	Rokn۶
۷	پذیرش تعمیرات پیشگیرانه	Rokn۷
۸	حفظ ایمنی و سلامت	Rokn۸
۹	سازماندهی و تشکیل گروه‌ها	Rokn۹
۱۰	منابع انسانی و مهارت کارکنان	Rokn۱۰
۱۱	فرآیندهای کاری	Rokn۱۱
۱۲	فناوری و سیستم‌های اتوماسیون	Rokn۱۲
۱۳	شناخت	Rokn۱۳
۱۴	تعمیرات خودکنترلی	Rokn۱۴
۱۵	مدیریت منابع و قراردادهای	Rokn۱۵

بعد از آنکه عوامل کلیدی به روش مطالعات کتابخانه‌ای و نظر سنجی خبرگان در چند مرحله شناسایی شد. در مرحله بعد برای شناسایی نیروهای پیشرانی که بیشترین تاثیرگذاری و تاثیرپذیری را دارند از روش تاثیر متقاطع استفاده شده است. به این منظور یک ماتریس $n \times n$ از عوامل کلیدی تهیه گردید. سپس از نرم افزار میک جهت استخراج عوامل کلیدی سطح نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM)، استفاده شد. از این رو عوامل کلیدی تاثیرگذار در سطر و ستون‌های ماتریسی با ابعاد (۱۵) قرار داده و سپس برای ارزیابی تاثیر هر عامل بر عامل دیگر به صورت پرسشنامه به کارشناسان تحویل داده شده است. همانطور که در بالا توضیح داده شد کارشناسان به ترتیب میزان تاثیرگذاری هر عامل در سطر را بر عامل در ستون، بر اساس طیف صفر تا سه (صفر: بی تاثیر؛ ۱: تاثیرگذاری کم؛ ۲: تاثیرگذاری متوسط و ۳: تاثیرگذاری زیاد و P: تاثیرگذاری دوطرفه)، ارزشگذاری نموده‌اند. در واقع آن‌ها با این ارزشگذاری مشخص می‌کنند که هر عامل در آینده به چه اندازه می‌تواند بر عوامل دیگر آینده نگاری سطح نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM) موثر

باشد. سپس با جمع بندی ارزشگذاری ماتریس که ویژگیهای عمومی آن در جدول قابل مشاهده است داده‌ها ابتدا وارد نرم افزار میک مک گردید. سپس با توجه به نتایج خروجی از این نرم افزار به تحلیل پرداخته شد.

جدول ۷. ماتریس نظر نخبگان پژوهش

۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	ابعاد
۳	۲	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۱	مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات (عدد ۱)
p	۲	p	۲	۲	۱	۱	۲	p	۱	۱	۳	۳	۱	۲	حفظ کیفیت در روند تعمیرات پیشگیرانه (TPM) (عدد ۲)
۲	۱	۰	۱	۲	۱	۱	۲	۲	۲	p	۳	۱	۲	۲	بهبود قابلیت اطمینان (عدد ۳)
۲	۱	p	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۳	۲	۲	بازخورد و نتایج سیستم (عدد ۴)
۱	p	۰	۲	۲	۱	۳	۲	۱	۲	۱	۳	۳	۳	۲	تعمیرات پیشگیرانه برنامه ریزی شده (عدد ۵)
۳	p	۰	۱	۲	۱	۲	۱	p	۱	۱	۲	۲	۲	۲	مدیریت تجهیزات و انبارها (عدد ۶)
P	۲	p	۱	۱	۳	۱	۱	۱	p	۱	۱	۲	۲	۲	پذیرش تعمیرات پیشگیرانه (TPM) (عدد ۷)
۱	۱	۰	P	۲	۳	۲	۱	p	۱	۱	۱	۲	۲	۱	حفظ ایمنی و سلامت (عدد ۸)
۲	p	۰	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۳	۳	۲	سازماندهی و تشکیل کارگروه‌ها (عدد ۹)
۱	۳	۳	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	منابع انسانی و مهارت کارکنان (عدد ۱۰)
۲	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۳	۲	۱	۱	۳	۳	۳	۱	فرآیندهای کاری (عدد ۱۱)
۲	p	۱	۱	۳	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۳	فناوری و گسترش سیستم‌های اتوماسیون (عدد ۱۲)
۱	۲	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۲	شناخت (عدد ۱۳)
۰	۱	۰	۰	p	۱	p	۲	۰	۱	۱	۲	۳	۲	۲	نگهداری و تعمیرات خود کنترلی (عدد ۱۴)
۱	p	۰	۱	۲	۲	۱	۱	p	۳	۱	۲	۲	۲	۱	مدیریت منابع و قراردادها (عدد ۱۵)

جدول ۸. ویژگی‌های عمومی ماتریس مورد مطالعه

شاخص‌ها	ارزش
ابعاد ماتریس	۱۵
تعداد تکرار	۲
تعداد صفرها	۲۶
یک‌ها تعداد	۶۷
دو‌ها تعداد	۷۵
سه‌ها تعداد	۳۸
تاثیر بالقوه	۱۹
مجموع	۱۹۹
درجه پرشدگی	٪۴۴/۸۸

درجه پر شدگی ماتریس ۸۸/۴۴ درصد است، که نشان از تاثیر زیاد و پراکنده عوامل بر یکدیگر و حاکی از وضعیت پایداری سیستم است. از مجموع ۱۹۹ رابطه قابل ارزیابی در این ماتریس ۲۶ رابطه، دارای ارزش صفر (بدون اثر)، ۶۷ رابطه دارای ارزش یک (اثرگذاری کم)، ۷۵ رابطه، دارای ارزش دو (اثرگذاری متوسط) و ۳۸ رابطه دارای ارزش سه (اثرگذاری شدید) می‌باشند.

از طرف دیگر ماتریس بر اساس شاخص‌های آماری با ۲ بار چرخش داده‌ای از مطلوبیت و بهینه شدگی ۱۰۰ درصد برخوردار بوده که نشان از روایی بالای پرسشنامه و پاسخ‌های آن است.

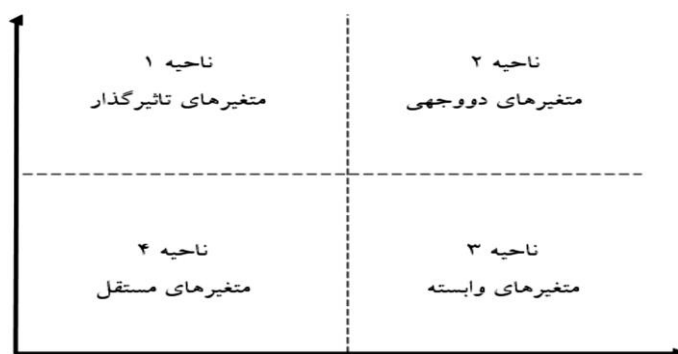
جدول ۹. میزان ثبات سیستم

تکرار	میزان وابستگی سیستم	میزان تاثیر گذاری سیستم
۱	٪۹۸	٪۸۷
۲	٪۱۰۰	٪۹۷

در جدول ذیل تعداد کل ردیف‌ها و تعداد کل ستون‌ها به تفکیک برای هر عامل مشخص شده است. بیشترین تعداد ردیف مربوط به عوامل "مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات" و کمترین تعداد ردیف مربوط به "نگهداری و تعمیرات خود کنترلی" میباشد. همچنین بیشترین تعداد ستون‌ها مربوط به عامل "بهبود قابلیت اطمینان" و کمترین تعداد ستون‌ها مربوط به "شناخت" است. تعداد مجموع ردیف‌ها و ستون‌ها برابر ۳۳۱ بوده و نشان دهنده مربع بودن (۱۵*۱۵) ماتریس اثرات متقاطع این پژوهش است.

جدول ۱۰. اندازه کمیت ردیف‌ها و ستون‌ها به تفکیک مولفه‌ها

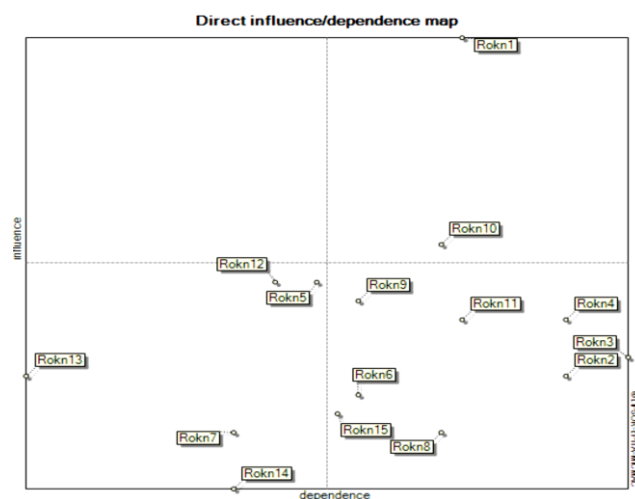
ردیف	ابعاد	جمع سطرها (تاثیر پذیرها)	جمع ستون (تاثیر گذاری)
۱	۱ Rokn	۳۸	۲۶
۲	۲ Rokn	۲۰	۳۱
۳	۳ Rokn	۲۱	۳۴
۴	۴ Rokn	۲۳	۳۱
۵	۵ Rokn	۲۵	۱۹
۶	۶ Rokn	۱۹	۲۱
۷	۷ Rokn	۱۷	۱۵
۸	۸ Rokn	۱۷	۲۵
۹	۹ Rokn	۲۴	۲۱
۱۰	۱۰ Rokn	۲۷	۲۵
۱۱	۱۱ Rokn	۲۳	۲۶
۱۲	۱۲ Rokn	۲۵	۱۷
۱۳	۱۳ Rokn	۲۰	۵
۱۴	۱۴ Rokn	۱۴	۱۵
۱۵	۱۵ Rokn	۱۸	۲۰
مجموع		۳۳۱	۳۳۱



شکل ۳. تحلیل محیط سیستم

نرم افزار میک مک، همه متغیرها را در یک نمودار مفهومی که معروف پراکندگی متغیرها در نواحی تعریف شده بر اساس میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری آنهاست، نمایش می‌دهد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود. چهار دسته از متغیرها در این روش مطرح‌اند.

در این مرحله، تفکیک و شناسایی مجدد عوامل متناسب با میزان تاثیرپذیری و تاثیرگذاری متقابل آن‌ها با منطق سیستمی و به وسیله خروجی نرم افزار میک مک می‌باشد. در ماتریس جمع اعداد سطرهای هر متغیر به عنوان میزان تاثیرگذاری و جمع ستونی هر متغیر نیز میزان تاثیرپذیری آن متغیر را از متغیرهای دیگر نشان می‌دهد. بر اساس تجزیه و تحلیل انجام شده پنج گونه یا دسته از متغیرها قابل شناسایی و تفکیک می‌باشد که در ذیل شرح داده شده است:



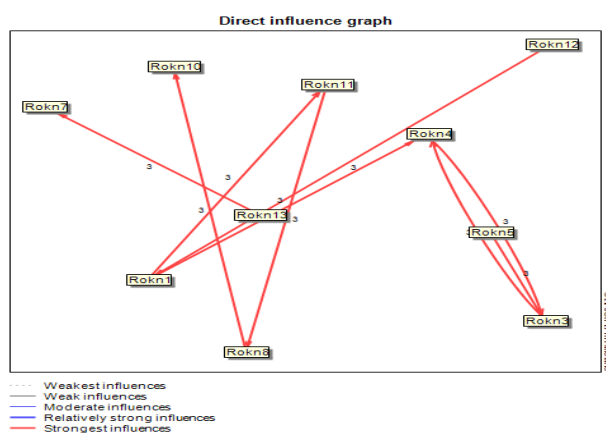
شکل ۴. میزان اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها مستقیم

جدول ۱۱. میزان اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها مستقیم

ردیف	عامل	وضعیت متغیر	تاثیر پذیری مستقیم	تاثیرگذاری مستقیم	خالص تاثیر گذاری
۱	۱ Rokn	دو وجهی	۳۸	۲۶	۳۲
۲	۲ Rokn	وابسته	۲۰	۳۱	۲۵/۵
۳	۳ Rokn	وابسته	۲۱	۳۴	۲۷/۵
۴	۴ Rokn	وابسته	۲۳	۳۱	۲۷
۵	۵ Rokn	مستقل	۲۵	۱۹	۲۲
۶	۶ Rokn	وابسته	۱۹	۲۱	۲۰
۷	۷ Rokn	مستقل	۱۷	۱۵	۱۶
۸	۸ Rokn	وابسته	۱۷	۲۵	۲۱
۹	۹ Rokn	وابسته	۲۴	۲۱	۲۲/۵
۱۰	۱۰ Rokn	دو وجهی	۲۷	۲۵	۲۶
۱۱	۱۱ Rokn	وابسته	۲۳	۲۶	۲۴/۵
۱۲	۱۲ Rokn	مستقل	۲۵	۱۷	۲۱
۱۳	۱۳ Rokn	مستقل	۲۰	۵	۱۲/۵
۱۴	۱۴ Rokn	مستقل	۱۴	۱۵	۱۴/۵
۱۵	۱۵ Rokn	وابسته	۱۸	۲۰	۱۹
مجموع			۳۳۱	۳۳۱	۳۳۱

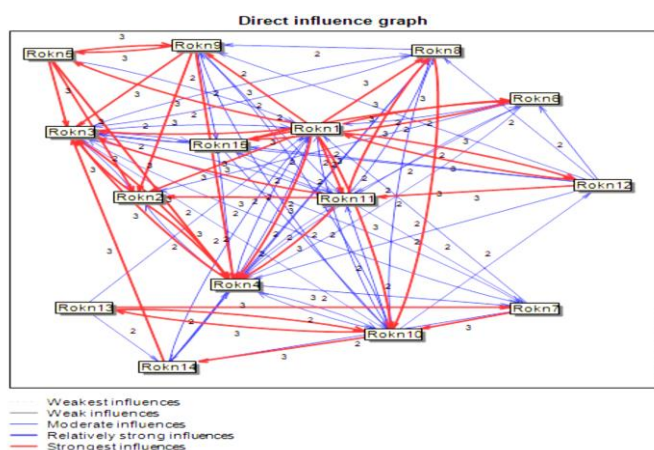
برای یافتن پیشران‌های کلیدی آینده‌نگاری سطح نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM)، کلیه تحلیل‌ها در سه سطح ۵ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد، صورت گرفت و نمودارهای ارتباطی برای هر سه سطح تهیه شد تا امر قضاوت به شکل صحیح و با اعتماد بالا صورت پذیرد. البته شایان ذکر است محاسبه سایر سطوح نیز امکانپذیر است ولیکن بواسطه عدم وجود مطالعه مشابه تحقیق حاضر، از انتخاب سایر سطوح قضاوتی پرهیز شد. دلیل انتخاب سه سطح یاد شده مبنی بر دستیابی کمترین سطح ممکن از ارتباط در سطح ۵ درصد (برای یافتن قویترین عوامل)، سطح میانی ۵۰ درصد برای داشتن میانگینی جهت قضاوت در شناخت پیشرانهای کلیدی با اهمیت متوسط به بالا و نهایتاً انتخاب سطح ۱۰۰ درصد برای شناخت کلیه عوامل پیشران و تمام ارتباط میان آن‌ها صورت پذیرفت.

در تحلیل تأثیرگذاری مستقیم عوامل، در سطح ۵٪ از کل رابطه‌های قابل ارزیابی (شدیدترین) بین آن‌ها مشخص می‌گردد و میزان تأثیرگذاری آن نیز به صورت عددی در بالای آن بیان شده است. عوامل "مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات"، "بهبود قابلیت اطمینان"، "بازخورد و نتایج سیستم"، "تعمیرات پیشگیرانه برنامه ریزی شده"، "پذیرش تعمیرات پیشگیرانه"، "حفظ ایمنی و سلامت"، "منابع انسانی و مهارت کارکنان"، "فرآیندهای کاری"، "فناوری و گسترش سیستم‌های اتوماسیون"، "شناخت"، دارای شدیدترین تأثیر گذاری مستقیم هستند. نتایج تحلیل این نمودار در زیر ارائه شده است، در نمودار زیر وضعیت عوامل مورد تحلیل را نشان می‌دهد:



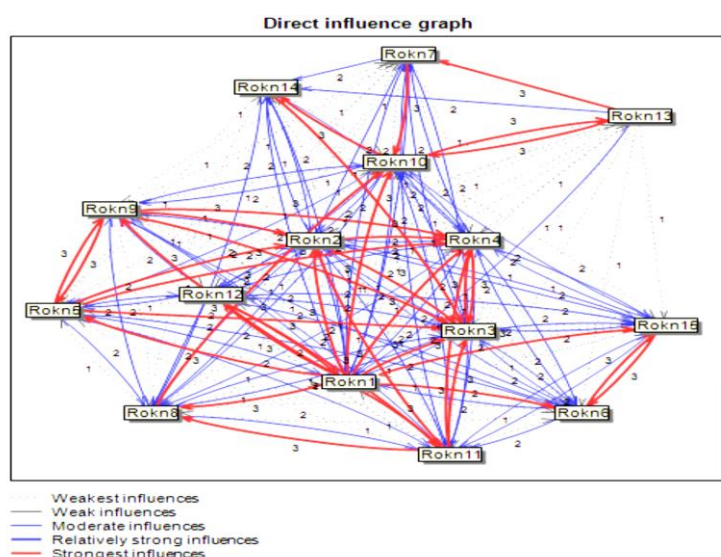
شکل ۵. ماتریس تاثیرات مستقیم ۵٪

در تحلیل تأثیرگذاری مستقیم عوامل، در سطح ۵۰ درصد از کل رابطه‌های قابل ارزیابی (متوسط به بالا) بین آن‌ها مشخص می‌گردد، که کلیه عاملها شناسایی شده دارای ارتباط و عوامل دارای تأثیرگذاری متوسط به بالا و به صورت مستقیم هستند. نتایج تحلیل نشان داده شده است، تمام ۱۵ عامل یاد شده دارای شدت ارتباط متوسط و بالاتر (متوسط دو و امتیاز سه) هستند.



شکل ۶. ماتریس تاثیرات مستقیم ۵۰٪

در تحلیل تاثیرگذاری مستقیم عوامل، در سطح ۱۰۰٪ از کل رابطه‌های قابل ارزیابی بین آن‌ها مشخص می‌گردد که تمام ۱۵ عامل شناسایی شده توسط گروه خبرگان دارای تاثیرگذاری مستقیم هستند. این امر نشان می‌دهد که کلیه عوامل شناخته شده توسط تیم خبرگان مورد اجماع و به عنوان یکی از پیشرانهای کلیدی تاثیرگذار بر سطح نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM) می‌باشد. در نمودار زیر وضعیت عوامل مورد تحلیل نشان داده شده است.



شکل ۷. ماتریس تاثیرات مستقیم ۱۰۰٪

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر که با هدف طراحی الگوی مدیریت نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM) در شرکت‌های توزیع برق شمال غرب کشور انجام شد، نشان داد که مؤلفه‌های «مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات»، «بهبود قابلیت اطمینان»، «بازخورد و نتایج سیستم»، «منابع انسانی و مهارت کارکنان»، «فرآیندهای کاری»، و «فناوری و سیستم‌های اتوماسیون» نقش کلیدی در آغاز و موفقیت فرآیند TPM ایفا می‌کنند. این نتایج با رویکردهای نظری و تجربی مطرح‌شده در مطالعات پیشین هم‌راستا بوده و نشان‌دهنده اهمیت جامع‌نگری در استقرار مدل TPM می‌باشد.

یکی از یافته‌های مهم این پژوهش، جایگاه محوری «مدیریت و رهبری در نگهداری و تعمیرات» به عنوان نقطه آغاز مدل بود. این نتیجه با مطالعات (Sharafat et al., 2017) و (Tian & Jeng Feng, 2021) هم‌خوانی دارد که تأکید کرده‌اند موفقیت در TPM نیازمند تعهد رهبری سازمان و ایجاد ساختارهای حمایتی از بالا به پایین است. همچنین، تحقیق (Davis et al., 2024) نشان داده است که پیاده‌سازی موفق رویکردهای تعمیراتی، به‌ویژه در محیط‌های دانشگاهی، به مشارکت و هدایت مدیران وابسته است. بنابراین، یافته‌های تحقیق حاضر نیز بر این اصل تأکید دارند که بدون رهبری هدفمند و مشارکت مدیریتی، سایر مؤلفه‌ها از کارایی لازم برخوردار نخواهند بود. مؤلفه دیگر تأثیرگذار در مدل، «بهبود قابلیت اطمینان» بود که به عنوان عاملی تأثیرگذار بر بازدهی تجهیزات شناخته شد. پژوهش (Liang Yang et al., 2022) نیز با ارائه الگویی برای بهینه‌سازی نگهداری پیشگیرانه با هدف افزایش راندمان و کاهش هزینه‌ها، اهمیت قابلیت اطمینان را در زنجیره ارزش سازمان‌ها برجسته کرده است. همچنین، مطالعه (Jardine & Tsang, 2013) با رویکرد تئوریک به بررسی رابطه بین تعمیرات، جایگزینی و قابلیت اطمینان پرداخته و آن را محور اصلی حفظ پایداری عملیاتی دانسته است. این تطابق نشان می‌دهد که یافته پژوهش حاضر در مورد جایگاه استراتژیک این مؤلفه کاملاً با ادبیات موضوع منطبق است.

«بازخورد و نتایج سیستم» نیز در تحلیل ISM در رده مؤلفه‌های واسط قرار گرفت. این امر با یافته‌های (Reyes et al., 2018) هم‌راستا است که در طراحی TPM برای خطوط دوخت در صنعت کفش، تأکید ویژه‌ای بر پایش مستمر و بازخوردهای عملکردی برای بهبود فرآیندها داشتند. همچنین، در تحقیق (Yang & Yang, 2023) اشاره شده است که مشارکت کارکنان در ارائه بازخورد به‌ویژه در سطوح عملیاتی، منجر به افزایش حس مالکیت و ارتقای کیفیت اجرای TPM می‌شود.

در بخش منابع انسانی، یافته‌ها نشان داد که «مهارت کارکنان و منابع انسانی» از جمله عناصر کلیدی در موفقیت TPM به‌شمار می‌آید. این یافته با پژوهش (Majidi, 2021) که به بررسی پیاده‌سازی TPM در تجهیزات دارویی پرداخته، مطابقت دارد. او به‌صراحت بر ضرورت آموزش هدفمند و فرهنگ‌سازی برای توسعه قابلیت‌های انسانی در نگهداری تأکید کرده است. از سوی دیگر، در مطالعه (Shahriar et al., 2022) به‌کارگیری اصول S5 در فرآیندهای تولیدی، با مشارکت کارکنان به‌عنوان عامل کلیدی در کاهش خطاها و افزایش بهره‌وری معرفی شده است؛ امری که مؤید یافته‌های پژوهش حاضر است.

در زمینه فنی، یافته‌ها بر نقش «فناوری و سیستم‌های اتوماسیون» تأکید داشتند. این مؤلفه در مطالعات متعددی از جمله (AmboK, 2014) و (Arts, 2013) نیز به‌عنوان یکی از پیشران‌های اصلی در تحقق تعمیرات پیشگیرانه و افزایش دقت عملیات نگهداری معرفی شده است. همچنین، (Kabir & Hasin, 2013) در تحلیل خود از طبقه‌بندی موجودی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به نقش سیستم‌های هوشمند در بهینه‌سازی زنجیره تأمین تعمیرات اشاره کرده است.

نکته قابل توجه دیگر در نتایج این تحقیق، جایگاه «تعمیرات پیشگیرانه برنامه‌ریزی‌شده» و «تعمیرات خودکنترلی» بود که در طبقه میانی مدل قرار گرفتند. مطالعاتی مانند (Mostafavi & Tabani, 2018) و (Samsudin & Hasan, 2017) نیز تأکید دارند که TPM بدون برنامه‌ریزی دقیق و پیاده‌سازی رویکردهای نگهداری پیشگیرانه نمی‌تواند به نتایج مؤثر دست یابد. همچنین، پژوهش (Heydarzadeh et al., 2013) با استفاده از روش فازی به بررسی پیاده‌سازی مدیریت کیفیت جامع پرداخته و نتیجه گرفته که فرهنگ خودکنترلی در سطوح عملیاتی یکی از عوامل پیش‌ران موفقیت در مدل‌های تعمیرات است.

در زمینه ساختار سازمانی، مؤلفه‌هایی مانند «سازماندهی و تشکیل گروه‌ها» و «فرآیندهای کاری» در میانه مدل قرار گرفتند که با یافته‌های (Taheri & Babaeianpour, 2016) و (Shams & Alibeig, 2016) هم‌راستا هستند. این پژوهش‌ها تأکید داشتند که سازمان‌دهی هدفمند و تعریف دقیق نقش‌ها در واحدهای عملیاتی، موجب یکپارچگی فرآیند TPM و کاهش ناهماهنگی‌ها می‌گردد.

نکته قابل تأمل دیگر، جایگاه «شناخت TPM» و «پذیرش» در پایین‌ترین سطح مدل است. این امر نشان می‌دهد که تا زمانی که سازمان به‌طور سیستماتیک مؤلفه‌های کلیدی بالا را ایجاد نکند، اقدامات آموزشی و ترویجی تأثیرگذاری لازم را نخواهند داشت. این یافته با پژوهش (Chukwutoo et al., 2018) هم‌خوانی دارد که بر ضرورت آمادگی زیرساختی قبل از اجرای عملی TPM تأکید کرده است.

در مجموع، الگوی طراحی شده در این پژوهش بر پایه تحلیل‌های آماری و ساختاری، توانسته است ساختاری منسجم از تعامل بین ابعاد مختلف TPM ارائه دهد که هم با ادبیات نظری هم‌راستا است و هم در میدان عمل قابلیت پیاده‌سازی دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد که برای موفقیت در اجرای TPM باید ابتدا از سطح مدیریت و رهبری آغاز نمود، سپس مؤلفه‌هایی مانند قابلیت اطمینان، فناوری، منابع انسانی و بازخورد تقویت شود و در نهایت به سطوح عملیاتی مانند تعمیرات پیشگیرانه و فرآیندهای کاری پرداخت.

این پژوهش دارای چند محدودیت بود. نخست اینکه داده‌های پژوهش تنها از شرکت‌های توزیع برق شمال غرب کشور گردآوری شده و بنابراین تعمیم‌پذیری نتایج به سایر مناطق جغرافیایی یا صنایع مختلف با احتیاط باید صورت گیرد. دوم آنکه مدل پیشنهادی بر پایه تحلیل داده‌های تاریخی و ارزیابی خبرگان طراحی شده و هنوز در محیط واقعی پیاده‌سازی عملیاتی نشده است. سوم، برخی از متغیرهای تأثیرگذار احتمالی همچون مسائل فرهنگی سازمانی، مقاومت کارکنان یا شرایط اقتصادی محیط کلان در مدل لحاظ نشده‌اند که می‌تواند در آینده مورد بررسی قرار گیرد.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، مدل طراحی‌شده در این مطالعه به‌صورت پایلوت در یک یا چند شرکت عملیاتی پیاده‌سازی و اثربخشی آن از نظر شاخص‌های مالی، عملیاتی و منابع انسانی ارزیابی شود. همچنین، مقایسه تطبیقی میان نتایج حاصل از اجرای این مدل در صنعت برق با صنایع دیگر مانند خودروسازی یا پتروشیمی می‌تواند مفید باشد. بهره‌گیری از روش‌های داده‌کاوی، یادگیری ماشین و هوش مصنوعی برای تحلیل دقیق‌تر تعاملات میان مؤلفه‌ها نیز می‌تواند افق جدیدی برای توسعه مدل فراهم آورد.

برای پیاده‌سازی موفق TPM در شرکت‌های توزیع برق، ضروری است که ابتدا ساختار رهبری و مدیریتی در حوزه نگهداری و تعمیرات بازطراحی و تقویت شود. سپس، واحد منابع انسانی باید آموزش‌های لازم را برای ارتقای مهارت‌های فنی و مشارکتی کارکنان تدارک ببیند. توسعه زیرساخت‌های فناوری و اتوماسیون در حوزه مدیریت انبار، تجهیزات و بازخوردگیری نیز باید در دستور کار قرار گیرد. مهم‌تر از همه، برنامه‌ریزی دقیق، تعریف شاخص‌های عملکردی، و پایش مستمر آن‌ها باید به‌عنوان ستون فقرات فرآیند TPM نهاده شده شود.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

Extended Summary

Introduction

With the increasing complexity of industrial infrastructures and rapid technological advancements, efficient maintenance and repair strategies have become critical to ensuring system reliability, operational continuity, and cost optimization. One prominent methodology in this regard is Total Productive Maintenance (TPM), a comprehensive approach aiming to maximize equipment effectiveness through integrated preventive and autonomous maintenance strategies involving all employees from top management to frontline workers (Reyes et al., 2018; Tian & Jeng Feng, 2021). The objective of TPM is not only the technical maintenance of equipment but also organizational transformation through employee engagement, reliability enhancement, and systematic feedback mechanisms (Mostafavi & Tabani, 2018; Yang & Yang, 2023).

The concept of TPM has evolved over time to become a cornerstone of operational excellence, especially in sectors where equipment availability and process reliability are mission-critical. Studies emphasize that TPM, when implemented correctly, improves productivity, reduces unexpected downtimes, and fosters a proactive organizational culture (Itxaro Errandonea et al.,



2022; Liang Yang et al., 2022). However, the successful implementation of TPM requires a localized, strategic model tailored to the specific needs of the organization and industry in which it is applied (Samsudin & Hasanah, 2017; Sharafat et al., 2017).

In Iran, particularly in the power distribution sector, the development of a unified and scientific TPM model has become a necessity given the high operational demands and the necessity of uninterrupted electricity services. Although international TPM models offer general frameworks, regional and sectoral differences necessitate context-specific adaptations (Majidi, 2021; Taheri & Babaeianpour, 2016). Moreover, TPM should be aligned not only with technical structures but also with human resources, safety systems, inventory management, and organizational feedback loops (Davis et al., 2024; Heydarzadeh et al., 2013).

Despite the widespread recognition of TPM's benefits, many organizations still struggle with identifying and structuring the critical components that influence TPM success. To fill this gap, this study sought to design a comprehensive TPM management model using a combined approach of factor analysis and Interpretive Structural Modeling (ISM). This dual-method strategy enables the identification of latent factors and their causal relationships while establishing a hierarchical structure among them (Creswell, 2013; Van Horenbeek et al., 2013). The research aims not only to provide a conceptual framework but also to offer practical tools for electricity distribution companies in Northwest Iran to improve their maintenance systems sustainably and effectively.

Methods and Materials

This study employed an applied research design with a mixed-methods approach, combining quantitative data analysis with structural modeling techniques. The statistical population included two major groups: first, technical experts and managers specialized in maintenance and asset management in power distribution; and second, operational staff working in maintenance, inventory, and procurement units. The geographical scope of the study was limited to the northwest region of Iran, specifically power distribution companies selected as pilot cases.

Data were collected through a multi-step process, including expert interviews, document reviews, and the administration of a researcher-made questionnaire. The questionnaire comprised 62 items grouped under 15 key components, including leadership in maintenance, quality preservation, reliability enhancement, system feedback, planned preventive maintenance, warehouse management, acceptance, safety, team organization, human resource skills, work processes, automation systems, recognition, self-controlled maintenance, and contract management.

To analyze the data, descriptive statistics were first used to characterize the sample and variables. Exploratory Factor Analysis (EFA) was then applied to extract latent structures, followed by Confirmatory Factor Analysis (CFA) using LISREL to test model fit indices such as RMSEA, CFI, GFI, and chi-square/df ratios. Following the validation of the factor structure, Interpretive Structural Modeling (ISM) was used to determine the hierarchical relationships among the components, supplemented by MICMAC analysis to classify components based on their driving and dependence powers.

Findings

The analysis revealed that "Leadership and Management in Maintenance" (Rokn1) emerged as the most influential driver within the model, indicating that the success of TPM begins with strategic guidance and organizational commitment. "Reliability Improvement" (Rokn3) and "System Feedback and Results" (Rokn4) also played dominant roles as key enablers of system performance. These were followed by "Human Resource Skills" (Rokn10), "Work Processes" (Rokn11), and "Automation Systems" (Rokn12), which acted as intermediate connectors, reflecting their supporting role in operational continuity.



“Planned Preventive Maintenance” (Rokn5) and “Self-Controlled Maintenance” (Rokn14) were positioned in the middle layers of the hierarchy, indicating their role as facilitators between strategic and operational levels. “Safety and Health” (Rokn8), “Warehouse Management” (Rokn6), and “Contract Management” (Rokn15) were categorized as responsive elements, suggesting their dependence on higher-level components.

At the bottom of the hierarchy, “Recognition” (Rokn13) and “Acceptance of TPM” (Rokn7) were identified as foundational prerequisites. Though less influential in driving change, their presence was necessary to support the entire structure. MICMAC analysis further classified components into driver, dependent, autonomous, and linkage groups, confirming the structural integrity and coherence of the model.

Discussion and Conclusion

The results of this study confirm the multifaceted nature of TPM and highlight the necessity of a top-down implementation strategy starting from leadership commitment. Effective leadership in maintenance not only initiates strategic alignment but also fosters a culture of responsibility and proactive engagement across the organization. This cascades into improvements in reliability, automation, feedback systems, and overall equipment effectiveness.

Moreover, the study emphasizes the interconnectedness of human capital and technological infrastructure in sustaining TPM. Training, skill development, and empowerment of employees are pivotal to achieving operational efficiency and quality assurance. The role of feedback and performance monitoring, as highlighted in the model, underscores the need for data-driven decision-making and continuous improvement loops within the maintenance ecosystem.

The middle-level components like preventive maintenance and self-controlled operations bridge the gap between strategic directives and executional processes. These functions ensure that the maintenance culture is institutionalized and internalized across all organizational levels.

Ultimately, the proposed model offers a systematic and adaptable framework tailored to the specific needs of electricity distribution companies. Its modular structure and hierarchical clarity enable targeted interventions, prioritized investments, and scalable implementations. The model not only contributes to the academic discourse on TPM but also offers actionable insights for industrial practitioners seeking to enhance maintenance performance, reduce downtime, and achieve sustainable asset management.

References

- Ahmadi, A., Karami, H., Tari Moradi, H., & Sanjari, M. J. (2015). Optimal coordination of overcurrent relays considering different relay characteristics based on the HSS algorithm. *20th Electrical Distribution Conference*. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.04.042>
- AmboK. (2014). *Design out maintenance*.
- Arts, J. J. (2013). Spare parts planning and control for maintenance operations. *Technische Universiteit Eindhoven*. https://www.researchgate.net/publication/263689073_Spare_parts_planning_and_control_for_maintenance_operations
- Campbell, J. D., Picknell, J. R., Zavashkiani, A., & Rabiei, M. (2015). *Strategies for excellence in maintenance management*. Ariana Ghalam. <https://books.google.com/books/about/Uptime.html?id=DmvLoAEACAAJ>
- Chukwutoo, C., Ihueze, P. S., & Ebisike, P. (2018). Optimization of Production System: An Application of Total Productive Maintenance (TPM). 13(1), 2-8. <https://doi.org/10.9734/ACRI/2018/38775>
- Creswell, J. W. (2013). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf
- Davis, C. H., Klimczak, K., Aller, T. B., Twohig, M. P., & Levin, M. E. (2024). Reach, adoption, and maintenance of online acceptance and commitment therapy at a university: An implementation case study. *Psychological Services*. <https://doi.org/10.1037/ser0000834>
- Heydarzadeh, N., Arshadi Sis, M., & Shaerbafi Fesghandis, T. (2013). Investigating the application of Total Quality Management (TQM) in organizations using a fuzzy approach: A case study of Azar Dama Gostar Company. 2nd International Conference on Management, Entrepreneurship, and Economic Development, <https://civilica.com/doc/287103/>



- Itxaro Errandonea, U., Alvarado, S., Beltrán, S., & Arrizabalaga, S. (2022). A Maturity Model Proposal for Industrial Maintenance and Its Application to the Railway Sector. *Applied Sciences*, 12(16), 8229. <https://doi.org/10.3390/app12168229>
- Jambadu, L., Pilo, F., & Monstadt, J. (2024). Co-producing maintenance and repair: hybrid labor relations in water supply in Accra, Ghana. *Urban Research & Practice*, 17(2), 280-302. <https://doi.org/10.1080/17535069.2023.2180325>
- Jardine, A. K., & Tsang, A. H. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: theory and applications*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/b14937>
- Kabir, G., & Hasin, M. A. A. (2013). Multi-criteria inventory classification through integration of fuzzy analytic hierarchy process and artificial neural network. *International Journal of Industrial and System Engineering*, 14(1), 74-103. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2013.052922>
- Liang Yang, Q., Liu, T., Xia, T., Ye, C., & Li, J. (2022). Preventive Maintenance Strategy Optimization in Manufacturing System Considering Energy Efficiency and Quality Cost. *Energies*, 15(21), 8237. <https://doi.org/10.3390/en15218237>
- Majidi, O. (2021). Maintenance in laboratory and production equipment in the pharmaceutical industry using TPM with a preventive and strategy-oriented approach.
- Mostafavi, M., & Tabani, H. (2018). The importance and effectiveness of implementing Total Productive Maintenance (TPM): A case study of SAIPA Company. *Sharif Industrial Engineering and Management (Special Issue on Engineering Sciences)*, 34(1/2), 137-146. <https://sid.ir/paper/107687/fa>
- Rashidi, F., & Ghasemi, M. (2017). Creating infrastructure for the implementation of physical asset management based on the Uptime model.
- Reyes, J., Alvarez, K., Martínez, A., & Guamán, J. (2018). Total Productive Maintenance for the Sewing Process in Footwear. 11(4), 3-9. <https://doi.org/10.3926/ijem.2644>
- Samsudin, S. B., & Hasan, N. B. (2017). Strengthen the critical success factors (CSFs) implementing total productive maintenance in power generation industry. 5(2), 3-6. https://www.researchgate.net/publication/340373872_Strengthen_The_Critical_Success_Factors_CSFs_Implementing_Total_Productive_Maintenance_TPM_in_Power_Generation_Industry
- Sayyah, A., Baradaran Kazemzadeh, R., Sepehri, M. M., & Eskandari, H. (2018). Development of a mathematical model for determining physical asset management strategies based on procurement, maintenance, and repair factors. 15(51), 1-13. https://modelling.semnan.ac.ir/article_2676.html?lang=en
- Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Clean Engineering Technology*, 8, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488>
- Shams, M., & Alibeig, M. (2016). *Presenting a maintenance model for electric power distribution networks*.
- Sharafat, A., Karami, F., & Karami, S. M. R. (2017). Providing a comprehensive model for maintenance systems using the metasynthesis method. *University of Management*.
- Taheri, A. M., & Babaeianpour, M. (2016). *Development of a Total Productive Maintenance (TPM) model based on the resistance economy approach: A case study of Iran Airports Company* Master's thesis, Payame Noor University]. Tehran Province. <https://elmnet.ir/doc/10948375-42542>
- Tian, X., & Jeng Feng, C. (2021). Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 152-175. <https://doi.org/10.3926/ijem.3286>
- Van Horenbeek, A., Buré, J., Cattrysse, D., Pintelon, L., & Vansteenwegen, P. (2013). Joint maintenance and inventory optimization systems: A review. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.04.001>
- Vivek, B. P., & Hemant, R. T. (2014). Review study on improvement of overall equipment effectiveness through total productive maintenance. *Journal of Emerging Technology and Innovative Research*, 1(7), 1-5. <https://www.jetir.org/papers/JETIR1407026.pdf>
- Yang, Y., & Yang, B. (2023). Employee Participation in Total Productive Maintenance – A bottom-Up Perspective. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 41(1), 269-290. <https://doi.org/10.1108/ijqrm-12-2022-0353>
- Yari Beigi, M., & Beigi, L. (2019). Power allocation and modulation level assignment in optical networks with distributed control layer based on centralized path computation. *[Journal Name Unavailable]*, 49(2), 935-947. <https://en.civilica.com/doc/966389/>
- Zhang, X., & Zeng, J. (2015). A general modeling method for opportunistic maintenance modeling of multi-unit systems. *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, 140, 176-190. <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.03.030>