

شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های مرتبط با تعمیرات پیشگیرانه (PM) در شرکت ورق خودرو چهارمحال و بختیاری

دانیال زین العابدینی

کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، موسسه آموزش عالی نور هدایت، شهرکرد، ایران.
Danielzeinolabedini4@gmail.com

شماره ۱۶ / تابستان ۱۴۰۵ (جلد دوم) / صص ۲۴۷-۲۵۶
چشم انداز حسابداری و مدیریت (دوره نهم)

چکیده

هدف این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های مرتبط با تعمیرات پیشگیرانه (PM) در شرکت ورق خودرو چهارمحال و بختیاری با رویکردی نظام‌مند و کاربردی است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، آمیخته (کیفی-کمی) می‌باشد. جامعه آماری تحقیق شامل ۲۵ نفر از مدیران، کارشناسان و خبرگان حوزه نگهداری و تعمیرات، تولید و بهره‌برداری شرکت ورق خودرو بود که از میان آنان ۱۲ نفر به روش نمونه‌گیری هدفمند و بر اساس میزان تخصص، سابقه کاری و آشنایی با فرآیندهای تعمیرات پیشگیرانه به‌عنوان اعضای پنل خبرگان انتخاب شدند. در بخش کیفی پژوهش، برای شناسایی، پالایش و نهایی‌سازی ریسک‌های مؤثر بر تعمیرات پیشگیرانه از تکنیک دلفی استفاده شد. در این مرحله، با بهره‌گیری از نظرات خبرگان و طی چند دور اجماع، مجموعه‌ای از ریسک‌های اولیه استخراج و سپس غربالگری شدند تا در نهایت ۱۸ ریسک کلیدی در ابعاد انسانی، فنی، تأمینی، سازمانی و زیرساختی مورد تأیید قرار گیرد. این ریسک‌ها بیانگر مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر اثربخشی برنامه‌های PM در محیط صنعتی مورد مطالعه هستند. در بخش کمی پژوهش، به‌منظور تعیین وزن و اولویت نسبی ریسک‌های شناسایی‌شده، از روش SWARA استفاده شد. نتایج رتبه‌بندی نشان داد که کمبود نیروی انسانی ماهر و متخصص فنی، کیفیت پایین یا غیراستاندارد بودن قطعات یدکی مصرفی و تداخل زمان‌بندی برنامه‌های PM با برنامه‌های تولید به ترتیب مهم‌ترین ریسک‌های تعمیرات پیشگیرانه در شرکت ورق خودرو محسوب می‌شوند.

واژگان کلیدی: تعمیرات پیشگیرانه، مدیریت ریسک، روش آمیخته، دلفی، SWARA، شرکت ورق خودرو چهارمحال و بختیاری.

مقدمه

افزایش قابلیت اطمینان خطوط تولید به ویژه در صنایع پیچیده‌ای همچون فولاد نقشی کلیدی در کاهش توقفات، بهینه سازی هزینه ها و ارتقای رقابت پذیری دارد. (خورشیدی جلالی و موسوی نسب، ۱۴۰۴) برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات یکی از مهمترین عواملی می باشد که با انجام برنامه ریزی درست میزان خرابی ها و هزینه های نگهداری و تعمیرات کاهش پیدا می کند (مومنی و همکاران، ۱۴۰۳). نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان از یک سو تعیین می کند چه کارهایی باید برای تداوم عمر هر گونه سرمایه های فیزیکی انجام شود و از سوی دیگر این راهبرد انتظاراتی

که کاربران از تجهیزات دارند را مشخص و عملیاتی می سازد. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مجموعه فعالیت ها و فرآیند هایی است که با بکار گیری درست فناوری ها، نظارت و اجرای عملکرد های طراحی شده با هدف نگهداری تجهیزات در یک سطح مشخص از کارایی، می تواند یک قطعه را حفظ و یا به سطح استاندارد خود باز گرداند و باز یابی کند. (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه یک تعادل بین هزینه های حاصل از فعالیت های نگهداری / تعویض پیشگیرانه و سود حاصل از کاهش نرخ خرابی کمی سیستم است و مسئله ی اصلی در آن پیدا کردن بهترین توالی فعالیت های نگهداری برای هر عنصر در سیستم در هر دوره و در کل افق برنامه ریزی است تا تابع هدف با در نظر گرفتن تمام محدودیت ها بهینه شود. از طرفی با توسعه ی فناوری های پیشرفته تولید، ماشین آلات و تجهیزات مدرن به طور فزاینده ای اتوماتیک و هوشمند می شوند تا پاسخگوی تغییر بازار و افزایش تنوع محصول باشند که این خود متعاقباً باعث حفظ تجهیزات در یک سطح مطلوب از قابلیت اطمینان سخت تر از پیش شود و مسئله ی شکست ماشین آلات پیچیده با قابلیت اطمینانی بالا، ایمنی انسان، حفظ محیط زیست و سیاست های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بیش از پیش اهمیت یافته است؛ در این راستا قابلیت اطمینان و قابلیت تعمیر پذیری یک نقش مهم ایفا می کند. به طور کلی قابلیت اطمینان سیستم بستگی به عمر سیستم و سیاست های نگهداری و تعمیرات انجام شده بر روی آن دارد. با وجود اهمیت بالای موضوع، تجربه عملی در بسیاری از سازمان های صنعتی نشان می دهد که برنامه های PM اغلب به صورت روتین و بدون ارزیابی نظام مند ریسک های مؤثر بر آن اجرا می شوند. در نتیجه، ممکن است برخی عوامل کلیدی مانند کمبود منابع، ضعف هماهنگی بین واحدها، محدودیت نیروی انسانی متخصص، نبود قطعات یدکی، یا حتی ناهماهنگی در زمان بندی تعمیرات، در برنامه ریزی ها نادیده گرفته شوند. در این زمینه، مومنی شهرکی و همکاران (۱۴۰۳)، با شناسایی عوامل اثرگذار بر برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت ریلی نشان دادند که این فرآیند تحت تأثیر مجموعه ای از عوامل فنی، انسانی، مدیریتی و محیطی قرار دارد. این یافته ها مؤید آن است که برنامه ریزی PM صرفاً وابسته به دانش فنی نیست، بلکه به درک دقیق از عوامل زمینه ساز و محدودکننده نیز نیاز دارد.

از سوی دیگر، مطالعات انجام شده در صنایع مشابه نیز اهمیت شناسایی و رتبه بندی ریسک ها را برجسته کرده اند. برای نمونه، پریپنچی و همکاران (۱۴۰۴)، در بررسی ریسک های بحرانی زنجیره تأمین صنعت فولاد نشان دادند که برخی ریسک ها مانند عملکرد تأمین کنندگان مواد اولیه و ناهماهنگی سیستم های اطلاعاتی، اثر قابل توجهی بر عملکرد کل زنجیره دارند. همچنین دهقانی فیل آبادی و همکاران (۱۴۰۳)، در صنعت پتروشیمی، با تمرکز بر ریسک های تعمیرات اساسی، تأکید کردند که برخی ریسک ها مانند تأخیر در تأمین تجهیزات از خارج کشور، می توانند کل عملیات تعمیراتی را با اختلال جدی مواجه کنند. این پژوهش ها بیانگر آن است که در صنایع فرایندی و پیچیده، شناسایی و اولویت بندی ریسک ها نقش مهمی در تصمیم گیری مدیریتی دارد؛ با این حال، هر صنعت ویژگی ها، محدودیت ها و حساسیت های خاص خود را دارد و نمی توان نسخه واحدی برای همه صنایع ارائه کرد.

خلاً اصلی پژوهش های پیشین در این است که بیشتر مطالعات یا بر شناسایی ریسک های کلان در زنجیره تأمین و تولید تمرکز داشته اند، یا عوامل اثرگذار بر نگهداری و تعمیرات را در صنایع دیگر بررسی کرده اند، اما کمتر پژوهشی به طور مشخص به شناسایی و رتبه بندی عوامل تأثیرگذار بر برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت ورق خودرو پرداخته است. صنعت ورق خودرو به دلیل حساسیت بالا در کیفیت محصول، پیوستگی خطوط تولید، تنوع تجهیزات، و وابستگی به هماهنگی دقیق میان واحدهای فنی و عملیاتی، با چالش هایی روبه رو است که ممکن است در سایر صنایع به همان شدت وجود نداشته باشد. بنابراین، استفاده از نتایج پژوهش های عمومی یا مطالعات مربوط به صنایع دیگر، بدون بومی سازی، نمی تواند پاسخگوی نیازهای واقعی این صنعت باشد.

¹ Wang

با توجه به ماهیت پیوسته و حساس خطوط تولید در شرکت ورق خودرو، هرگونه اختلال در عملکرد تجهیزات می‌تواند منجر به توقف‌های ناخواسته، کاهش کیفیت محصول، افزایش ضایعات و تحمیل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم قابل توجه شود. از آنجا که در چنین مجموعه‌ای بخش مهمی از فرایند تولید به هماهنگی دقیق ماشین‌آلات، برنامه‌ریزی منظم تعمیرات و دسترسی به قطعات و نیروی انسانی متخصص وابسته است، هر ضعف در اجرای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه می‌تواند زنجیره تولید را با چالش جدی مواجه کند. بنابراین، صرف اجرای فعالیت‌های PM بدون شناخت ریسک‌های مؤثر بر آن، نه تنها به بهبود عملکرد منجر نمی‌شود، بلکه ممکن است منابع سازمان را نیز به سمت اقدامات کم‌اثر هدایت کند.

از سوی دیگر، در محیط‌های صنعتی پیچیده مانند ورق خودرو، ریسک‌های مرتبط با تعمیرات پیشگیرانه می‌توانند ابعاد مختلفی داشته باشند؛ از جمله ریسک‌های ناشی از خطای انسانی، ضعف در زمان‌بندی تعمیرات، کمبود قطعات یدکی، محدودیت دانش فنی، ناکارآمدی در مستندسازی، و همچنین تأخیر در تشخیص خرابی‌های پنهان. با وجود اهمیت بالای این عوامل، در بسیاری از موارد این ریسک‌ها به‌صورت نظام‌مند شناسایی و اولویت‌بندی نمی‌شوند و در نتیجه تصمیم‌گیری مدیریتی بر پایه تصویر دقیقی از عوامل تهدیدکننده انجام نمی‌گیرد. بر همین اساس، مسئله اصلی این پژوهش آن است که مهم‌ترین ریسک‌های تعمیرات پیشگیرانه در شرکت ورق خودرو کدامند و این ریسک‌ها بر چه اساسی باید رتبه‌بندی شوند تا بتوان با تمرکز بر عوامل بحرانی، اثربخشی برنامه‌های نگهداری و تعمیرات را افزایش داد؟

روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، آمیخته (کیفی-کمی) می‌باشد. جامعه آماری تحقیق شامل ۲۵ نفر از مدیران، کارشناسان و خبرگان حوزه نگهداری و تعمیرات، تولید و بهره‌برداری شرکت ورق خودرو بود که از میان آنان ۱۲ نفر به روش نمونه‌گیری هدفمند و بر اساس میزان تخصص، سابقه کاری و آشنایی با فرآیندهای تعمیرات پیشگیرانه به‌عنوان اعضای پنل خبرگان انتخاب شدند. در بخش کیفی پژوهش، برای شناسایی، پالایش و نهایی‌سازی ریسک‌های مؤثر بر تعمیرات پیشگیرانه از تکنیک دلفی استفاده شد. در این مرحله، با بهره‌گیری از نظرات خبرگان و طی چند دور اجماع، مجموعه‌ای از ریسک‌های اولیه استخراج و سپس غربالگری شدند تا در نهایت ۱۸ ریسک کلیدی در ابعاد انسانی، فنی، تأمین، سازمانی و زیرساختی مورد تأیید قرار گیرد. در بخش کمی پژوهش، به‌منظور تعیین وزن و اولویت نسبی ریسک‌های شناسایی‌شده، از روش SWARA استفاده شد.

یافته‌ها

به‌منظور شناسایی، غربالگری و نهایی‌سازی ریسک‌های مؤثر بر اثربخشی تعمیرات پیشگیرانه (PM) در شرکت ورق خودرو چهارمراحل و بختیاری، روش دلفی در چهار دور متوالی اجرا شد. در مرحله نخست، با استفاده از بررسی مبانی نظری، مطالعات پیشین و مصاحبه‌های اکتشافی با کارکنان و متخصصان فنی، ۱۹ ریسک اولیه شناسایی گردید. این ریسک‌ها در قالب پرسشنامه‌ای با مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت در اختیار ۱۵ نفر از خبرگان شرکت، شامل مدیران ارشد، سرپرستان نگهداری و تعمیرات، مهندسان مکانیک و برق، کارشناسان ابزار دقیق و کارشناسان برنامه‌ریزی قرار گرفت. پایایی پرسشنامه با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ بررسی شد و مقدار آن برابر با ۰.۸۴۹۰.۸۴۹۰.۸۴۹۰ به دست آمد. از آنجا که این مقدار بیشتر از حد استاندارد ۰.۷۰۰.۷۰۰.۷۰۰ است، پایایی ابزار مورد تأیید قرار گرفت. معیار اصلی غربالگری شاخص‌ها در دوره‌های نخست، کسب میانگین حداقل ۳ بود. همچنین، برای سنجش میزان توافق خبرگان در هر دور، از ضریب هماهنگی کندال استفاده شد.

در دور اول، دو شاخص به دلیل کسب میانگین کمتر از ۳ حذف شدند؛ اما سه ریسک جدید و متناسب با شرایط فنی و محیطی کارخانه، شامل نوسانات برق شبکه، خوردگی ناشی از رطوبت و عدم همراستایی تجهیزات نورد سرد، توسط خبرگان پیشنهاد شد. در دور دوم نیز دو شاخص دیگر به دلیل نبود توافق کافی و میانگین پایین حذف شدند. در دورهای سوم و چهارم، هیچ شاخصی حذف نشد و میزان توافق میان خبرگان به صورت چشمگیری افزایش یافت. خلاصه روند اجرای مراحل دلفی در جدول ۴-۱ ارائه شده است.

جدول (۱): خلاصه نتایج مراحل اجرای دلفی

مرحله	تعداد شاخص‌ها	اقدامات و نتایج اصلی	تعداد شاخص‌های باقی‌مانده	ضریب هماهنگی کندال	وضعیت اجماع
دور اول	۱۹ ریسک اولیه	حذف ۲ شاخص با میانگین کمتر از ۳ و اضافه‌شدن ۳ ریسک بومی پیشنهادی خبرگان	۲۰	۰.۴۱۵	ضعیف
دور دوم	۲۰ ریسک	حذف ۲ شاخص به علت میانگین کمتر از ۳ و نبود توافق کافی	۱۸	۰.۵۸۲	متوسط
دور سوم	۱۸ ریسک	هیچ شاخصی حذف نشد؛ توافق خبرگان درباره اهمیت ریسک‌ها افزایش یافت	۱۸	۰.۷۴۴	قوی
دور چهارم	۱۸ ریسک	ثبات نظرات، عدم ارائه شاخص جدید و تثبیت اولویت ریسک‌ها	۱۸	۰.۷۹۸	بسیار قوی؛ توقف دلفی

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که میزان اجماع خبرگان در طول اجرای فرایند دلفی روندی صعودی داشته است. ضریب هماهنگی کندال از ۰.۴۱۵ در دور اول به ۰.۷۹۸ در دور چهارم افزایش یافته است؛ بنابراین، می‌توان گفت که توافق میان اعضای پانل خبرگان از سطح ضعیف در آغاز فرایند به سطح بسیار قوی در مرحله نهایی رسیده است.

بر اساس نتایج، در دور اول دو ریسک مرتبط با هزینه قطعات یدکی و بوروکراسی خرید اضطراری حذف شدند. در دور دوم نیز دو عامل مربوط به رعایت پروتکل‌های HSE و ساختار سازمانی بخش نگهداری و تعمیرات، به دلیل کسب میانگین کمتر از حد پذیرش، کنار گذاشته شدند. در مقابل، عوامل بومی کارخانه، از جمله نوسانات برق شبکه، خوردگی ناشی از رطوبت و عدم همراستایی تجهیزات، مورد تأیید خبرگان قرار گرفتند. این یافته نشان می‌دهد که شرایط محیطی، زیرساختی و فنی خاص کارخانه، نقش مهمی در شکل‌گیری ریسک‌های تعمیرات پیشگیرانه دارد.

در نهایت، با تثبیت نظرات خبرگان در دور چهارم، فرایند دلفی متوقف و ۱۸ ریسک کلیدی برای ورود به مرحله رتبه‌بندی نهایی انتخاب شد. این ریسک‌ها به منظور انسجام بیشتر در تحلیل و ارائه راهکارهای مدیریتی، در پنج دسته اصلی شامل ریسک‌های زنجیره تأمین و تجهیزاتی، نیروی انسانی و دانش فنی، برنامه‌ریزی و فرآیندی، محیطی و زیرساختی و نیز بازرسی و مانیتورینگ طبقه‌بندی شدند.

دسته‌بندی نهایی ریسک‌های تعمیرات پیشگیرانه

پس از پایان فرایند دلفی، ریسک‌های تأییدشده در قالب پنج گروه اصلی دسته‌بندی شدند. این دسته‌بندی بر اساس ماهیت ریسک‌ها، منشأ ایجاد آن‌ها و حوزه اثرگذاری‌شان بر برنامه‌های تعمیرات پیشگیرانه انجام شده است. دسته نخست، ریسک‌های زنجیره تأمین و تجهیزاتی را دربر می‌گیرد که عمدتاً به کیفیت قطعات، تأمین به‌موقع تجهیزات، وضعیت ماشین‌آلات و امکانات عیب‌یابی مربوط هستند. این دسته از ریسک‌ها می‌توانند به توقف‌های پیش‌بینی‌نشده، افزایش زمان تعمیر و کاهش قابلیت اطمینان تجهیزات منجر شوند.

دسته دوم، ریسک‌های نیروی انسانی و دانش فنی است. کمبود نیروی متخصص، خستگی ناشی از شیفت‌های کاری طولانی، ضعف مهارتی کارکنان در استفاده از فناوری‌ها و سیستم‌های جدید و نبود سازوکار مناسب برای مستندسازی و انتقال تجربه، از جمله عواملی هستند که کیفیت اجرای فعالیت‌های PM را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در واقع، حتی در صورت برخورداری از تجهیزات مناسب، نبود نیروی انسانی توانمند و نظام مدیریت دانش کارآمد می‌تواند اثربخشی برنامه‌های نگهداری و تعمیرات را کاهش دهد.

دسته سوم، به ریسک‌های برنامه‌ریزی و فرآیندی اختصاص دارد. تداخل میان برنامه تولید و برنامه‌های PM، ضعف در برنامه‌ریزی توقفات اورهال، نبود هماهنگی بین واحدهای تولید و نت و تأخیر در صدور مجوزهای کاری، باعث می‌شود که فعالیت‌های تعمیراتی در زمان مناسب انجام نشوند یا با تأخیر مواجه گردند. دسته چهارم نیز شامل ریسک‌های محیطی و زیرساختی ویژه کارخانه است که متأثر از شرایط عملیاتی خطوط نورد و گالوانیزه هستند. در نهایت، ریسک‌های مربوط به کالیراسیون، پایش وضعیت و مانیتورینگ آنلاین تجهیزات در دسته پنجم قرار گرفتند.

جدول (۲): دسته‌بندی نهایی ریسک‌های تأییدشده تعمیرات پیشگیرانه

ریسک‌های نهایی تأییدشده	دسته ریسک
کیفیت پایین یا غیراستاندارد بودن قطعات یدکی؛ تأخیر در تأمین قطعات یدکی خارجی و تجهیزات خاص؛ فرسودگی ماشین‌آلات کلیدی؛ کمبود ابزارهای تخصصی و پیشرفته برای عیب‌یابی؛ کمبود بودجه تخصیص‌یافته به تعمیرات پیشگیرانه	ریسک‌های زنجیره تأمین و تجهیزاتی
کمبود نیروی انسانی ماهر و متخصص؛ خستگی مفرط نیروی فنی ناشی از شیفت‌های طولانی؛ خطاهای انسانی ناشی از آموزش ناکافی در کار با سیستم‌های جدید؛ ضعف در مدیریت دانش و مستندسازی تجارب تعمیراتی	ریسک‌های نیروی انسانی و دانش فنی
تداخل زمان‌بندی برنامه‌های PM با برنامه تولید؛ برنامه‌ریزی نامناسب توقفات کارخانه برای اورهال؛ عدم هماهنگی میان واحدهای تولید و نگهداری و تعمیرات؛ تأخیر در صدور مجوزهای کاری حین تعمیرات	ریسک‌های برنامه‌ریزی و فرآیندی
نوسانات شدید برق شبکه و آسیب به تجهیزات حساس؛ خوردگی ناشی از رطوبت بالا در خط گالوانیزه؛ عدم هم‌راستایی و بالانس نامناسب تجهیزات در نورد سرد	ریسک‌های محیطی و زیرساختی
عدم کالیراسیون به‌موقع ابزار دقیق و تجهیزات اندازه‌گیری؛ ضعف در مانیتورینگ آنلاین و پایش مستمر وضعیت تجهیزات	ریسک‌های بازرسی و مانیتورینگ

مطابق جدول ۲، ریسک‌های نهایی از ابعاد مختلف فنی، انسانی، مدیریتی و محیطی تشکیل شده‌اند؛ بنابراین، مدیریت اثربخش تعمیرات پیشگیرانه مستلزم اتخاذ رویکردی یکپارچه و چندبعدی است. به عبارت دیگر، تمرکز صرف بر تعمیر یا تعویض قطعات نمی‌تواند پاسخگوی تمام عوامل مؤثر بر کاهش اثربخشی PM باشد؛ زیرا مشکلات نیروی انسانی، ضعف هماهنگی بین واحدی، ناکارآمدی برنامه‌ریزی و محدودیت‌های زیرساختی نیز می‌توانند به توقف خط و خرابی‌های تکرار شونده منجر شوند.

از میان ریسک‌های شناسایی شده، کمبود نیروی انسانی متخصص، کیفیت پایین قطعات یدکی، تداخل برنامه‌های PM با تولید، تأخیر در تأمین قطعات خارجی و نوسانات برق شبکه، از اهمیت بیشتری برخوردار بوده‌اند. این عوامل می‌توانند به‌طور مستقیم موجب افزایش زمان توقف تجهیزات، کاهش دسترس‌پذیری ماشین‌آلات و افزایش هزینه‌های تعمیرات شوند. به‌ویژه، نوسانات برق، خوردگی در محیط مرطوب و عدم هم‌راستایی تجهیزات، به‌عنوان ریسک‌های بومی کارخانه، نیازمند توجه ویژه در برنامه‌ریزی‌های نگهداری و تعمیرات هستند.

بر این اساس، دسته‌بندی نهایی ریسک‌ها می‌تواند مبنای تدوین راهبردهای کنترل و کاهش ریسک، تخصیص منابع، تعیین اقدامات اصلاحی و اولویت‌بندی برنامه‌های بهبود در واحد نگهداری و تعمیرات قرار گیرد. همچنین، این ۱۸ ریسک نهایی در مرحله بعدی پژوهش، با استفاده از روش رتبه‌بندی مناسب، اولویت‌بندی می‌شوند تا مهم‌ترین حوزه‌های مداخله مدیریتی مشخص گردد.

در این گام، ۱۸ ریسک نهایی استخراج شده از دلفی بر اساس اهمیت ادراکی خبرگان، به ترتیب از مهم ترین تا کم اهمیت ترین شاخص ها مرتب شدند. سپس برای هر ریسک، ارزش نسبی، ضریب و وزن اولیه محاسبه شد تا مبنای رتبه بندی نهایی قرار گیرد.

جدول (۳): نتایج محاسبات میانی ارزش نسبی، ضریب و وزن اولیه در روش SWARA

رتبه	شاخص (ریسک های تعمیرات پیشگیرانه)	اهمیت نسبی	ضریب	وزن اولیه
۱	کمبود نیروی انسانی ماهر و متخصص فنی	-	-	-
۲	کیفیت پایین یا غیراستاندارد بودن قطعات یدکی مصرفی	-	-	-
۳	تداخل زمان بندی برنامه های PM با برنامه های تولید ورق	-	-	-
۴	تأخیر در زنجیره تأمین و خرید قطعات یدکی خارجی	-	-	-
۵	نوسانات شدید برق شبکه و آسیب به تجهیزات الکترونیکی حساس	-	-	-
۶	ریسک خوردگی ناشی از رطوبت بالا در خط گالوانیزه	-	-	-
۷	عدم کالیبراسیون به موقع ابزار دقیق و تجهیزات اندازه گیری	-	-	-
۸	کمبود ابزارهای تخصصی و پیشرفته برای عیب یابی خط تولید	-	-	-
۹	خستگی مفرط نیروی فنی به دلیل شیفت های طولانی کاری	-	-	-
۱۰	ضعف در سیستم مدیریت دانش و مستندسازی تجارب تعمیراتی	-	-	-
۱۱	فرسودگی بالای تجهیزات و ماشین آلات کلیدی خط نورد	-	-	-
۱۲	برنامه ریزی نامناسب توقفات کل کارخانه برای اورهال	-	-	-
۱۳	عدم هماهنگی مناسب بین واحدهای تولید و نگهداری و تعمیرات	-	-	-
۱۴	خطاهای انسانی ناشی از نبود آموزش کافی در کار با سیستم های جدید	-	-	-
۱۵	عدم هم راستایی و بالانس نامناسب تجهیزات در نورد سرد	-	-	-
۱۶	کمبود بودجه تخصیص یافته به بخش تعمیرات پیشگیرانه	-	-	-
۱۷	تأخیر در صدور مجوزهای کاری حین تعمیرات	-	-	-
۱۸	ضعف در مانیتورینگ آنلاین و پایش مستمر وضعیت تجهیزات	-	-	-

گام پنجم: محاسبه وزن نرمال نهایی

در آخرین گام، وزن های نرمال شده که مجموع آن ها برابر با ۱ می باشد، محاسبه می شوند تا رتبه بندی قطعی ریسک های تعمیرات پیشگیرانه مشخص شود.

جدول (۴): وزن نرمال نهایی و رتبه بندی قطعی ریسک های تعمیرات پیشگیرانه با روش SWARA

رتبه	شاخص نهایی ریسک های PM	وزن نهایی	درصد اهمیت
۱	کمبود نیروی انسانی ماهر و متخصص فنی	-	-
۲	کیفیت پایین یا غیراستاندارد بودن قطعات یدکی مصرفی	-	-
۳	تداخل زمان بندی برنامه های PM با برنامه های تولید ورق	-	-
۴	تأخیر در زنجیره تأمین و خرید قطعات یدکی خارجی	-	-
۵	نوسانات شدید برق شبکه و آسیب به تجهیزات الکترونیکی حساس	-	-
۶	ریسک خوردگی ناشی از رطوبت بالا در خط گالوانیزه	-	-
۷	عدم کالیبراسیون به موقع ابزار دقیق و تجهیزات اندازه گیری	-	-

۸	کمیود ابزارهای تخصصی و پیشرفته برای عیب‌یابی خط تولید	-	-
۹	خستگی مفرط نیروی فنی به دلیل شیفت‌های طولانی کاری	-	-
۱۰	ضعف در سیستم مدیریت دانش و مستندسازی تجارب تعمیراتی	-	-
۱۱	فرسودگی بالای تجهیزات و ماشین‌آلات کلیدی خط نورد	-	-
۱۲	برنامه‌ریزی نامناسب توقفات کل کارخانه برای اورهال	-	-
۱۳	عدم هماهنگی مناسب بین واحدهای تولید و نگهداری و تعمیرات	-	-
۱۴	خطاهای انسانی ناشی از نبود آموزش کافی در کار با سیستم‌های جدید	-	-
۱۵	عدم هم‌راستایی و بالانس نامناسب تجهیزات در نورد سرد	-	-
۱۶	کمیود بودجه تخصیص‌یافته به بخش تعمیرات پیشگیرانه	-	-
۱۷	تأخیر در صدور مجوزهای کاری حین تعمیرات	-	-
۱۸	ضعف در مانیتورینگ آنلاین و پایش مستمر وضعیت تجهیزات	-	-

نتایج رتبه‌بندی SWARA نشان می‌دهد که مهم‌ترین ریسک تعمیرات پیشگیرانه در شرکت ورق خودرو چهارمحال و بختیاری، کمیود نیروی انسانی ماهر و متخصص فنی است. این یافته نشان می‌دهد که اثربخشی PM در این صنعت، بیش از هر چیز به در دسترس بودن نیروی فنی توانمند و آشنا با فرآیندهای تعمیرات وابسته است. در محیطی مانند ورق خودرو که خطوط تولید به صورت پیوسته و با حساسیت عملیاتی بالا فعالیت می‌کنند، کمیود نیروی متخصص می‌تواند به تأخیر در انجام PM، کاهش کیفیت تعمیرات و افزایش احتمال توقفات ناخواسته منجر شود.

در رتبه‌های بعدی، کیفیت پایین یا غیراستاندارد بودن قطعات یدکی مصرفی و تداخل زمان‌بندی برنامه‌های PM با برنامه‌های تولید ورق قرار دارند. قرار گرفتن این دو عامل در میان اولویت‌های نخست نشان می‌دهد که از نگاه خبرگان، ریسک‌های تأمینی و برنامه‌ریزی عملیاتی نقش بسیار مهمی در موفقیت یا شکست PM دارند. به عبارت دیگر، حتی در صورت وجود نیروی انسانی کافی، اگر قطعات یدکی استاندارد در دسترس نباشند یا زمان اجرای PM با برنامه تولید هم‌پوشانی نامناسب داشته باشد، اثربخشی برنامه‌های نگهداری پیشگیرانه کاهش می‌یابد.

همچنین، تأخیر در زنجیره تأمین و خرید قطعات یدکی خارجی در رتبه چهارم قرار گرفته که بیانگر وابستگی بالای برخی تجهیزات و قطعات به تأمین‌کنندگان بیرونی است. این مسئله می‌تواند در شرایط نوسانات ارزی، محدودیت‌های واردات یا تأخیر در ترخیص، به یکی از جدی‌ترین تهدیدهای استمرار PM تبدیل شود. در کنار آن، قرار گرفتن نوسانات شدید برق شبکه و آسیب به تجهیزات الکترونیکی حساس در رتبه پنجم، نشان می‌دهد که ریسک‌های زیرساختی و محیطی نیز در بروز اختلالات PM نقش پررنگی دارند.

در رتبه‌های میانی، عواملی مانند خوردگی ناشی از رطوبت بالا، عدم کالیبراسیون به موقع ابزار دقیق، کمیود ابزارهای تخصصی عیب‌یابی، خستگی نیروی فنی و ضعف در سیستم مدیریت دانش قرار گرفته‌اند که بیشتر ماهیت پشتیبان و اجرایی دارند. این موارد اگرچه در مقایسه با ریسک‌های انسانی و تأمینی در اولویت پایین‌تری قرار گرفته‌اند، اما در عمل می‌توانند به صورت تجمعی اثر قابل توجهی بر کیفیت PM داشته باشند.

در انتهای رتبه‌بندی نیز کمیود بودجه، تأخیر در صدور مجوزهای کاری و ضعف در مانیتورینگ آنلاین تجهیزات قرار دارند که نشان می‌دهد خبرگان، این عوامل را نسبت به سایر ریسک‌های عملیاتی کمتر بحرانی ارزیابی کرده‌اند. با این حال، حذف یا بی‌توجهی به این شاخص‌ها می‌تواند در بلندمدت موجب تضعیف زیرساخت‌های تصمیم‌گیری و کنترل وضعیت تجهیزات شود.

نتایج

یافته‌های بخش کیفی پژوهش نشان داد که ریسک‌های مؤثر بر تعمیرات پیشگیرانه (PM) در شرکت ورق خودرو چهارمحال و بختیاری ماهیتی چندبعدی، مرتبط و زنجیره‌ای دارند. به عبارت دیگر، اثربخشی PM صرفاً به وضعیت فنی تجهیزات و فرسودگی ماشین‌آلات وابسته نیست، بلکه از عوامل انسانی، مدیریتی، تأمینی، برنامه‌ریزی، زیرساختی و محیطی تأثیر می‌پذیرد. در چهار دور اجرای روش دلفی و با مشارکت خبرگان، ۱۸ ریسک کلیدی تثبیت شد. همچنین، افزایش ضریب هماهنگی کندال از ۰.۴۱۵۰.۴۱۵۰.۴۱۵ در دور اول به ۰.۷۹۸۰.۷۹۸۰.۷۹۸ در دور چهارم، بیانگر دستیابی به اجماع مطلوب میان خبرگان است.

نتایج نشان داد که تعمیرات پیشگیرانه در شرکت مورد مطالعه نباید صرفاً یک فعالیت فنی و عملیاتی تلقی شود؛ بلکه بخشی از نظام کلان بهره‌برداری، تداوم تولید و پایداری سازمانی است. ضعف در نیروی انسانی، تأمین قطعات، هماهنگی بین واحدها یا زیرساخت‌های عملیاتی می‌تواند اجرای برنامه‌های PM را مختل کرده و به افزایش توقفات ناخواسته، هزینه‌های تعمیراتی و کاهش قابلیت اطمینان تجهیزات منجر شود. بنابراین، ریسک‌های PM ماهیتی زنجیره‌ای دارند و اختلال در هر بخش می‌تواند عملکرد سایر بخش‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد.

در میان ریسک‌های شناسایی‌شده، کمبود نیروی انسانی ماهر و متخصص فنی، کیفیت پایین قطعات یدکی، تداخل زمان‌بندی برنامه‌های PM با برنامه تولید، تأخیر در تأمین قطعات یدکی خارجی، نوسانات شدید برق شبکه، خوردگی تجهیزات در خط گالوانیزه و ضعف در مدیریت دانش و مستندسازی تجارب تعمیراتی، اهمیت بیشتری داشتند. افزون بر این، ریسک‌هایی نظیر نوسانات برق، خوردگی ناشی از رطوبت و عدم هم‌راستایی تجهیزات در نورد سرد، ماهیتی بومی داشته و متناسب با شرایط واقعی کارخانه شناسایی شدند. این امر تأکید می‌کند که چارچوب مدیریت ریسک PM باید متناسب با ویژگی‌های فنی، محیطی و عملیاتی هر صنعت طراحی شود.

در بخش کمی و با استفاده از روش سوارا، «کمبود نیروی انسانی ماهر و متخصص فنی» به عنوان مهم‌ترین ریسک شناسایی شد. پس از آن، «کیفیت پایین یا غیراستاندارد بودن قطعات یدکی» و «تداخل زمان‌بندی برنامه‌های PM با برنامه تولید» در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که مهم‌ترین تهدیدهای اثربخشی تعمیرات پیشگیرانه، بیش از آنکه صرفاً تجهیزاتی باشند، به ظرفیت انسانی، کیفیت تأمین و هماهنگی عملیاتی سازمان وابسته‌اند. ریسک‌هایی مانند تأخیر در تأمین قطعات خارجی، نوسانات برق، خوردگی تجهیزات و عدم کالیبراسیون به موقع ابزار دقیق نیز در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند و اهمیت عوامل تأمینی، زیرساختی و محیطی را تأیید کردند.

یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مومنی شهرکی و همکاران (۱۴۰۳)، هم‌راستا است؛ زیرا هر دو پژوهش نشان می‌دهند که برنامه‌ریزی تعمیرات پیشگیرانه تنها به عوامل فنی وابسته نیست و عوامل انسانی، مدیریتی، محیطی و برنامه‌ریزی نیز در اثربخشی آن نقش دارند. با این حال، پژوهش حاضر با تمرکز بر شرکت ورق خودرو، ریسک‌های بومی و خاصی مانند نوسانات شدید برق شبکه، خوردگی ناشی از رطوبت بالا در خط گالوانیزه و عدم هم‌راستایی تجهیزات در نورد سرد را شناسایی کرده است؛ عواملی که در مطالعه صنعت ریلی به این شکل برجسته نشده‌اند. همچنین نتایج پژوهش با تحقیقات آلکاریوتی^۱ و همکاران (۲۰۲۵)، الرافعی و الجاندی (۲۰۲۴)، آوالوس^۲ و همکاران (۲۰۱۸)، همسو است.

نتایج پژوهش حاضر از نظر اهمیت ریسک‌های تأمین با یافته‌های پرپینچی و همکاران (۱۴۰۴)، در صنعت فولاد نیز هم‌جهت است. در هر دو مطالعه، عملکرد تأمین‌کنندگان، تأخیر در تأمین و ناهماهنگی میان بخش‌های مختلف، بر عملکرد سازمان اثر قابل‌توجهی دارند. با این تفاوت که پژوهش پرپینچی و همکاران بر ریسک‌های کلان زنجیره تأمین صنعت فولاد متمرکز بوده، اما پژوهش حاضر این موضوع را به‌طور مشخص در سطح تعمیرات پیشگیرانه شرکت ورق

¹ Alqaryuti

² Avalos

خودرو بررسی کرده و کیفیت پایین قطعات یدکی و تأخیر در تأمین قطعات خارجی را از ریسک‌های مهم PM معرفی کرده است.

همچنین، یافته مربوط به تأخیر در تأمین قطعات یدکی خارجی با نتایج دهقانی فیل‌آبادی و همکاران (۱۴۰۳)، در صنعت پتروشیمی مشابهت دارد. هر دو پژوهش نشان می‌دهند که وابستگی به قطعات و تجهیزات خارجی می‌تواند عملیات تعمیراتی را با اختلال جدی مواجه سازد. تفاوت در آن است که مطالعه مذکور بر ریسک‌های تعمیرات اساسی تمرکز دارد، در حالی که پژوهش حاضر نشان می‌دهد این ریسک در تعمیرات پیشگیرانه نیز اهمیت دارد و در کنار کمبود نیروی متخصص، کیفیت قطعات و تداخل برنامه تولید و PM، از عوامل اصلی آسیب‌پذیری محسوب می‌شود.

از منظر عوامل انسانی نیز نتایج پژوهش حاضر با ادبیات نگهداری و تعمیرات همخوان است؛ با این تفاوت که در شرکت ورق خودرو، کمبود نیروی انسانی ماهر در رتبه نخست قرار گرفته است. این نتیجه نشان می‌دهد که در صنایع پیوسته و حساس، نیروی انسانی متخصص در کیفیت بازرسی، تشخیص زودهنگام خرابی، اجرای به‌موقع تعمیرات و رفع مؤثر عیوب نقشی اساسی دارد. بنابراین، یافته‌های پژوهش ضمن تأیید مطالعات پیشین، بر ضرورت بومی‌سازی مدیریت ریسک PM متناسب با شرایط هر صنعت تأکید می‌کند.

بر مبنای نتایج پژوهش، نخستین پیشنهاد، تقویت سرمایه انسانی فنی است. شرکت باید برنامه‌ای منسجم برای جذب، آموزش، نگهداشت و جانشین‌پروری نیروهای متخصص در حوزه‌های مکانیک، برق، ابزار دقیق، عیب‌یابی و تحلیل خرابی تدوین کند. همچنین، انتقال تجربه میان کارکنان باسابقه و نیروهای جدید و مستندسازی دانش فنی، وابستگی به افراد خاص را کاهش می‌دهد.

دومین پیشنهاد، اصلاح فرایند تأمین و کنترل کیفیت قطعات یدکی است. تهیه فهرست تأمین‌کنندگان معتبر، ارزیابی مستمر آن‌ها براساس کیفیت و زمان تحویل، کنترل کیفیت قطعات ورودی و ایجاد ذخیره اطمینان برای قطعات بحرانی، می‌تواند احتمال توقف ناشی از نبود یا نامرغوب بودن قطعات را کاهش دهد.

سومین پیشنهاد، ایجاد هماهنگی ساختاریافته میان واحدهای تولید، نگهداری و تعمیرات، برنامه‌ریزی و انبار است. برگزاری جلسات منظم هماهنگی، طراحی تقویم یکپارچه تولید و تعمیرات و استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت نگهداری و تعمیرات (CMMS)، تعارض میان برنامه تولید و PM را کاهش می‌دهد.

چهارمین پیشنهاد، کنترل عوامل محیطی و زیرساختی است. استفاده از تجهیزات تثبیت‌کننده و محافظ برق، تقویت سامانه‌های هشداردهنده، اجرای اقدامات ضدخوردگی در خط گالوانیزه و کنترل دوره‌ای هم‌راستایی و بالانس تجهیزات، می‌تواند ریسک‌های بومی کارخانه را کاهش دهد.

در نهایت، حرکت به سمت نگهداری مبتنی بر داده و پایش وضعیت تجهیزات پیشنهاد می‌شود. استفاده از حسگرها، ثبت دیجیتال سوابق خرابی، تحلیل روند عملکرد تجهیزات و ایجاد بانک دانش تعمیراتی، امکان تشخیص زودهنگام خرابی‌ها و تصمیم‌گیری دقیق‌تر را فراهم می‌سازد. در مجموع، بهبود اثربخشی PM نیازمند رویکردی یکپارچه است که به‌صورت هم‌زمان بر توسعه سرمایه انسانی، کیفیت تأمین، هماهنگی بین واحدها، مدیریت دانش و کنترل شرایط محیطی تمرکز داشته باشد.

منابع

✓ پربینچی، سید محمد رضا، نجفی، امیر، محمدی، نبی‌الله، (۱۴۰۴)، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های بحرانی زنجیره تأمین صنعت فولاد در شرایط عدم اطمینان، تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، دوره ۲۲، شماره ۳، صص ۵۲-۲۳.

- ✓ خورشیدی جلالی، مریم، موسوی نسب، سیدهادی، (۱۴۰۴)، مدل سازی و بهبود قابلیت اطمینان خطوط تولید در صنعت فولاد به منظور ارتقای مدیریت ریسک با استفاده از رویکرد شبکه های بیزین، چهارمین کنفرانس بین المللی چالش ها و راهکارهای نوین در مهندسی صنایع، مدیریت و حسابداری، دامغان.
- ✓ دهقانی فیل آبادی، علی، ناهیدتیتکانلو، حسین، فرهادی، علیرضا، (۱۴۰۳)، شناسایی و رتبه بندی ریسک های تعمیرات اساسی در صنعت پتروشیمی با استفاده از روش ترکیبی دلفی و بهترین-بدترین فازی: مطالعه موردی شرکت پتروشیمی لردگان، پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، دوره ۱۲، شماره ۲۵، صص ۱۹-۲۹.
- ✓ مومنی شهرکی، مهدی، فرهادی، علیرضا، صیدائی، سیدرسول، (۱۴۰۳)، شناسایی و رتبه بندی عوامل تأثیرگذار بر برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت ریلی کشور (مورد مطالعه: صنعت ریلی استان اصفهان)، نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، دوره ۸، شماره ۳۱، صص ۷۳۸-۷۵۶.
- ✓ ناجی، جلال، فاروقی، هیوا، (۱۴۰۰)، زمان بندی نگهداری و تعویض پیشگیرانه چندحالتی برای سیستم های چندجزئی با لحاظ کردن توقفات غیرخرابی، مجله صنایع و مدیریت شریف، دوره ۳۷، شماره ۱، صص ۱-۵۹.
- ✓ Alqaryuti, A., Moawad, K., Salah, K., Mayyas, A., & Jayaraman, R. (2025). Blockchain-driven framework for preventive maintenance management of aircraft hydraulic systems. Discover Internet of Things, 5(1), 50.
- ✓ Al-Refaie, A., & Aljundi, H. (2024). A Fuzzy FMEA-Resilience Approach for Maintenance Planning in a Plastics Industry. International Journal of Prognostics and Health Management, 15(2).
- ✓ Avalos- Rosales, O., Angel-Bello, F., Alvarez, A., Cardona-Valldes, Y., Including productive maintenance activities in an unrelated parallel machine environment with dependent setup times. Computers & industrial engineering (2018).
- ✓ Azid, N. A. A. shamsudin, S. N. A. yusoff, M. S. & samat, H. A. (2019, June). conceptual Analysis and survey of total productive maintenance (TPM) and reliability centered maintenance (RCM) relationship. In IOP conference series: materials science and engineering (VOL.530, NO. 1, P. 01205 0). IOP publishing
- ✓ Wang, J., Liang, Y., Zheng, Y., Gao, R. X., & Zhang, F. (2020). An integrated fault diagnosis and prognosis approach of predictive maintenance of wind turbine bearing with limited samples. Renewable Energy, 145, 642-650.