



شناسایی و رتبه بندی معیارهای تاثیرگذار بریکپارچه سازی نگهداری و تعمیرات و برنامه ریزی تولید در سیستم کارگاهی باز

سمیرا کریمی سفیددشتی

گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

مجید وزیری سرشک (نویسنده مسئول)

گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

Email: Ma.vs1360@iau.ac.ir

غلامرضا اسماعیلیان

گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۶/۱۵

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت بندی معیارهای مؤثر بر یکپارچه سازی نگهداری و تعمیرات (نت) و برنامه ریزی تولید در سیستم کارگاهی باز انجام شد. به این منظور، ابتدا ۲۰ معیار بالقوه از ادبیات و نظر خبرگان استخراج شد. سپس با بهره گیری از دیمتل، روابط علی-معلولی میان معیارها تحلیل و ۱۰ معیار محرک کلیدی شناسایی و غربال شد. در گام دوم، برای رتبه بندی معیارهای منتخب از رویکرد اولویت بندی ترتیبی (OPA) بر اساس ورودی های رتبه ای خبرگان و پنج فاکتور تصمیم (هزینه، سودآوری، مدیریت منابع، استراتژی های رقابتی و فناوری های مدرن) استفاده گردید. یافته ها نشان می دهد «ابزار/مواد/قطعات یدکی و تجهیزات موجود»، «تعیین هزینه های عملیاتی تولید» و «تعیین هزینه های تعمیر و نگهداری» به ترتیب بیشترین اهمیت را دارند. از منظر علی نیز معیارهای هزینه ای و منابعی در منطقه علت قرار گرفته و پیشران یکپارچه سازی محسوب می شوند. نوآوری کار، ترکیب روشمند دیمتل و OPA برای گذار از تشخیص و ساختاردهی وابستگی ها به اولویت بندی عملیاتی با استفاده از داده های رتبه ای ساده و قابل اتکاست. پیامد مدیریتی نتایج آن است که بهینه سازی موجودی قطعات یدکی و شفاف سازی هزینه های تولید و نت، اهرم های اصلی برای تسهیل یکپارچه سازی در محیط های کارگاهی باز هستند.

کلمات کلیدی: نگهداری و تعمیرات، سیستم کارگاهی باز، رویکرد دیمتل، رویکرد اولویت بندی ترتیبی.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، یک حرکت جهانی بزرگ بر اساس مدیریت رسمی دارایی‌های فیزیکی آغاز شده است. کشورهای توسعه یافته اولین کشورهایی بودند که وارد این حوزه شدند. پس از آن، کشورهای در حال توسعه شروع به بهبود مدیریت نگهداری خود به عنوان مرحله خاصی از چرخه عمر دارایی فیزیکی کردند. مدیریت دارایی با سیاست گذاری و تعیین هدف بر اساس عملکرد و پایداری سروکار دارد. این چشم‌انداز استراتژیک از دیدگاه بلندمدت عملکرد زیرساخت و هزینه استفاده می‌کند. در نتیجه انتخاب تاکتیک‌های نگهداری مناسب یکی از مهمترین تصمیمات در صنایع است (Shahin, Aminsabouri & Kianfar, 2018). از دیگر سو، قابلیت تطبیق‌پذیری نسبت به تغییرات تقاضا و طراحی محصولات با صرف هزینه و زمان اندک، فاکتوری کلیدی در موفقیت صنایع تولیدی بشمار می‌رود (Zhao and Zhou, 2022). سیستم‌های تولید سنتی، مانند تولید کارگاهی و تولید جریانی قادر به پاسخ‌دهی سریع و هم‌زمان به چنین تغییراتی نیستند (Zhao and Zhou, 2022). در مقابل سیستم‌های سنتی، استفاده از سیستم‌های جدید همچون تولید سلولی و کارگاهی باز، می‌تواند راهکاری مناسب برای دست یافتن به چنین قابلیت باشد. سیستم تولید کارگاهی باز یک رویکرد مؤثر برای پیاده‌سازی اصول فناوری تولید است (Wang et al., 2022). هدف فناوری تولید کارگاهی باز بهره بردن از شباهت‌های موجود در فرایندهای تولیدی، در راستای افزایش کارایی در تولید می‌باشد. سیستم تولید کارگاهی باز، درحقیقت یک رویکرد ترکیبی از تولید کارگاهی و تولید جریانی است؛ و از آن برای تولید محصولاتی در حجم و تنوع متوسط استفاده می‌شود (Goli et al., 2021).

از سوی دیگر در طی چند دهه گذشته همواره دغدغه‌های فراوانی در ارتباط با تلفیق حوزه‌های مختلف مرتبط با فعالیت‌های تولید وجود داشته است (Ertogral and Ozturk, 2019). حوزه‌هایی که هر کدام به مثابه قلب تپنده واحدهای تولیدی هستند و باید در تصمیم‌گیری‌های مختلف از آن‌ها بهره گرفت. به دلیل اثر متقابل هر کدام از این حوزه‌ها نمی‌توان آن‌ها را به صورت جزیره‌ای بررسی کرد و بسیار مناسب و معقول است تا ساز و کاری را برنامه‌ریزی کرد که بتوان تمام عوامل مهم را تا جای امکان باهم در نظر گرفت. تلاش‌های زیادی برای یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تولید، نگهداری و تعمیرات و تامین مواد اولیه صورت گرفته است. همانطور که مشخص است سیستم مورد نظر (سیستم کارگاهی باز) به صورت زنجیره به یکدیگر متصل است و تصمیم‌گیری در هر قسمت اثرات خود را بر روی بخش‌های دیگر نمایان می‌کند (Liu et al., 2019).

پیشرفت‌های اخیر در یکپارچه‌سازی تولید و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه موجب اتصال مباحث مقدار تولید اقتصادی و سیاست‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (Sana, 2012)، کنترل همزمان نرخ تولید، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه شده است (Berthaut et al., 2011). تحقیقات در این دوره بیشتر بر روی چند اثر حیاتی متمرکز بودند، مانند اثر پیچیدگی تولید و تکنولوژی، سرعت عملیات، برنامه‌ریزی راه‌اندازی و طراحی تلورانس‌ها با در نظر گرفتن زوال کیفیت و یا تاثیر برنامه‌ریزی بازرسی کیفیت بر روی جریان تولید (Kim and Gershwin, 2008) و همچنین برخی از پژوهش‌ها بر روی یکپارچه‌سازی تولید، نگهداری و تعمیرات با در نظر گرفتن استهلاک سیستم تمرکز کردند (Bouslah et al., 2016).

در واقع تعداد معدودی از پژوهش‌ها منتشر شده است که سه جنبه تولید، کیفیت و نگهداری و تعمیرات را با هم در نظر گرفته‌اند. همانطور که می‌دانیم اصالت در واحدهای تولید با ماشین‌آلات است، یعنی ماشین‌آلات نقش اساسی را به خصوص در تولید انبوه انجام می‌دهند. انجام کار توسط ماشین‌آلات با گذر زمان می‌تواند سبب مستهلک شدن آنها و زوال روز افرون تجهیزات شود. پس فعالیتی همانند برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات باید برای حفظ کارایی و اثربخشی ماشین‌آلات صورت گیرد تا در تمام دوره-ها ماشین‌آلات با کمترین خرابی و توقف به کار خود ادامه دهند. به طور طبیعی هر ماشین می‌تواند در طی دوره زمانی که بررسی می‌شود مقداری استهلاک پیدا کند، یکی از روش‌های مؤثر برخورد با چنین پدیده‌ای انجام نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه است (Souza et al., 2022).

بر اساس توضیحات ذکر شده، این پژوهش، بر روی یکپارچه سازی نگهداری و تعمیرات در سیستم کارگاهی باز متمرکز می باشد و این مفهوم را از جنبه متفاوت معیارهای تاثیرگذار مورد بررسی قرار می دهد و به رتبه بندی و اولویت بندی این معیارها می پردازد. این پژوهش به این منظور رویکرد ترکیبی دیمتل-اولویت بندی را بکار می گیرد. در این رویکرد پیشنهادی، ضمن غربالگری معیارها، به رتبه بندی آنها به منظور شناسایی مهم ترین معیارها می پردازد.

الف) پیشینه پژوهش

فرواها و همکاران^۱ (۲۰۲۵) یک مطالعه موردی جامع را با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره برای طراحی استراتژی نگهداری و تعمیر بهینه برای یک بوم پلاسر با هدف به حداقل رساندن خرابی، کاهش هزینه های تعمیر و افزایش قابلیت اطمینان ماشین از طریق یک رویکرد تصمیم گیری ساختاریافته مبتنی بر SAW، TOPSIS و VIKOR ارائه کردند تا رویکردهای تعمیر و نگهداری مختلف را بر اساس معیارهایی مانند هزینه، قابلیت اطمینان تجهیزات، زمان و سهولت اجرا ارزیابی و رتبه بندی کند.

دوس سانتوس و همکاران^۲ (۲۰۲۴) بر ادغام چندین زمینه مطالعاتی ناهمگون مانند فرایندکاوی، تصمیم گیری چندمعیاره و ادغام داده ها تمرکز کردند تا ارزیابی ریسک و تحلیل بحران را برای رتبه بندی ماشین های صنعتی به منظور انجام وظایف نگهداری و تعمیر ممکن سازند. نتایج حاصل از سناریوهای تحلیل مختلف، تأثیر شاخص های نگهداری و تعمیر را بر فرایند رتبه بندی ماشین نشان داد. محمود و همکاران^۳ (۲۰۲۴) کاربرد فرایند سلسله مراتبی تحلیلی را برای انتخاب استراتژی نگهداری مناسب برای یک کارخانه سیمان در شمال نیجریه پیشنهاد کردند. در این مطالعه، تعمیر و نگهداری اصلاحی، نگهداری پیشگیرانه و نگهداری پیش بینانه به عنوان استراتژی های نگهداری در نظر گرفته شدند. با توجه به نتایج، یک حالت ترکیبی از سه استراتژی نگهداری برای موتور القایی کوره مناسب تشخیص داده شد که در آن نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه با ۴۱/۷۶٪ بالاترین ترجیح را داشت، پس از آن نگهداری و تعمیرات پیش بینانه با ۳۱/۶۶٪ و در نهایت نگهداری و تعمیرات اصلاحی با ۲۶/۶۸٪ قرار گرفتند. ژانگ و همکاران^۴ (۲۰۲۳) در پژوهش خود یک بهینه سازی ازدحام ذرات چندفازی بهبود یافته را برای حل مسئله زمان بندی کارگاه پویا که به عنوان یک مسئله ان پی-هارد چندجمله ای زمان غیرقطعی شناخته می شود، پیشنهاد کردند. رویکرد ازدحام ذرات چندهدفه برای حل مجموعه مسائل استفاده شد و با بهینه سازی ازدحام ذرات چندفازی اصلی و الگوریتم کالمن اکتشافی مقایسه گردید. سوزا و همکارانش^۵ (۲۰۲۲) در پژوهش خود یک روش مدل سازی ریاضی و راه حل را برای مسئله برنامه ریزی کارگاهی تحت شرایط در دسترس نبودن ماشین قطعی و تصادفی ارائه نمودند که به ترتیب ناشی از نگهداری پیشگیرانه برنامه ریزی شده و تعمیر و نگهداری اصلاحی برنامه ریزی نشده به دنبال خرابی های تصادفی بود. هدف آن ها بهینه سازی توالی کارها و وظایف نگهداری پیشگیرانه برنامه ریزی شده مبتنی بر اجرا به شیوه ای بهینه سازی استوار و در عین حال در نظریه خرابی ماشین ها در طول زمان بود. الگوریتم ژنتیک ابتدا برای بهینه سازی توابع جایگزین استفاده شد، سپس مناسب ترین راه حل ها از سه روش حل با سناریوهای شکست تصادفی شبیه سازی شدند. فیتوهی و نورالفات^۶ (۲۰۱۴) در مقاله ای به ترکیب برنامه ریزی تولید و زمان بندی نگهداری پیشگیرانه غیرچرخه ای برای سیستم های چندحالتی پرداختند. این مقاله نگهداری پیشگیرانه غیرچرخه ای را با برنامه ریزی تولید تاکتیکی در سیستم های چندحالتی ترکیب نمود. سیاست نگهداری جایگزین های پیشگیرانه چرخه ای مولفه ها و حداقل تعمیر در مولفه های ناموفق را بیان کرد. این مدل ابتدا با مقایسه نتایج چندین محصول متعدد که در بر گیرنده مسائل میزان تولید بود حل شد. لو و همکاران^۷ (۲۰۱۵) مسئله زمان بندی جریان کارگاهی ترکیبی با ماشین های غیرمرتبط را مورد بررسی قرار دادند. در ابتدا آن ها برای دستیابی به حل بهینه، مسئله را به صورت برنامه ریزی عدد صحیح مختلط فرموله نمودند. از

¹ Farwaha et al., (2025)

² Dos Santos et al.

³ Mahmud et al.

⁴ Zhang et al.

⁵ Suza et al.

⁶ Fitouhi and Nourelfath

⁷ Loh et al.

آنجایی که این مدل برای مسائلی با تعداد کار بیشتر از چهار کارایی نداشت، آن‌ها یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای شبیه‌سازی تبرید برای مسائل با اندازه بزرگتر پیشنهاد دادند. لین و همکاران^۸ (۲۰۱۵) در مقاله‌ای به ارزیابی قابلیت اطمینان برای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بر مبنای رویکردهای فرسایش سنتی و بیزین پرداخته و مدل ارائه‌شده خود را بر روی نمونه موردی در شرکت ساخت لوکوموتیو ارائه نمودند. آن‌ها در این مقاله با بررسی میزان فرسایش چرخ‌های لوکوموتیو با دو رویکرد ذکر شده، به ارزیابی سیاست نگهداری و تعمیرات بهینه پرداختند. رگاتیری و همکارانش^۹ (۲۰۱۵) در مقاله‌ای به ارائه یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی سیاست تعمیر و نگهداری در هواپیما پرداختند. در این مقاله با بررسی الزامات نگهداری و تعمیرات در هواپیما، راهکارها و خط‌مشی‌هایی به منظور بهینه‌سازی سیاست نگهداری و تعمیرات در هواپیما ارائه شد و بر روی هواپیمای A320 پیاده‌سازی و نتایج مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت.

رویز و ماروتو^{۱۰} (۲۰۱۶) همین مسئله را با الگوریتم فراابتکاری بر اساس الگوریتم ژنتیک برای مسئله جریان کارگاهی ترکیبی با ماشین‌های موازی غیرمرتبط با در نظرگیری زمان‌های راه‌اندازی وابسته به توالی و محدودیت شایستگی ماشین ارائه کردند. در این مسئله آن‌ها چندین مشخصه مسائل واقعی را با هم در نظر گرفتند. این مشخصه‌ها شامل زمان‌های در دسترس برای ماشین‌ها، وجود ماشین‌های موازی غیرمرتبط در هر مرحله، شایستگی ماشین و امکان عبور کارها از برخی مراحل بدون پردازش می‌شد. یانگ و همکارانش^{۱۱} (۲۰۱۷) در مقاله خود به ارائه یک سیاست نگهداری و تعمیرات در شرایط وجود شوک‌های خارجی پرداختند. آن‌ها در این مقاله، به منظور بررسی تأثیر شوک‌های خارجی بر روی ماشین‌ها، رویکرد جدیدی را در بحث نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه ارائه نمودند. آن‌ها در این مدل، بحث نگهداری بر مبنای سن دستگاه‌ها را مطرح نمودند و برای هر دستگاه متناسب با عمر و میزان کارکرد آن، سیاست نگهداری و تعمیرات خاصی ارائه کردند. لیو و همکارانش^{۱۲} (۲۰۱۷) در تحقیقی به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی یکپارچه نگهداری و تعمیرات و برنامه‌ریزی تولید با در نظرگیری هزینه‌ها و زمان‌های مربوط به آماده‌سازی مبتنی بر توالی ماشین‌آلات پرداختند.

در این راستا، مدل برنامه‌ریزی ریاضی مورد نظر با در نظرگیری موارد ذکر شده ارائه شد و سپس مسائل عددی در ابعاد مختلف حل شد که نتایج به‌دست‌آمده حکایت از کارکرد مناسب مدل ارائه‌شده داشت. میا و همکارانش^{۱۳} (۲۰۱۹) در تحقیقی به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه به منظور برنامه‌ریزی همزمان زمان فعالیت‌ها و همچنین نگهداری و تعمیرات در یک مسئله تولید کارگاهی با در نظرگیری توالی وابسته به زمان و زمان‌های راه‌اندازی پرداختند. مدل ارائه‌شده با بهره‌گیری از رویکردهای ابتکاری حل شد که نتایج به‌دست‌آمده حکایت از کارکرد مناسب رویکردهای ارائه‌شده داشت. امیری و همکارانش (۲۰۱۸) به ارائه مدلی یکپارچه برای برنامه‌ریزی همزمان زمان‌بندی و نگهداری و تعمیرات هاب‌های انرژی پرداختند. در این راستا، یک مدل یکپارچه به منظور زمان‌بندی و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات با در نظرگیری ریسک خرابی‌های تصادفی برای تجهیزات در نظر گرفته شد. به منظور حل مسئله از رویکرد محدودیت افسیلون استفاده شد. شاهین و همکارانش (۲۰۱۸) به توسعه بیشتر شبکه تصمیم‌گیری (DMG) پیشنهاد شده توسط اشرف لیب با پیشنهاد راه‌حلی نوآورانه برای تعیین تاکتیک‌های نگهداری پیشگیرانه بر اساس میانگین زمان بین خرابی‌ها (MTBF) و میانگین زمان تعمیر (MTTR) پرداختند. ابتدا تأثیر شاخص‌های MTTR و MTBF بر تاکتیک‌های نگهداری پیشگیرانه محاسبه شد. سپس تاکتیک‌ها به سلول‌های یک DMG با محورهای MTTR و MTBF اختصاص داده شد. ژانگ و همکارانش^{۱۴} (۲۰۱۹) به ارائه مدل فازی مبتنی بر قابلیت اطمینان و هزینه به منظور بهینه‌سازی برنامه نگهداری و تعمیرات تجهیزات نیروگاه بادی که در دریا واقع شده پرداختند. بدین منظور، یک مدل

⁸ Lin et al.

⁹ Regattieri et al.

¹⁰ Ruiz and Maroto

¹¹ Yang et al.

¹² Liu et al.

¹³ Miyaa et al.

¹⁴ Zhang et al.

برنامه ریزی ریاضی ارائه شد که دارای دو هدف بود: حداقل کردن هزینه های نگهداری و تعمیرات و حداکثر کردن قابلیت اطمینان تجهیزات. به منظور حل مسائل عددی، رویکرد ژنتیک چندهدفه نامغلوب ارائه شد. وانگ و یه^{۱۵} (۲۰۱۹) به ارائه یک رویکرد حل دقیق به منظور حل مسئله تعیین توالی و زمان بندی ماشین های موازی غیرمرتبط پرداختند. مسئله به صورت مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط مدل سازی شد.

توکلی مقدم و همکاران (۱۴۰۱) پس از به دست آوردن مدل یادگیری تقویتی زمان بندی با در نظر گرفتن نگهداری و تعمیرات پیشگويانه، چندین رویکرد ابتکاری برای ارزیابی مدل مطرح کردند. این مدل یادگیری در حالت های مختلف ورود کار به کارگاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از روش های دیگر زمان بندی، خروجی های بهتری را از خود نشان می دهد. مدل نت پیشگويانه، با چهار روش مدل سازی یادگیری مورد ارزیابی و کیفیت مدل ها مورد بررسی قرار گرفت. خاکساری و قندی بیدگلی (۱۴۰۲) مسأله زمان بندی جریان کارگاهی بدون انتظار با زمان آزادسازی کارها و فعالیت های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه را بررسی کردند. برای این مسأله یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه گردید. باتوجه به پیچیدگی مدل و-NP hard بودن مسأله مورد بررسی، جهت حل مسائل با ابعاد بزرگ الگوریتم فراابتکاری جستجوی هارمونی ترکیبی پیشنهاد شد. شهبازی و وحیدی (۱۴۰۳) در مقاله ای با عنوان بهینه سازی بر مبنای شبیه سازی تعداد ماشین آلات در مسئله زمان بندی تولید کارگاهی در شرایط عدم قطعیت و محدودیت بودجه و فضا ابتدا مدل ریاضی مسئله تولید کارگاهی با محدودیت های فضا و هزینه بیان شد، سپس مدل شبیه سازی برای m ماشین با n کار، که دارای توالی تولید مختلفی اند، طراحی و در نهایت با حل یک مثال عددی، جواب نزدیک به بهینه مسئله از لحاظ حداقل کردن تابع هدف مجموع هزینه دیرکرد و زودکرد به منظور تعیین تعداد بهینه ماشین آلات، با در نظر گرفتن قوانین اولویت بندی کارها در سلول های کاری با اجرای مدل و الگوریتم جستجوی پراکنشی و طراحی آزمایش ها بررسی شد. بعد از بررسی ادبیات موضوع، عوامل موثر بر یکپارچه سازی نگهداری و تعمیرات بر اساس بررسی مرور ادبیات و مطابق با نظر خبرگان به صورت جدول ۱ می باشد.

جدول شماره (۱): عوامل موثر بر یکپارچه سازی نگهداری و تعمیرات

ردیف	عامل	نماد	منبع
1	تعیین هزینه های نگهداری و تعمیر	C01	Moreno-Trejo et al., (2012)
2	تعیین هزینه های عملیاتی تولید	C02	
3	هزینه های از کار افتادن خط به دلیل انجام عملیات نگهداری و تعمیر	C03	
4	ابزار، مواد، قطعات یدکی و سایر تجهیزات موجود	C04	
5	مدیریت قطعات یدکی و مواد مصرفی	C05	Jasiulewicz-Kaczmarek. (2018)
6	همکاری با تولید کنندگان / تامین کنندگان ماشین آلات و تجهیزات	C06	
7	همکاری نگهداری و تعمیر با بخش تحقیق و توسعه	C07	
8	همکاری نگهداری و تعمیر با واحدهای تولید و کیفیت	C08	
9	آموزش پرسنل	C09	Sahu et al., (2008)
10	در نظر گرفتن چرخه عمر تجهیزات و تحلیل آن	C10	Jandali & Sweis (2018)
11	مدیر نگهداری و تعمیر با صلاحیت	C11	
12	زمان نصب و راه اندازی تجهیزات	C12	Darestani et al., (2020)
13	قابلیت و توانمندی های نیروی کار	C13	
14	بهینه سازی چیدمان تسهیلات	C14	Azadeh & Jebreili, (2013)
15	اعتبار سنجی و تایید چیدمان تسهیلات	C15	
16	چرخه نگهداری و تعمیر ماشین	C16	Wang et al., (2024)

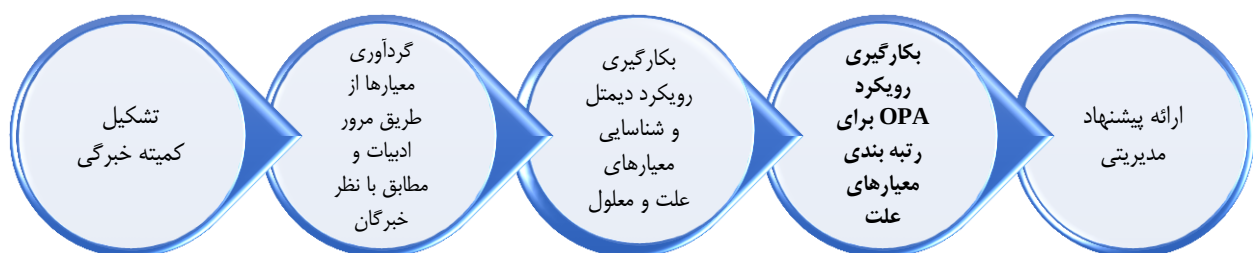
¹⁵ Wang and Ye

17	تعیین نرخ خرابی دستگاهها	C17	
18	ایجاد برنامه ریزی و زمان بندی برای انجام فعالیت های نگهداری و تعمیر	C18	Oliveira & Lopes. (2020)
19	مدت زمان آماده سازی قطعات بر روی تجهیزات و دستگاهها	C19	نظر خبرگان
20	مجموعه تمام پرسنل تولیدی و تعمیراتی	C20	نظر خبرگان

مرور ادبیات نشان می دهد عمده مطالعات یا بر زمان بندی/تولید در محیط های کارگاهی تمرکز داشته اند یا بر سیاست های نگهداری و قابلیت اطمینان؛ در حالی که شناسایی هم زمان معیارهای یکپارچه سازی نت و تولید و اولویت بندی آن ها در سیستم کارگاهی باز کمتر بررسی شده است. افزون بر این، بسیاری از پژوهش ها به هم بستگی معیارها بی توجه اند و یک چارچوب علی برای تفکیک «پیشران ها» از «پیامدها» ارائه نمی کنند. پژوهش حاضر این خلأ را با (۱) استخراج مجموعه ای منسجم از معیارها، (۲) ساختاردهی روابط علی-معلولی با دیمتل و (۳) ترجمه آن ساختار به اولویت های اجرایی به کمک OPA بر پایه داده های رتبه ای خبرگان، پوشش می دهد. از این رو، نوآوری مطالعه در پل زدن بین شناسایی وابستگی ها و تعیین اولویت های عملیاتی برای تصمیم گیران تولید و نت در محیط های واقعی کارگاهی باز است.

۲-روش تحقیق

در این بخش، به تشریح روش پژوهش پرداخته می شود، با توجه به هدف تعریف شده، پژوهش حاضر از نوع هدف کاربردی و از نوع گردآوری اطلاعات توصیفی می باشد. همانگونه که پیشتر اشاره شد، پژوهش فعلی رویکرد ترکیبی دیمتل-اولویت بندی ترتیبی را به کار می گیرد. بر اساس این رویکرد، گام های اجرا به صورت شکل ۱ می باشد که در ادامه به تشریح این رویکردها پرداخته می شود.



شکل شماره (۱): گام های اجرای رویکرد پیشنهادی پژوهش

جامعه خبرگان و شیوه انتخاب: خبرگان از میان مدیران و کارشناسان واحد تولید و واحد نت سازمان مطالعه موردی انتخاب شدند. ملاک های اصلی انتخاب شامل آشنایی حرفه ای با فرآیندهای نت/تولید و تجربه میدانی بود. در مجموع ۷ نفر در پیل خبرگی مشارکت کردند.

ابزار گردآوری داده ها: دو فرم رتبه بندی ساختاریافته طراحی شد: (الف) فرم رتبه بندی فاکتورها و (ب) فرم رتبه بندی معیارها برای هر فاکتور. به هر خبره دستورالعمل مکتوب درباره تعریف هر فاکتور/معیار و مثال های کاربردی ارائه شد.

نحوه تعامل و تضمین کیفیت داده: پیش از تکمیل فرم ها، یک نشست توجیهی کوتاه برای یکسان سازی درک مفاهیم برگزار شد. داده ها به صورت فردی گردآوری و سپس برای رفع ابهام ها با هر خبره بازبینی شد. در صورت مشاهده تعارض آشکار، توضیحات تکمیلی اخذ و ورودی نهایی ثبت گردید. محرمانگی پاسخ ها رعایت و نتایج فقط در سطح جمعی گزارش شد.

پردازش داده ها: داده های دیمتل برای برآورد ماتریس روابط مستقیم و محاسبات D و R به کار رفت. داده های رتبه ای OPA با استفاده از حل گر اختصاصی OPA پردازش شد تا اوزان خبرگان، فاکتورها و معیارها به دست آید. در نهایت، رتبه بندی نهایی معیارها گزارش شد.

الف) روش دیمتل

روش دیمتل برای آشکار کردن وابستگی متقابل یک متغیر به متغیر دیگر استفاده می شود. وابستگی متقابل بین متغیرها با کمک نمودار علی به نام نمودار نشان داده می شود این رابطه در مقیاس ۰ تا ۴ اندازه گیری می شود که در آن ۰ نشان می دهد که متغیر «x» هیچ تأثیری بر «y» ندارد و ۴ نشان می دهد که «x» به طور قابل توجهی بر «y» تأثیر می گذارد (Sharma et al, 2020). گام های اجرای این رویکرد ضمن حل و ارائه نتایج ارائه می گردد.

ب) روش اولویت بندی ترتیبی

با علم به هدف پژوهش فعلی رویکرد اولویت بندی ترتیبی پیشنهاد شده توسط عطایی و همکاران بکار گرفته می شود پیش از ارائه گام های رویکرد، مجموعه ها، شاخص ها، پارامترها و متغیرهای مدل به شرح ذیل می باشد:

جدول شماره (۲): مجموعه ها، شاخص ها و متغیرها در رویکرد OPA

مجموعه ها	
I	مجموعه خبره ها $\forall i \in I$
J	مجموعه معیارها $\forall j \in J$
K	مجموعه گزینه ها $\forall k \in K$
شاخص ها	
i	شاخص مربوط به خبره ها $(1, 2, \dots, p)$
j	شاخص مربوط به معیارها $(1, 2, \dots, n)$
k	شاخص مربوط به گزینه ها $(1, 2, \dots, m)$
متغیرها	
Z	تابع هدف
W_{ijk}^r	وزن (اهمیت) k امین گزینه بر اساس ویژگی r ام توسط متخصص در رتبه r
A_{ijk}^r	k امین گزینه بر اساس ویژگی j توسط متخصص i در رتبه r

در فرآیند تصمیم گیری می توان گزینه ها و شاخص ها و خبرگان را به عنوان سه ضلع مثلث تصمیم گیری به صورت همزمان در تعیین اهمیت یکدیگر دخالت داد. در این مدل پیشنهادی می شود بصورت همزمان از ویژگی های هریک از این اضلاع به منظور تصمیم گیری استفاده گردد و با روندی ساده تری از خبرگان پیرامون گزینه ها بر حسب شاخص ها اظهار نظر نماید و در پایان اهمیت هر یک از اجزاء مشخص خواهد گردید. فرض کنید بر حسب مراحل زیر رتبه بندی از k گزینه موجود می باشد:

- رتبه بندی خبرگان (بر حسب نمودار سازمانی، درجه علمی، سابقه و...)

- رتبه بندی شاخص ها توسط هر یک از خبرگان

- رتبه بندی گزینه ها بر اساس هر یک از شاخص ها توسط هر یک از خبرگان

با توضیحات ذکر شده و حل مدل (۵) می توان به مقادیر مناسب برای وزن (اهمیت) هر رتبه برای هر گزینه بر اساس رتبه شاخص و رتبه خبره دست یابیم.

$$\text{Max: } Z$$

s.t:

$$Z \leq i \left(j \left(r \left(W_{ijk}^r - W_{ijk}^{r+1} \right) \right) \right) \quad \forall i, j, r \quad (5)$$

$$Z \leq \sum_i \sum_j \sum_k^m W_{ijk}^m \quad \forall i, j, r = m$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k W_{ijk}^r = 1 \quad \forall r$$

$$W_{ijk}^r \geq 0$$

لازم به ذکر می باشد که متغیر تصمیم این مدل ریاضی خطی $W_{ijk}^{(r)}$ است که نشان دهنده وزن کاردینال گزینه k ام بر حسب شاخص j ام توسط خبره i ام در رتبه r ام است. از طریق حل مدل ریاضی خطی (۵) به ازای خبره (i) و شاخص (j) برای هر گزینه چند مقدار بدست خواهد آمد. بنابراین وزن گزینه ها، شاخص ها و خبرگان طبق روابط (۶)، (۷) و (۸) عبارت می باشند از:

$$\sum_k W_{ijk}^r \quad \forall i, j, r \quad (۶)$$

وزن شاخص ها:

$$\sum_j W_{ijk}^r \quad \forall i, k, r \quad (۷)$$

وزن خبرگان:

$$\sum_i W_{ijk}^r \quad \forall j, k, r \quad (۸)$$

در ادامه این بخش، بر اساس روابط ذکر شده، مراحل مدل پیشنهادی برای تصمیم گیری گروهی بیان خواهد شد. گام اول: تعیین خبرگان و کارشناسان آگاه به موضوع و رتبه بندی آنها؛ خبرگانی که بر اساس تخصصشان در تصمیم گیری شرکت می نمایند را رتبه بندی کنید. به منظور رتبه بندی می توان از چارت سازمانی، میزان سابقه و ... استفاده نمود. گام دوم: شناسایی شاخص های پژوهش: با توجه به موضوع تصمیم گیری شاخص های کلیدی مورد نظر انتخاب شوند. شاخص هایی که دارای زیرمعیار هستند، بر حسب زیرمعیارهای آنها در تصمیم گیری مشارکت داده شوند. گام سوم: رتبه بندی شاخص های پژوهش توسط هر یک از خبرگان آگاه به موضوع: در این مرحله، خبرگان بر اساس تخصصشان شاخص های تصمیم گیری را اولویت بندی می نمایند. در صورتی که از نظر برخی خبرگان بعضی از شاخص ها مهم نباشند در این صورت آن خبره می تواند آن شاخص ها را لحاظ نکند. گام چهارم: رتبه بندی گزینه ها بر اساس هر یک از شاخص ها توسط هر یک از خبرگان آگاه به موضوع: در این بخش از رویکرد، از خبرگان درخواست می گردد تا بر حسب هر یک از شاخص ها، گزینه ها را رتبه بندی نمایند که بصورت رابطه (۹) بیان میشود:

$$A_{ijk}^{(1)}, A_{ijk}^{(2)}, \dots, A_{ijk}^{(m)} \quad (۹)$$

که $A_{ijk}^{(r)}$ بیانگر رتبه گزینه k ام بر اساس شاخص j ام توسط خبره i ام است.

گام پنجم: یافتن وزن بهینه $(W_{ijk}^{(1)}, W_{ijk}^{(2)}, \dots, W_{ijk}^{(m)})$

به عنوان آخرین مرحله برای تعیین وزن بهینه گزینه k ام بر اساس شاخص j ام توسط خبره i ام در رتبه r ام از مدل ریاضی خطی (۵) استفاده می گردد. سپس با بکارگیری روابط (۶)، (۷) و (۸) به ترتیب وزن نهایی گزینه ها، شاخص ها و خبرگان محاسبه می شود که بر حسب این وزن ها می توان رتبه بندی انجام گیرد (Ataie et al., 2020). شایان ذکر است که علاوه بر مدل شرح داده شده، یکی از پتانسیل های این رویکرد، حل مدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار OPA Solver است که مطالعه فعلی نرم افزار ذکر شده را بکار می گیرد.

منطق ترکیب این دو روش بر اساس تلفیق قابلیت های مکمل آن ها شکل گرفته است: دیمتل با مدل سازی وابستگی ها و بازخوردهای میان معیارها و تفکیک رابطه علی و معلولی و نیز غربالگری معیارهای کلیدی، ساختار مسئله را در فاز شناخت

تحلیل می‌کند و نقشه علیّ ارائه می‌دهد؛ سپس در فاز تصمیم‌سازی اجرایی، OPA با استفاده از ورودی‌های رتبه‌ای ساده خبرگان و در نظرگیری هم‌زمان ابعاد سه‌گانه خبره‌ها، معیارها و فاکتورها در یک مدل خطی، بدون نیاز به مکانیزم‌های پیچیده ارزیابی سازگاری، اوزان پایدار تولید کرده و اولویت‌بندی نهایی را انجام می‌دهد. این مسیر شفاف «از تحلیل ساختار تا تعیین اولویت» نه تنها اهداف دوگانه پژوهش را محقق می‌سازد، بلکه با تقسیم فرآیند، خطر سوگیری یا بیش‌برازش ناشی از تکیه بر یک روش منفرد را نیز کاهش می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

در این بخش به ارائه نتایج بدست آمده پرداخته می‌شود. پیش از ارائه نتایج، اطلاعات جمعیت شناختی پژوهش فعلی که مدیران و کارشناسان واحد تولیدی و واحد نگهداری و تعمیرات کارخانه صنعت سازان اسپادانا می‌باشد در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول شماره (۳): اطلاعات جمعیت شناختی پژوهش

خبره‌ها	پست سازمانی	سابقه خدمت	تحصیلات
E ₁	معاونت تولید و بهره برداری	۲۱ سال	کارشناسی ارشد
E ₂	مدیر برنامه ریزی واحد نت	۱۹ سال	کارشناسی ارشد
E ₃	کارشناس واحد نت	۱۱ سال	کارشناسی
E ₄	کارشناس واحد نت	۳ سال	کارشناسی
E ₅	معاونت فنی و پشتیبانی	۱۸ سال	دکتری
E ₆	کارشناس بخش تولید	۱۴ سال	کارشناسی
E ₇	کارشناس بخش تولید	۵ سال	کارشناسی

مطابق با گام‌های تعریف شده، بعد از تشکیل کمیته خبرگی، وارد مرحله گردآوری معیارها می‌شویم که این معیارها بر اساس مرور ادبیات و نظر خبرگان به صورت جدول ۴ می‌باشد.

جدول شماره (۴): عوامل موثر بر یکپارچه سازی نگهداری و تعمیرات

ردیف	عامل	نماد	منبع
۱	تعیین هزینه های تعمیر و نگهداری	C01	Moreno-Trejo et al., (2012)
۲	تعیین هزینه های عملیاتی تولید	C02	
۳	هزینه های از کار افتادن خط به دلیل انجام عملیات تعمیر و نگهداری	C03	
۴	ابزار، مواد، قطعات یدکی و سایر تجهیزات موجود	C04	
۵	مدیریت قطعات یدکی و مواد مصرفی	C05	Jasiulewicz-Kaczmarek. (2018)
۶	همکاری با تولید کنندگان / تامین کنندگان ماشین آلات و تجهیزات	C06	
۷	همکاری تعمیر و نگهداری با بخش تحقیق و توسعه	C07	
۸	همکاری تعمیر و نگهداری با واحدهای تولید و کیفیت	C08	
۹	آموزش پرسنل	C09	Sahu et al., (2008)
۱۰	در نظر گرفتن چرخه عمر تجهیزات و تحلیل آن	C10	Jandali & Sweis (2018)
۱۱	مدیر تعمیر و نگهداری با صلاحیت	C11	
۱۲	زمان نصب و راه اندازی تجهیزات	C12	Darestani et al., (2020)
۱۳	قابلیت و توانمندی های نیروی کار	C13	
۱۴	بهینه سازی چیدمان تسهیلات	C14	Azadeh & Jebreili, (2013)
۱۵	اعتبار سنجی و تایید چیدمان تسهیلات	C15	
۱۶	چرخه تعمیر و نگهداری ماشین	C16	Wang et al., (2024)
۱۷	تعیین نرخ خرابی دستگاه ها	C17	
۱۸	ایجاد برنامه ریزی و زمان بندی برای انجام فعالیت های نگهداری و تعمیر	C18	Oliveira & Lopes. (2020)

ردیف	عامل	نماد	منبع
۱۹	مدت زمان آماده سازی قطعات بر روی تجهیزات و دستگاه ها	C19	نظر خبرگان
۲۰	مجموعه تمام پرسنل تولیدی و تعمیراتی	C20	نظر خبرگان

انتخاب معیارها از طریق استخراج اولیه از مطالعات حوزه های نگهداری، تولید و کارگاه های باز آغاز شد و سپس با تطبیق فهرست به دست آمده با بافت مطالعه موردی در واحد تولید و نت، اعتبارسنجی محتوایی به کمک پنل خبرگان انجام گرفت؛ در ادامه با حذف هم پوشانی ها و یکپارچه سازی عناوین، کدگذاری نهایی صورت پذیرفت. فاکتورهای رتبه بندی نیز بر اساس استدلالی هدفمند انتخاب شدند: میزان هزینه به عنوان انعکاس دهنده فشارهای بودجه ای یکپارچه سازی و هزینه مالکیت دارایی؛ میزان سودآوری به عنوان پیونددهنده تصمیمات نت و تولید با بازده اقتصادی و حاشیه سود؛ مدیریت صحیح منابع به منظور پوشش قیود کلیدی شامل نیروی انسانی، زمان، ماشین آلات و موجودی قطعات یدکی؛ استراتژی های رقابتی برای تضمین تناسب یکپارچه سازی با اهداف کسب مزیت رقابتی مانند کیفیت، انعطاف و تحویل؛ و فناوری های مدرن به منزله توانمندی فنی برای پشتیبانی از اجرای یکپارچه از طریق حسگرها، تحلیللات و نرم افزار. این معیارها و فاکتورها به گونه ای طراحی شده اند که هم پیشران های فنی-منابعی و هم پیامدهای اقتصادی-راهبردی را پوشش دهند تا نتایج پژوهش قابلیت پیاده سازی در تصمیم گیری های عملیاتی را داشته باشند و هم ترازای کاملی با اهداف پژوهش برقرار شود.

بعد از گردآوری، مرتب سازی و نهایی سازی معیارها، بر اساس نظر خبرگان مطالعه فعلی، وارد مرحله بعد که بکارگیری رویکرد دیمتل به منظور دسته بندی معیارها به دو دسته معیارهای تاثیرگذار و تاثیر پذیر می شویم. مطابق با گام های ذکر شده برای رویکرد دیمتل، نتایج بدست آمده در این مرحله به شرح ذیل می باشد:

در ابتدا، بر اساس نظر خبرگان اقدام به گردآوری ماتریس ارتباط مستقیم میان معیارها می گردد. بعد از تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم، اقدام به نرمال سازی این ماتریس می شود. در مرحله بعد اقدام به تشکیل ماتریس کل که مجموع تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم را نشان می دهد، می شود که به این منظور لازم است ماتریس (I-N) و ماتریس معکوس آن محاسبه شود. در نهایت ماتریس کل بدست آمد. پس از محاسبه ماتریس روابط کل، با در نظر گرفتن حد آستانه $0/363$ مجموع سطر و ستون های ماتریس که نشان دهنده میزان تاثیرگذاری (D) و تاثیرپذیری (R) هر شاخص می باشد محاسبه می شود. مقادیر نتایج حاصل شده از این محاسبات به صورت جدول ۵ می باشد.

جدول شماره (۵): میزان تاثیر گذاری و تاثیرپذیری شاخص ها

	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10
C01	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
C02	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
C03	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0
C04	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0
C05	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
C06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C07	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
C08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C09	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
C10	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
C11	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
C12	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0
C13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
C14	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
C15	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0
C16	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0

C17	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
C18	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
C19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
C20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ادامه جدول شماره (۵): میزان تاثیر گذاری و تاثیر پذیری شاخص ها

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C01	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
C02	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0
C03	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
C04	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
C05	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0
C06	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C07	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
C08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C09	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
C10	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
C11	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
C12	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
C13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C15	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
C16	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
C17	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
C18	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
C19	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
C20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

برای رسم دیاگرام علت و معلولی باید مقادیر D-R و D+R بدست آید. مقادیر D+R که محور افقی دیاگرام علت و معلولی را نشان می دهد به طور مشابه محور عمودی (D-R) نشان دهنده موقعیت یک عنصر در طول محور عرض ها می باشد. این موقعیت در صورت مثبت بودن مقدار به طور قطع تاثیرگذار است و در صورت منفی بودن آن به طور قطع تاثیر پذیر خواهد بود. جدول ۶ میزان تاثیر پذیری و تاثیر گذاری معیارها، رتبه بندی و دسته بندی آنها به دو گروه علت و معلول را ارائه می کند.

جدول شماره (۶): مرتب سازی شاخص ها بر اساس مقادیر D، R، D+R و D-R

Index	R	D	R+D	R-D	Cause/Effect
C01	۷/۹۹	۷/۶۰	۱۵/۵۹	-۰/۳۹	Cause
C02	۷/۰۷	۶/۷۳	۱۳/۸۰	-۰/۳۴	Cause
C03	۷/۳۰	۷/۵۱	۱۴/۸۱	-۰/۲۲	Effect
C04	۷/۶۹	۶/۸۰	۱۴/۴۸	-۰/۸۹	Cause
C05	۷/۵۳	۷/۶۲	۱۵/۱۶	-۰/۰۹	Effect
C06	۶/۴۰	۶/۱۸	۱۲/۵۸	-۰/۲۲	Cause
C07	۷/۴۵	۸/۲۴	۱۵/۶۹	-۰/۷۹	Effect
C08	۶/۰۶	۷/۴۹	۱۳/۵۴	-۱/۴۳	Effect
C09	۶/۹۴	۷/۶۳	۱۴/۵۶	-۰/۶۹	Effect
C10	۷/۵۸	۶/۲۴	۱۳/۸۲	۱/۳۵	Cause
C11	۷/۴۷	۷/۵۳	۱۵/۰۰	-۰/۰۶	Effect
C12	۷/۳۶	۸/۱۲	۱۵/۴۹	-۰/۷۶	Effect
C13	۶/۴۷	۶/۴۲	۱۲/۹۰	-۰/۰۵	Cause
C14	۸/۰۹	۸/۱۵	۱۶/۲۴	-۰/۰۶	Effect
C15	۷/۷۹	۷/۷۱	۱۵/۵۰	-۰/۰۸	Cause

Index	R	D	R+D	R-D	Cause/Effect
C16	۷/۹۹	۶/۶۴	۱۴/۶۳	۱/۳۵	Cause
C17	۷/۸۳	۶/۴۳	۱۴/۲۶	۱/۴۰	Cause
C18	۷/۸۷	۷/۷۱	۱۵/۵۷	۰/۱۶	Cause
C19	۶/۴۷	۷/۵۳	۱۴/۰۰	-۱/۰۶	Effect
C20	۶/۲۰	۷/۱۲	۱۳/۳۲	-۰/۹۳	Effect

الف) خوانش عمیق تر دیمتل

- قرارگیری معیارهای هزینه ای/منابعی در ناحیه علت (مانند تعیین هزینه های نت/تولید، چرخه نت ماشین، نرخ خرابی، برنامه ریزی و زمان بندی نت و...)، نشان می دهد اهرم های اقتصادی و ظرفیت منابع، محرک های بالادستی یکپارچه سازی اند.
- معیارهای همکارانه/آموزشی و بخشی از چیدمان، عمدتاً در ناحیه معلول قرار گرفته اند؛ یعنی بهبود آن ها پیامد اصلاح پیشران های هزینه-منابع است.
- دلالت مدیریتی: تمرکز سرمایه گذاری و بهبود فرایندی باید نخست بر معیارهای علی باشد (شفاف سازی هزینه ها، بهینه سازی موجودی قطعات، برنامه ریزی نت و مدیریت چرخه عمر)، چراکه حرکت این اهرم ها اثرات آشناری بر معیارهای معلولی دارد.

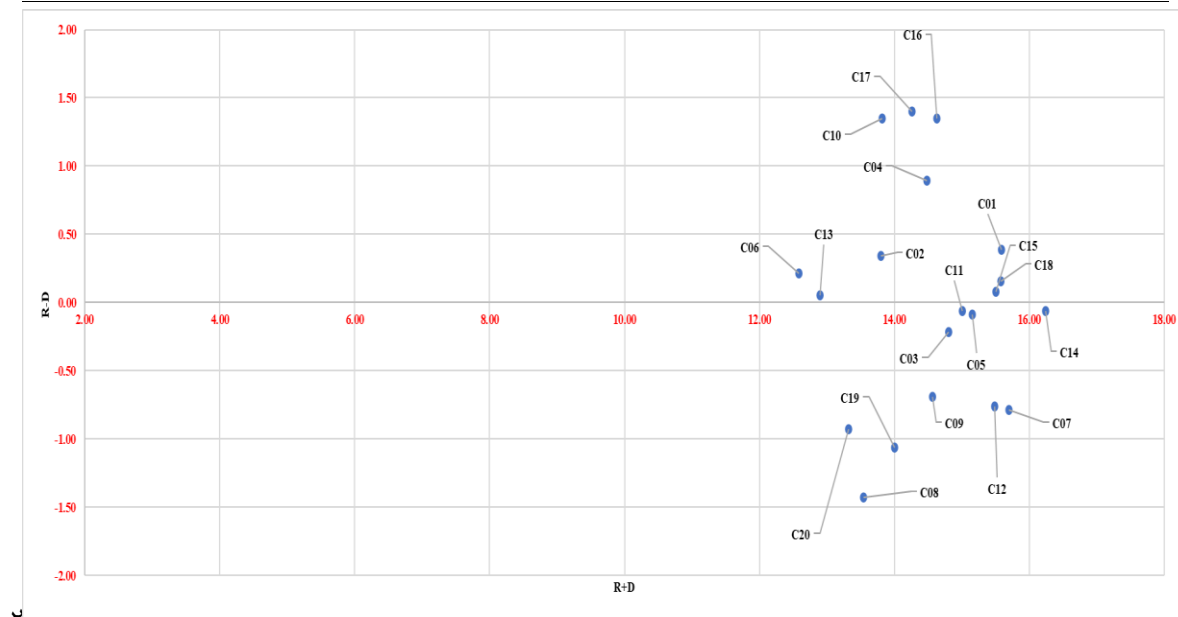
ب) خوانش عمیق تر OPA

- در سطح فاکتورها، «مدیریت صحیح منابع» وزن بالاتری دارد؛ لذا طبیعی است معیارهایی که به موجودی قطعات یدکی/تجهیزات و بهره برداری از منابع گره می خورند، در صدر قرار گیرند.
- چینش نهایی معیارها نشان می دهد منابع فیزیکی (قطعات/مواد/ابزار) و هزینه ها (تولید/نت) سه ضلعی اصلی اهمیت را می سازند؛ این هم سویی فاکتورها و معیارها اعتبار برون نمونه ای نتایج را تقویت می کند.

ج) تحقق اهداف پژوهش و مقایسه گزیده

- هدف شناسایی-ساختاردهی-اولویت بندی محقق شده است: دیمتل نقشه علی و غربالگری را فراهم کرده و OPA وزن ها و رتبه ها را تولید نموده است.
- برون داده ها با جهت گیری ادبیات هم خوان است: مطالعات پیشین نیز اهمیت مدیریت قطعات یدکی، برنامه ریزی نت و هزینه محوری را برجسته کرده اند؛ در این مطالعه، این موضوع در قالب نقشه علی + اوزان قابل تصمیم گیری تلفیق شده است.

اساس جدول ۶ دیاگرام علت و معلولی به صورت شکل ۲ قابل مشاهده می باشد.



بر

شکل شماره (۲): دیاگرام علت و معلولی معیارها

با در نظر گرفتن دیاگرام علت و معلولی، معیارهای تاثیرگذار (علت) به صورت جدول ۷ بدست می آید.

جدول شماره (۷): معیارهای تاثیرگذار (علت)

ردیف	عامل	نماد
۱	تعیین هزینه های تعمیر و نگهداری	C01
۲	تعیین هزینه های عملیاتی تولید	C02
۳	ابزار، مواد، قطعات یدکی و سایر تجهیزات موجود	C04
۴	همکاری با تولید کنندگان / تامین کنندگان ماشین آلات و تجهیزات	C06
۵	در نظر گرفتن چرخه عمر تجهیزات و تحلیل آن	C10
۶	قابلیت و توانمندی های نیروی کار	C13
۷	اعتبار سنجی و تایید چیدمان تسهیلات	C15
۸	چرخه تعمیر و نگهداری ماشین	C16
۹	تعیین نرخ خرابی دستگاه ها	C17
۱۰	ایجاد برنامه ریزی و زمان بندی برای انجام فعالیت های نگهداری و تعمیر	C18

بر اساس گام های تعریف شده در رویکرد OPA، بعد از تعریف شاخص ها که در این مطالعه همان عوامل موثر بر زنجیره تامین و نقش بالانس خط تولید در آن می باشند، نیازمند تعریف فاکتورهایی برای رتبه بندی شاخص های تاثیرگذاری می باشیم، که به صورت جدول ۸ می باشد:

جدول شماره (۸): فاکتورهای در نظر گرفته برای رتبه بندی معیارها

ردیف	فاکتور	نماد
۱	میزان هزینه	F ₁
۲	میزان سودآوری	F ₂
۳	مدیریت صحیح منابع	F ₃
۴	تدوین استراتژی های رقابتی	F ₄
۵	بکارگیری فناوری های مدرن	F ₅

با در نظر گرفتن جداول ورودی ۶ و ۷ گام های اجرا و نتایج بدست آمده در هر مرحله به صورت ذیل می باشد:

مرحله اول: رتبه بندی خبرگان (بر اساس نمودار سازمانی، درجه علمی، سابقه و...)

بر اساس گام‌های رویکرد پیشنهادی، به منظور رتبه‌بندی خبرگان، این پژوهش بر آن شده است که خبرگان را در وهله نخست بر اساس سابقه خدمت و در صورت تساوی بودن سابقه خدمت، بر اساس تحصیلات رتبه‌بندی نماید. لذا رتبه‌بندی ۷ خبره این پژوهش با در نظر گرفتن اطلاعات جمعیت شناختی از مدیران و کارشناسان واحد تولیدی و واحد نگهداری و تعمیرات کارخانه صنعت سازان اسپادانا در جدول ۹ قابل مشاهده می‌باشد:

جدول شماره (۹): رتبه‌بندی خبرگان

رتبه	خبره‌ها	پست سازمانی	سابقه خدمت	تحصیلات
۱	E ₁	معاونت تولید و بهره برداری	۲۱ سال	کارشناسی ارشد
۲	E ₂	مدیر برنامه ریزی واحد نت	۱۹ سال	کارشناسی ارشد
۵	E ₃	کارشناس واحد نت	۱۱ سال	کارشناسی
۷	E ₄	کارشناس واحد نت	۳ سال	کارشناسی
۳	E ₅	معاونت فنی و پشتیبانی	۱۸ سال	دکتری
۴	E ₆	کارشناس بخش تولید	۱۴ سال	کارشناسی
۶	E ₇	کارشناس بخش تولید	۵ سال	کارشناسی

مرحله دوم: رتبه‌بندی فاکتورها توسط هر یک از خبرگان
در این مرحله از رویکرد از اعضای کمیته خبرگی درخواست گردید، فاکتورهایی که برای رتبه‌بندی معیارها در نظر گرفته می‌شود را بر اساس تجربه کاری خویش رتبه‌بندی نمایند که به صورت جدول ۱۰ می‌باشد:

جدول شماره (۱۰): رتبه‌بندی فاکتورها توسط خبرگان

Experts	Factors				
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Expert 1	۴	۳	۱	۵	۲
Expert 2	۱	۳	۲	۵	۴
Expert 3	۴	۱	۲	۳	۵
Expert 4	۵	۳	۱	۲	۴
Expert 5	۵	۳	۲	۴	۲
Expert 6	۳	۱	۲	۵	۴
Expert 7	۲	۵	۱	۴	۳

مرحله سوم: رتبه‌بندی معیارها (عوامل تاثیر گذار بر زنجیره تامین) توسط هر یک از خبرگان
در این مرحله از رویکرد OPA، معیارهایی که هدف رتبه‌بندی آنها را داریم، توسط خبرگان رتبه‌بندی می‌شوند که به شرح جدول ۱۱ می‌باشد.

جدول شماره (۱۱): رتبه بندی معیارها توسط خبرگان

Experts	Criteria	Factors									
		C ₀₁	C ₀₂	C ₀₄	C ₀₆	C ₁₀	C ₁₃	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈
Expert 1	F1	۳	۵	۱	۲	۶	۴	۹	۷	۸	۱۰
	F2	۲	۴	۱	۸	۷	۳	۶	۱۰	۹	۵
	F3	۴	۱	۲	۵	۳	۱۰	۹	۸	۷	۶
	F4	۵	۱	۲	۴	۳	۸	۹	۶	۷	۱۰
	F5	۴	۲	۳	۵	۶	۱	۸	۷	۱۰	۹
Expert 2	F1	۱	۳	۲	۶	۷	۴	۵	۹	۸	۱۰

		F2	۴	۵	۱	۲	۳	۷	۹	۱۰	۶	۸
		F3	۶	۵	۲	۱	۳	۴	۱۰	۹	۷	۸
		F4	۵	۲	۶	۱	۴	۳	۹	۱۰	۷	۸
		F5	۴	۵	۲	۱	۳	۹	۷	۱۰	۶	۸
Expert 3	F1	۵	۶	۱	۳	۲	۸	۷	۹	۱۰	۶	
	F2	۳	۴	۲	۵	۱	۷	۶	۸	۹	۱۰	
	F3	۲	۱	۴	۳	۵	۶	۹	۱۰	۸	۷	
	F4	۴	۳	۲	۱	۷	۶	۸	۷	۵	۹	
	F5	۵	۶	۱	۲	۳	۸	۷	۴	۱۰	۹	
Expert 4	F1	۳	۵	۶	۱	۲	۴	۹	۸	۷	۱۰	
	F2	۳	۶	۵	۲	۱	۸	۷	۹	۱۰	۴	
	F3	۲	۱	۶	۴	۵	۹	۸	۷	۳	۱۰	
	F4	۴	۳	۵	۲	۱	۸	۷	۹	۳	۱۰	
	F5	۲	۵	۱	۳	۴	۶	۷	۱۰	۸	۹	
Expert 5	F1	۳	۴	۱	۲	۵	۶	۸	۷	۹	۱۰	
	F2	۴	۳	۵	۱	۲	۷	۶	۸	۹	۱۰	
	F3	۲	۴	۵	۶	۳	۱	۹	۱۰	۷	۸	
	F4	۴	۳	۶	۵	۱	۲	۸	۷	۹	۱۰	
	F5	۵	۶	۱	۲	۳	۷	۴	۹	۸	۱۰	
Expert 6	F1	۴	۵	۱	۳	۲	۶	۷	۹	۱۰	۸	
	F2	۲	۳	۱	۴	۵	۷	۶	۸	۹	۱۰	
	F3	۴	۳	۲	۱	۶	۷	۹	۱۰	۵	۸	
	F4	۲	۳	۴	۱	۵	۸	۷	۹	۱۰	۶	
	F5	۱	۲	۴	۶	۷	۸	۹	۱۰	۳	۵	
Expert 7	F1	۲	۱	۳	۵	۸	۴	۶	۹	۱۰	۷	
	F2	۳	۲	۴	۱	۵	۷	۸	۶	۱۰	۹	
	F3	۱	۳	۲	۴	۶	۷	۸	۵	۹	۱۰	
	F4	۲	۴	۳	۱	۸	۷	۶	۱۰	۵	۹	
	F5	۲	۱	۳	۴	۶	۵	۹	۷	۸	۱۰	

نتایج بدست آمده از رویکرد پیشنهادی در قالب سه خروجی وزن خبرگان، فاکتورها و معیارها به شرح ذیل می باشد:

الف) محاسبه وزن خبرگان: وزن ۷ خبره در نظر گرفته شده در جدول ۱۲ قابل مشاهده است.

جدول شماره (۱۲): وزن خبرگان

خبره ها	پست سازمانی	رتبه	وزن خبره ها
E ₁	معاونت تولید و بهره برداری	۱	۰/۳۸۶۱۱۷
E ₂	مدیر برنامه ریزی واحد نت	۲	۰/۱۹۳۰۵۸
E ₃	کارشناس واحد نت	۵	۰/۰۷۶۲۰۹
E ₄	کارشناس واحد نت	۷	۰/۰۵۵۰۲۹
E ₅	معاونت فنی و پشتیبانی	۳	۰/۱۲۸۷۰۶
E ₆	کارشناس بخش تولید	۴	۰/۰۹۶۵۲۹
E ₇	کارشناس بخش تولید	۶	۰/۰۶۴۳۵۳

ب) محاسبه وزن فاکتورها

در این مرحله از رویکرد، به محاسبه وزن فاکتورها بر اساس نظر خبرگان پرداخته می شود که این اوزان بر اساس نظر خبرگان به صورت جدول ۱۳ می باشد.

جدول شماره (۱۳): اوزان شاخص ها بر اساس رویکرد OPA			
ردیف	شاخص	نماد	وزن شاخص ها
۱	میزان هزینه	F ₁	۰/۱۷۸۵۵۶
۲	میزان سودآوری	F ₂	۰/۱۹۳۱۲۵
۳	مدیریت صحیح منابع	F ₃	۰/۳۵۸۱۳۴
۴	تدوین استراتژی های رقابتی	F ₄	۰/۱۰۳۶۷۶
۵	بکارگیری فناوری های مدرن	F ₅	۰/۱۶۶۵۰۹

ج) محاسبه وزن معیارهای موثر (گزینه ها)
در آخرین گام از رویکرد OPA، بعد از محاسبه اوزان خبره ها و فاکتورها، به محاسبه اوزان معیارهای موثر پرداخته می شود که در جدول ۱۴ قابل مشاهده می باشد.

جدول شماره (۱۴): اوزان معیارها بر اساس رویکرد OPA			
ردیف	عامل	نماد	وزن
۱	تعیین هزینه های تعمیر و نگهداری	C01	۰/۱۴۸۰۵۳
۲	تعیین هزینه های عملیاتی تولید	C02	۰/۱۶۷۳۲۲
۳	ابزار، مواد، قطعات یدکی و سایر تجهیزات موجود	C04	۰/۱۹۴۸۱۴
۴	همکاری با تولید کنندگان / تامین کنندگان ماشین آلات و تجهیزات	C06	۰/۱۴۳۶۳۳
۵	در نظر گرفتن چرخه عمر تجهیزات و تحلیل آن	C10	۰/۱۱۷۲۱۷
۶	قابلیت و توانمندی های نیروی کار	C13	۰/۰۸۳۴۰۹
۷	اعتبار سنجی و تایید چیدمان تسهیلات	C15	۰/۰۴۲۵۵۸
۸	چرخه تعمیر و نگهداری ماشین	C16	۰/۰۳۱۸۶۶
۹	تعیین نرخ خرابی دستگاه ها	C17	۰/۰۳۷۱۷۴
۱۰	ایجاد برنامه ریزی و زمان بندی برای انجام فعالیت های نگهداری و تعمیر	C18	۰/۰۳۳۹۵۴

بر اساس خروجی این مرحله مشخص می باشد که معیارهای ابزار، مواد، قطعات یدکی و سایر تجهیزات موجود، تعیین هزینه های عملیاتی تولید و تعیین هزینه های تعمیر و نگهداری به ترتیب با اوزان ۰/۱۹۴۸۱۴، ۰/۱۶۷۳۲۲ و ۰/۱۴۸۰۵۳ به ترتیب در جایگاه های اول تا سوم از نظر اهمیت قرار گرفتند.

نتایج تحقیق و پیشنهادات به صورت زیر ارائه می گردد: زمان بندی تولید یک جنبه بسیار حیاتی در مدیریت یک سیستم کارگاهی باز است. این سیستم ها معمولاً تشکیل شده از تعداد زیادی از کارگران و ماشین آلات متنوع هستند که در یک محیط پویا و پیچیده به کار می روند. از اینرو در یک سیستم کارگاهی باز، هماهنگی بین اجزای ماشین ها، اجزاء مختلف تولید و حمل و نقل بسیار حائز اهمیت است. برنامه ریزی زمان بندی باید به گونه ای باشد که تعاملات بین اجزاء بهینه شود و هیچ ایجاد موانعی برای جریان تولید نشود. از این جنبه شناسایی عوامل موثر بر یکپارچه سازی فعالیت های زنجیره تامین موضوع برجسته ای می شود. با این ایده، مطالعه فعلی شناسایی معیارهای تاثیرگذار بر یکپارچه سازی نگهداری و تعمیرات در سیستم کارگاهی باز را هدف خود قرار داده است. بر اساس گام های رویکرد ترکیبی پیشنهادی در این پژوهش، در مرحله نخست، بعد از بررسی ادبیات موضوع و مشورت با خبرگان، فهرست اولیه ای از معیارها گردآوری شد. در مرحله بعد با استفاده از رویکرد دیمتل با تعیین روابط علت و معلولی میان معیارها، به غربالگری آنها پرداخته شد. با ۱۰ معیار غربالگری شده، در مرحله اولویت بندی، معیارهای ابزار، مواد،

قطعات یدکی و سایر تجهیزات موجود، تعیین هزینه های عملیاتی تولید و تعیین هزینه های تعمیر و نگهداری به عنوان معیارهای با اهمیت شناسایی شدند.

بر اساس نتایج بدست آمده در ادامه به ارائه برخی پیشنهادات مدیریتی پرداخته می شود. بر مدیران و کارشناسان واحدهای تولیدی پوشیده نمی باشد که فعالیت های نگهداری و تعمیرات سهم قابل توجهی از هزینه های سیستم های تولیدی را شامل می شود. از طرف دیگر امروزه تکنولوژی های مبتنی بر فناوری اطلاعات تحت عنوان سیستم های هوشمند برای واحدهای نگهداری و تعمیرات رشد بسیار چشم گیری داشته است. از اینرو با توجه به سیستم تولیدی، تعداد اپراتورها، دستگاه، توسعه یکی از روش های نوین نگهداری و تعمیرات که در آن یک سامانه هوشمند به تعیین تعمیر یا تعویض بر اساس سطوح مختلفی از قبیل مدت زمان کارکرد و پایداری سیستم می پردازد، پیشنهاد می شود. یکی دیگر از مسائل مهم در حوزه تصمیم گیری در واحدهای نگهداری و تعمیرات، تعیین زمان بهینه استفاده از تجهیزات و مواد و قطعات می باشد. چرا که جایگزینی پیش از موعد، هزینه های اضافی برای آن واحد در پی خواهد داشت و برعکس جایگزینی دیرتر از موعد منجر به افزایش هزینه های نگهداری و تعمیرات می شود. از اینرو آگاهی از عمر مفید تجهیزات می تواند مدیریت تجهیزات را تسهیل کند و مانع از ایجاد هزینه های اضافی شود.

۴-منابع

- Amiri, S., & Honarvar, M. (2018). Providing an integrated Model for Planning and Scheduling Energy Hubs and preventive maintenance. *Energy*, 163, 1093-1114. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.046>
- Ataei, Y., Mahmoudi, A., Feylizadeh, M. R., & Li, D. F. (2020). Ordinal priority approach (OPA) in multiple attribute decision-making. *Applied Soft Computing*, 86, 105893. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105893>
- Avakh Darestani, S., Palizban, T., & Imannezhad, R. (2022). Maintenance strategy selection: a combined goal programming approach and BWM-TOPSIS for paper production industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28(1), 14-36. [10.1108/JQME-03-2019-0022](https://doi.org/10.1108/JQME-03-2019-0022)
- Azadeh, A., & Jibreili, S. (2013). An Integrated Fuzzy Algorithm for Job Shop Layout Optimization: The Case of Maintenance Workshop Process. In *2nd International Conference on Mechanical, Automobile and Robotics Engineering* (pp. 17-18).
- Berthaut, F., Gharbi, A., & Dhouib, K. (2011). Joint modified block replacement and production/inventory control policy for a failure-prone manufacturing cell. *Omega*, 39(6), 642-654. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.01.006>
- Bouslah, B., Gharbi, A., & Pellerin, R. (2016). Integrated production, sampling quality control and maintenance of deteriorating production systems with AOQL constraint. *Omega*, 61, 110-126. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.07.012>
- dos Santos, C. F., Loures, E. D. F. R., & Santos, E. A. P. (2024). A smart framework to perform a criticality analysis in industrial maintenance using combined MCDM methods and process mining techniques. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13193-8>
- Ertogral, K., & Öztürk, F. S. (2019). An integrated production scheduling and workforce capacity planning model for the maintenance and repair operations in airline industry. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 832-840. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.022>
- Farwaha, H. S., Singh, S., Ranjan, N., Grewal, J. S., & Pandey, S. (2025). MCDM methods for boom placer maintenance strategy design: a case study in a construction sector. *Safety in Extreme Environments*, 7(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s42797-024-00116-9>
- Fitouhi, M. C., & Nourelfath, M. (2014). Integrating noncyclical preventive maintenance scheduling and production planning for multi-state systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 121, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.07.009>
- Goli, A., Tirkolaei, E. B., & Aydın, N. S. (2021). Fuzzy integrated cell formation and production scheduling considering automated guided vehicles and human factors. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 29(12), 3686-3695. [10.1109/TFUZZ.2021.3053838](https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2021.3053838)
- Jandali, D., & Sweis, R. (2018). Assessment of factors affecting maintenance management of hospital buildings in Jordan. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 24(1), 37-60. [10.1108/JQME-12-2016-0074](https://doi.org/10.1108/JQME-12-2016-0074)

- Jasiulewicz-Kaczmarek, M. (2018). Identification of maintenance factors influencing the development of sustainable production processes—a pilot study. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 400, p. 062014). IOP Publishing. DOI 10.1088/1757-899X/400/6/062014
- Khaksari, P. Ghandi Bidgoli, S. (1402). Mathematical modeling and solving the scheduling problem of workshop flow without waiting, considering release time and preventive maintenance activities, *Industrial Engineering Researches in Production Systems*, Volume 11(23), pp. 39-55. DOI: <https://dx.doi.org/10.22084/IER.2024.5564>
- Kim, J., & Gershwin, S. B. (2008). Analysis of long flow lines with quality and operational failures. *IIE transactions*, 40(3), 284-296. <https://doi.org/10.1080/07408170701558607>.
- Lin, J., Pulido, J., & Asplund, M. (2015). Reliability analysis for preventive maintenance based on classical and Bayesian semi-parametric degradation approaches using locomotive wheel-sets as a case study. *Reliability Engineering & System Safety*, 134, 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.res.2014.10.011>
- Liu, J., Shi, J., & Hu, S. J. (2006, January). Quality Assured Setup Planning Based on the Stream-of-Variation Model for Multi-Stage Machining Processes. In *International Manufacturing Science and Engineering Conference* (Vol. 47624, pp. 529-538). <https://doi.org/10.1115/MSEC2006-21065>
- Liu, Q., Dong, M., & Chen, F. F. (2018). Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 51, 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.01.002>
- Liu, X., Wang, W., & Peng, R. (2017). An integrated preventive maintenance and production planning model with sequence-dependent setup costs and times. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(8), 2451-2461. <https://doi.org/10.1002/qre.2202>
- Mahmud, I., Ismail, I., Abdulkarim, A., Shehu, G. S., Olarinoye, G. A., & Musa, U. (2024). Selection of an appropriate maintenance strategy using analytical hierarchy process of cement plant. *Life Cycle Reliability and Safety Engineering*, 13(2), 103-109. <https://doi.org/10.1007/s41872-024-00249-7>
- Miyata, H. H., Nagano, M. S., & Gupta, J. N. (2019). Integrating preventive maintenance activities to the no-wait flow shop scheduling problem with dependent-sequence setup times and makespan minimization. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.034>
- Moreno-Trejo, J., Kumar, R., & Markeset, T. (2012). Factors influencing the installation and maintenance of subsea petroleum production equipment: a case study. *Journal of quality in maintenance engineering*, 18(4), 454-471. <https://doi.org/10.1108/13552511211281606>
- Oliveira, M. A., & Lopes, I. (2020). Evaluation and improvement of maintenance management performance using a maturity model. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(3), 559-581. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2018-0247>
- Regattieri, A., Giazzi, A., Gamberi, M., & Gamberini, R. (2015). An innovative method to optimize the maintenance policies in an aircraft: General framework and case study. *Journal of air transport management*, 44, 8-20. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.02.001>
- Ruiz R, Maroto C. (2016). A genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times and machine eligibility. *European Journal of Operational Research*. 169(3):781-800. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.06.038>
- Sahu, V. K., Agnihotri, G., & Sadiwala, C. M. (2008). An empirical study on total quality management in maintenance and repair workshops in India. In *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 1557-1561). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2008.4738133>
- Sana, S. S. (2012). Preventive maintenance and optimal buffer inventory for products sold with warranty in an imperfect production system. *International Journal of Production Research*, 50(23), 6763-6774. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.623838>

- Shahbazi, A. Vahidy, H. (2024), Optimization Based on Simulation Studies of the Number of Machinery on the Workshop Production Scheduling Under Uncertainty Conditions and Space and Budget Constraints, *Research in Production and Operations Management*, 15(1), 113-136. [10.22108/pom.2024.137960.1511](https://doi.org/10.22108/pom.2024.137960.1511).
- Shahin, A., Aminsabouri, N., & Kianfar, K. (2018). Developing a Decision Making Grid for determining proactive maintenance tactics: A case study in the steel industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(8), 1296-1315. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2017-0273>
- Sharma, M., Joshi, S., & Kumar, A. (2020). Assessing enablers of e-waste management in circular economy using DEMATEL method: An Indian perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 13325-13338. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07765-w>
- Souza, R. L. C., Ghasemi, A., Saif, A., & Gharaei, A. (2022). Robust job-shop scheduling under deterministic and stochastic unavailability constraints due to preventive and corrective maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 168, 108130. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108130>
- Tavakli Moghadam, H. Dzagri, H. Amin Naseri, M. R. (1401). Real-time workshop work scheduling and dynamic predictive maintenance using machine learning, *Journal of Decision and Operations Research*, Volume 7(3), pp. 515-496. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.3.8.7>
- Wang, L., Zhang, Z., & Yin, Y. (2022). Order acceptance and scheduling problem with outsourcing in seru production system considering lot-spitting. *European Journal of Industrial Engineering*, 16(1), 91-116. <https://doi.org/10.1504/EJIE.2022.119371>
- Wang, S., & Ye, B. (2019). Exact methods for order acceptance and scheduling on unrelated parallel machines. *Computers & Operations Research*, 104, 159-173. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.12.016>
- Wang, Y., Xia, T., Xu, Y., Ding, Y., Zheng, M., Pan, E., & Xi, L. (2024). Joint optimization of flexible job shop scheduling and preventive maintenance under high-frequency production switching. *International Journal of Production Economics*, 269, 109163. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109163>
- Yang, L., Ma, X., Peng, R., Zhai, Q., & Zhao, Y. (2017). A preventive maintenance policy based on dependent two-stage deterioration and external shocks. *Reliability Engineering & System Safety*, 160, 201-211. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.12.008>
- Zhang, H., Buchmeister, B., Li, X., & Ojstersek, R. (2023). An Efficient Metaheuristic Algorithm for Job Shop Scheduling in a Dynamic Environment. *Mathematics*, 11(10), 2336. <https://doi.org/10.3390/math11102336>
- Zhao, Z., & Zhou, H. (2022). A Hybrid Optimization Method for Manufacturing Cell Scheduling with Random Interruptions Based on Improved Wolf Pack Algorithm and Simulation. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2173, No. 1, p. 012075). IOP Publishing, DOI 10.1088/1742-6596/2173/1/012075
- Zhao, Z., Zhou, H., & Lei, Y. (2022). A Simulation Optimization Model for Cell Scheduling Considering Energy Consumption and Machine Breakdown. In *Proceedings of 2021 Chinese Intelligent Systems Conference* (pp. 126-133). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6328-4_15
- Zhong, S., Pantelous, A. A., Goh, M., & Zhou, J. (2019). A reliability-and-cost-based fuzzy approach to optimize preventive maintenance scheduling for offshore wind farms. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 124, 643-663. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.02.012>

Identification and Ranking of Influential Criteria for the Integration of Maintenance and Production Planning in Open Job Shop Systems

Samiria Karimi Sefid-Dashti

Departemen of Industrial Engineering, Najaf Abad Branch, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran

Majid Vaziri Sarashk (Corresponding Author)

Departemen of Industrial Engineering, Najaf Abad Branch, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran
Email: Ma.vs1360@iau.ac.ir

Gholamreza Esmailian

Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, PO BOX 19395-3697, Tehran, Iran

Abstract

Production planning and scheduling are critical for optimizing the performance of manufacturing systems. In practical industrial contexts—including the scheduling of maintenance, cleaning, production runs, and related tasks—delays in task execution often necessitate a subsequent increase in the effort or resources required for completion. This phenomenon is formally recognized in the literature as time-dependent deterioration. Consequently, the integration of maintenance planning with production scheduling, particularly within open job shop environments, represents a significant and complex operational challenge. Addressing the identified research gap, namely the limited investigation into the critical factors influencing this integration, this study examines the phenomenon within an open job shop production system. A hybrid multi-criteria decision-making (MCDM) framework, integrating the Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and the Ordinal Priority Approach (OPA), is employed. The DEMATEL method is first applied to analyze the interrelationships among an initial set of 20 criteria (coded C01–C20) and to filter the most influential ones. The subsequent Ordinal Priority Approach is then used to definitively rank these screened criteria. The analysis yielded two primary results. First, the DEMATEL screening process refined the initial set of 20 criteria down to 10 key factors. Second, the OPA ranking revealed the following three criteria as the most critical for integration: the availability of tools, materials, spare parts, and equipment (C04); the determination of operational production costs (C02); and the determination of maintenance and repair costs (C01).

Keywords: Strategy, Supply Chain, Capabilities, Petrochemical Industry.