



Paper Type: Original Article



Human Resources Capacity Assessment (Balancing) in Maintenance Departments: A Case Study

Katayoon Azarmy^{1,2,*}, Masoud Moradigorji^{3,4}

¹ Department of Industrial Engineering, Tehran-South Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran;
Katayoonazarmy@yahoo.com.

² Planning and Supervision Expert at Iran Khodro Industrial Group.

³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran; Moradigorji.M@gmail.com.

⁴ Expert in Physical Asset Management at Iran Khodro Industrial Group.

Citation:



Azarmy, K., & Moradigorji, M. (2025). Human resources capacity assessment (balancing) in maintenance departments: A case study. *Management: Modeling, analysis and applications*, 2(2), 108–119.

Received: 26/12/2024

Reviewed: 10/02/2025

Revised: 23/03/2021

Accepted: 19/04/2025

Abstract

Purpose: The purpose of this paper is to optimize the capacity of human resources in maintenance departments of industrial organizations, aiming to reduce downtime and enhance productivity through strategic workforce balancing. The study addresses the critical role of maintenance costs in total operational expenses and highlights the necessity of precise human resource allocation to achieve competitive advantage.

Methodology: This paper adopts a quantitative modeling approach based on international standards (BS EN 15341:2007) to categorize maintenance personnel into direct and indirect groups. It introduces two computational models for estimating daily workforce requirements, integrating parameters such as available time, skill level, efficiency, and reactive maintenance needs. The models leverage data from Computerized Maintenance Management Systems (CMMS) and organizational charts to simulate optimal staffing scenarios.

Findings: The research demonstrates that applying structured balancing techniques significantly improves maintenance efficiency, reduces unnecessary overtime, and enhances asset reliability. It also identifies key risk factors associated with under- or over-staffing and proposes corrective strategies for workforce planning.

Originality/Value: This paper offers a novel framework tailored to Iranian industrial contexts, combining global standards with localized operational insights. Unlike previous studies, it emphasizes the integration of reactive and preventive maintenance strategies within a unified capacity planning model, providing actionable tools for managers to align human resource deployment with organizational performance goals.

Keywords: Human resource capacity assessment (balancing), Maintenance strategies, Direct and indirect maintenance personnel.



Corresponding Author: Katayoonazarmy@yahoo.com

<https://doi.org/10.22105/mmaa.v2i2.92>

Licensee. **Management: Modeling, Analysis and Application**. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ظرفیت سنجی (بالانس) منابع انسانی بخش های نگهداشت؛ مطالعه موردی

کتایون آزرمی^۱، مسعود مرادی گرجی^۲

^۱گروه مهندسی صنایع، واحد تهران-جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

^۲کارشناس برنامه ریزی و نظارت گروه صنعتی ایران خودرو.

^۳گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

^۴کارشناس خبره مدیریت دارایی های فیزیکی گروه صنعتی ایران خودرو.

چکیده

هدف: هدف این مقاله بهینه سازی ظرفیت نیروی انسانی در واحدهای نگهداری سازمان های صنعتی است؛ با هدف کاهش زمان های بیکاری و افزایش بهره وری از طریق بالانس استراتژیک نیروی کار. این پژوهش به نقش حیاتی هزینه های نگهداری در هزینه های کلی عملیات پرداخته و بر ضرورت تخصیص دقیق منابع انسانی برای دستیابی به مزیت رقابتی تاکید دارد.

روش شناسی پژوهش: مقاله حاضر با بهره گیری از رویکرد مدل سازی کمی و بر اساس استاندارد بین المللی *BS EN 15341:2007*، نیروهای نگهداری را به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم کرده و دو مدل محاسباتی برای برآورد نیاز روزانه نیروی انسانی ارائه می دهد. این مدل ها با استفاده از داده های سیستم مکانیزه نگهداری^۱ و چارت های سازمانی، سناریوهای بهینه سازی نیروی انسانی را شبیه سازی می کنند.

یافته ها: نتایج پژوهش نشان می دهد که استفاده از تکنیک های بالانس ساختاریافته، موجب بهبود عملکرد نگهداری، کاهش اضافه کاری های غیرضروری و افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات می شود. همچنین عوامل ریسک ناشی از کمبود یا مازاد نیروشناسایی شده و راهکارهایی برای اصلاح برنامه ریزی منابع انسانی ارائه گردیده است.

اصالت/ارزش افزوده علمی: این مقاله چارچوبی نوآورانه و بومی سازی شده برای صنایع ایرانی ارائه می دهد که تلفیقی از استانداردهای جهانی و بینش های عملیاتی محلی است. برخلاف مطالعات پیشین، این پژوهش بر ادغام راهبردهای نگهداری واکنشی و پیشگیرانه در یک مدل واحد برنامه ریزی ظرفیت تمرکز دارد و ابزارهایی کاربردی برای مدیران جهت هم راستایی تخصیص نیروی انسانی با اهداف عملکردی سازمان فراهم می سازد.

کلیدواژه ها: ظرفیت سنجی (بالانس) نیروی انسانی، استراتژی های نگهداشت، نیروهای مستقیم و غیرمستقیم نگهداشت.

۱- مقدمه

مهم ترین بخش های قیمت تمام شده یک محصول در سازمان ها، هزینه های مستقیم تولید، هزینه های سربار و غیرمستقیم مانند استهلاک، انرژی و نگهداشت است. هزینه های نگهداشت بخش قابل توجهی از هزینه ها را تشکیل می دهد. بر اساس مطالعات صورت گرفته در شرکت های تولیدی نسبت هزینه های نگهداشت به هزینه های کلی عملیات ۵%-۱۵% می باشد و در سایر حوزه های صنعتی (معادن) این نسبت تا نیمی از هزینه های

¹ Computerized Maintenance Management Systems (CMMS)

کلی عملیات را به خود اختصاص می‌دهد [1]. بنابراین، کاهش و یا بهینه‌سازی این هزینه‌ها می‌تواند کمک شایانی به افزایش بهره‌وری نماید. نظریه‌های مدیریت سنتی فعالیت‌های نگهداشت را ابزاری بی‌اهمیت و اضافی می‌دانند که منجر به هزینه‌های غیر ضروری می‌شود. اما امروزه، فعالیت‌های نگهداشت برای سازمان‌ها حیاتی بوده و استراتژی‌های نگهداشت منجر به ایجاد ارزش افزوده در فرآیندهای تولید می‌شود. در شرایط اقتصادی کنونی، با محدود شدن منابع در دسترس لزوم استفاده بهینه از دارایی‌ها، منابع انسانی و مالی و حرکت به سوی سودآوری همه ارکان شرکت، امری اجتناب‌ناپذیر است. از این رو مدیریت بر هزینه‌های نگهداشت دارایی‌ها نیز اهمیت مضاعف پیدا کرده است. بدون حرکت به سمت توسعه سیستم‌های نگهداشت، امکان مدیریت بر هزینه‌های دوره بهره‌برداری دارایی‌ها امری دشوار است. بر همین اساس همه ارکان ساختار مدیریت بر دارایی‌ها بایستی نظام‌مند و حساب‌پذیر گردند. سازمان‌دهی مناسب نیروها، استانداردسازی فرآیندهای کاری، مدیریت بر درخواست‌های تامین مواد مصرفی و قطعات یدکی، بهره‌گیری از ابزارهای تعالی و وجود سیستم یکپارچه نرم‌افزاری، از مهم‌ترین ضروریات نظام‌مند نمودن حوزه‌های نگهداشت هر شرکتی هستند که با مستندسازی روش‌های موجود، امکان بهینه‌سازی آن‌ها در آینده فراهم خواهد شد.

استراتژی‌های نگهداشت مختلف در نتیجه تحولات در استراتژی‌های بازاریابی، تغییرات چشمگیر در الگوی تولید و برخی دلایل دیگر مانند پیشرفت به سمت جوامع اطلاعاتی ایجاد می‌شوند. نگهداشت پیشگیرانه^۱ [2]، نگهداشت پیش‌بینانه^۲ [3]، نگهداشت مبتنی بر شرایط^۳ [4]، نگهداشت مبتنی بر قابلیت اطمینان^۴ [5]، نگهداشت بهره‌ور جامع^۵ [6]، نگهداشت بهره‌ور فراگیر ناب^۶ [7]، نگهداشت مبتنی بر ریسک [8] و نگهداشت مجازی [9]، نمونه‌هایی از استراتژی‌های توسعه‌یافته هستند.

در کنار این استراتژی‌ها، سیاست‌های مختلفی برای نگهداشت وجود دارد:

نگهداشت اضطراری^۷ [10]: تعمیر تجهیز بلافاصله پس از هر خرابی انجام می‌شود.

نگهداشت اصلاحی^۸ [11]: هر بار که تجهیز علائمی از خرابی از خود بروز می‌دهد یا با یک خرابی غیر اضطراری مواجه می‌شود، برنامه‌ریزی مناسبی برای تعمیر تجهیز و بازگرداندن آن به حالت عادی انجام می‌پذیرد.

PM [2]: نگهداشت بر اساس فعالیت‌های از پیش برنامه‌ریزی شده و در بازه‌های زمانی معین انجام می‌شود.

هدف از این مقاله، بهینه‌سازی اندازه ظرفیت نیروی مورد نیاز کار در بخش نگهداری و تعمیرات به منظور افزایش بهره‌وری با کاهش زمان بیکاری نیروی انسانی می‌باشد.

مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: بخش بعدی ادبیات مربوط به این موضوع را شرح می‌دهد. در بخش ۳، مدل پیشنهادی معرفی گردیده و اندازه بهینه نیروی انسانی ارائه شده است. در بخش ۴، نتایج روش بر اساس حل دو نمونه موردی انجام شده است و در بخش ۵، تحلیل نتایج نمونه حل شده ارائه شده و در نهایت نتیجه‌گیری انجام می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

تخصیص بهینه نیروی انسانی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش هزینه کل در بسیاری از سیستم‌های موجود مانند ساخت، تولید و خدمات است. به طور کلی می‌توان گفت که مدیران از داشتن ترکیبی مناسب از نیروی انسانی و مهارت‌های اپراتور برای کنترل جایگاه‌ها لذت می‌برند. برای دستیابی به این هدف، می‌توان روش‌های مختلف تخصیص منابع انسانی به هر ایستگاه و همچنین هزینه هر یک را بررسی کرد. درباره‌ی موضوع تعیین نیروی انسانی تاکنون پژوهش‌های گوناگونی انجام شده است که در ادامه به بیان برخی از این پژوهش‌ها پرداخته می‌شود.

¹ Preventive Maintenance (PM)

² Predictive Maintenance (PDM)

³ Condition-Based Maintenance (CBM)

⁴ Reliability Centered Maintenance (RCM)

⁵ Total Productive Maintenance (TPM)

⁶ Lean Total Productive Maintenance (Lean TPM)

⁷ Emergency Maintenance (EM)

⁸ Corrective Maintenance (CM)

رمضان‌پور و حقانی [12] در تحقیقی با عنوان "تعیین استانداردهای نیروی انسانی به روش منطق فازی" تعداد نیروی انسانی شاغل در یکی از مراکزهای مهم صنعت برق کشور (پست‌های ۶۳ کیلوولت) را تعیین کرده‌اند. آن‌ها ابتدا عامل‌های تعیین‌کننده‌ای را که در تعیین تعداد نیروی انسانی مورد نیاز موثر بوده است، شناسایی کردند؛ سپس پیش از انجام محاسبه‌ها، با توجه به مطالعه‌هایی که انجام داده‌اند، تعداد کارکنان مورد نیاز را ۱ تا ۳ نفر تشخیص دادند. در نهایت پس از انجام محاسبه‌ها نشان دادند که برای نگهداری این پست‌ها، یک نفر نیروی انسانی کافی می‌باشد.

ابطحی و حسنی کاخکی [13] در تحقیقی با عنوان "استفاده از فرآیندهای تصادفی در برآورد نیروی انسانی مطالعه‌ی موردی استفاده از زنجیره‌ی مارکوف در برنامه‌ریزی نیروی انسانی"، به پیش‌بینی نیروی انسانی مورد نیاز در سه شرکت از زیرمجموعه‌های یک شرکت نرم‌افزاری کشور پرداخته‌اند. در پژوهش آن‌ها یکی از روش‌های متداول در برنامه‌ریزی یعنی تحلیل زنجیره‌های مارکوف به کار گرفته شده است که برای پیش‌بینی نیروی انسانی مورد نیاز، با استفاده از اطلاعات سه سال گذشته، در چهارچوب شش دوره‌ی شش ماهه بهره گرفته شده است.

در یک تحقیق، اختیاری [14] با بهره‌گیری از ترکیب رویکرد برنامه‌ریزی مقیدشده‌ی تصادفی و مدل معیار جهانی ($max - min$)، مدلی را با نام معیار جهانی مقیدشده‌ی تصادفی ($max - min$)، پیشنهاد کرد. مدل پیشنهادشده توسط آن‌ها قادر بود تا یک مدل معادل قطعی، برای موضوع احتمالی چندهدفه ارایه کرده و در نهایت آن را بهینه‌سازی کند که آن‌ها برای تشریح مدل پیشنهادی، یک موضوع احتمالی چندهدفه پیرامون تعیین تعداد بهینه نیروی انسانی در یک سیستم تولیدی کارگاهی، در شرایط عدم قطعیت ارایه کرده‌اند.

مهلوات و همکاران [15] در یک مطالعه به ارایه یک مدل بهینه‌سازی چندمعیاره درباره موضوع‌های تخصیص با ضریب‌های فازی با هدف‌های مینیمم‌سازی هزینه کل، مینیمم‌سازی کل زمان به اتمام رسیدن کارها و ماکزیمم‌سازی دستیابی به کیفیت پرداخته‌اند که در این پژوهش، آن‌ها تابع هدف جدیدی برای کاهش تعداد نیروی کاری که کارها را به اتمام می‌رساند، در نظر گرفته‌اند. همچنین در پژوهش خود برای بررسی موثر بودن مدل پیشنهادی از داده‌های برنامه‌ریزی نیروی انسانی یک شرکت استفاده کرده‌اند.

بازرگان لاری و همکاران [16] در یک تحقیق، یک مدل شبیه‌سازی برای برنامه‌ریزی استراتژیک نیروی انسانی برای یکی از ایستگاه‌های اصلی نگهداری و تعمیرات در خط‌های هوایی کنتینتال در فرودگاه نیویورک توسعه دادند. این مدل شبیه‌سازی، دستورالعمل‌هایی برای توسعه مدل‌های بهینه‌ی تخصیص نیروی کار و درک بهتر منابع مورد نیاز روزانه را ارایه می‌دهد.

بازرگان و جیانگ [17] در پژوهشی دیگر یک مدل شبیه‌سازی برای عملیات نگهداری و تعمیرات هواپیما در ایستگاه نگهداری و تعمیرات ایرترانس در فرودگاه بین‌المللی هارتزفیلد - جکسون شهر آتلانتا ارایه کردند. در مدل شبیه‌سازی ارایه شده، تعدادی از ویژگی‌ها و رفتارهای سیستم نگهداری و تعمیرات هواپیما مانند تخصیص گیت و اثرهای آن بر تعداد مکانیک‌های مورد نیاز، نگهداری و تعمیرات خارج از برنامه‌ی هواپیما، نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی‌شده در طول شب و ... در نظر گرفته شده است.

در پژوهشی ناپ و ماهاجان [18] یک مدل بهینه‌سازی تخصیص نیروی انسانی در حوزه‌ی نگهداری و تعمیرات ارایه دادند که نوع صنایع، سطح آموزش و همچنین انتخاب بین یک ساختار سازمانی متمرکز، در برابر یک ساختار سازمانی غیرمتمرکز را در نظر می‌گرفت.

در تحقیقی فرانچسکو و همکاران [19] به بررسی موضوع برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت نیروی انسانی در رابطه با پایانه‌های حمل‌ونقل کانتینری پرداخته‌اند. تحقیق آن‌ها شامل تعیین نوبت‌های کاری، وظیفه‌ها و فعالیت‌های نیروی انسانی فعال در این پایانه‌ها، برای خدمت‌رسانی به کشتی‌ها، در بازه‌های زمانی است که معمولاً با شیفت‌های کارکنان مطابقت ندارد. این موضوع با استفاده از مدل برنامه‌نویسی خطی عدد صحیح فرموله شده است.

در پژوهشی دیگر یانگ و همکاران [20] مدلی را معرفی کردند که شامل انواعی از استراتژی‌های منعطف، برای مدیریت موثر تامین نیروی انسانی نگهداری و تعمیرات خط‌های هوایی است. هدف آن‌ها توسعه‌ی مدلی است تا بتوان به صورت ساماندهی شده و بهینه، یک برنامه‌ی تامین نیروی انسانی ایجاد کرد.

در شرکت‌هایی که مدیریت صحیح بر هزینه‌های پرسنلی وجود ندارد، ساختار نت گسترده و عدم توقف تولید شرط اساسی است و افزونگی نیروی انسانی را شاهد هستیم. در مقابل حساسیت بیش از حد در خصوص کاهش هزینه‌های پرسنلی و تعمیراتی تحت عنوان افزایش بهره‌وری می‌تواند منتج به تعدیل و کاهش نیرو گردد که در این صورت حتماً آن‌چه که صحیح انجام نمی‌گردد برنامه‌های *PM* و اقدامات اصلاحی است که مشکلات آن در درازمدت نمایان خواهد شد. حال این پرسش مطرح می‌شود که: چه تعداد نیروی انسانی واقعاً نیاز است؟ برای پاسخ به این پرسش، باید فاکتورهای اصلی مندرج در تعریف مدیریت دارایی‌های فیزیکی (هزینه، عملکرد و ریسک) را مد نظر قرار داد.

۳- روش پیشنهادی

۳-۱- ریسک‌های ناشی از عدم ظرفیت‌سنجی (بالانس) نیروهای نگهداشت

۱. افزایش هزینه نگهداشت و تولید (در صورت وجود نیروی مازاد، افزایش هزینه مستقیم حقوق و دستمزد و در صورت کمبود نیرو افزایش هزینه تولید از دست رفته به واسطه توقف تجهیز)
۲. تخصیص ناعادلانه‌ی کار (تحمیل اضافه‌کاری یا تبعات پرسنلی به واسطه بیکاری)
۳. بیکار ماندن نیروهای فنی در برهه‌های خاص یا عدم انجام بخش‌هایی از فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده
۴. کاهش دوره عمر اقتصادی تجهیز در صورت عدم انجام بخشی از فعالیت‌های نگهداشت به علت کسری منابع

۳-۲- مزایای استفاده از تکنیک بالانس نیروهای نگهداشت

۱. افزایش بهره‌وری با کاهش زمان بیکاری و بهبود شاخص نسبت فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده (*O5*)
۲. افزایش سود تولید و کاهش اضافه‌کاری‌های بیهوده با مدیریت هزینه منابع انسانی (حقوق و دستمزد)
۳. استفاده‌ی بهینه از ظرفیت نیروها و تحقق نرخ مناسب شاخص آچار به‌دستی
۴. ایجاد بهترین ترکیب بین نیروی انسانی و تجهیزات در سازمان نگهداشت
۵. ایجاد امکان برنامه‌ریزی جهت تامین نیرو و جایگزینی نفرا ت بازنشسته و ترک کار
۶. ایجاد امکان برنامه‌ریزی جهت توسعه مهارت نیروهای نگهداشت و بهبود ظرفیت بالانس

۳-۳- پارامترهای موثر در تعیین ظرفیت نیروی مورد نیاز نگهداشت (نیروهای مستقیم)

۱. انجام کامل فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده پیش اقدام (پیشگیرانه و پایش وضعیت - *PM*)
۲. انجام کامل فعالیت‌های اصلاحی و بهبود (*CM/IM*)
۳. فعالیت‌های مرتبط با رفع مشکلات خطوط جهت رفع خرابی‌های اتفاقی و اضطراری (*EM/BM*)
۴. ساختار سازمانی واحدهای اجرایی نگهداشت
۵. پراکندگی تجهیزات بر مبنای مساحت جغرافیایی و موقعیت استقرار کارگاه‌های نگهداشت
۶. سطح اتوماسیون خطوط و نوع تجهیزات تولیدی (امکان بهره‌گیری از مانیتورینگ)
۷. عمر تجهیزات
۸. ضرورت پیش‌بینی نفرا ت جایگزین برای زمان‌های عدم حضور برخی از پرسنل
۹. شیفت‌های کاری
۱۰. سطح مهارت و کارایی (سطح بهره‌وری) نیروهای نگهداشت
۱۱. نیاز به حضور دائم در مناطق مشخص شده از خطوط تولیدی (الزام به حضور در محل جهت رفع عیب فوری/اپراتوری)

نکته مهم: شرکت‌هایی که متشکل از سالن‌ها و واحدهای متعدد هستند، مانند سالن‌های تولیدی متفاوت، واحدهای توزیع آب صنعتی، برق، هوای فشرده، گاز، ساختمان و تاسیسات، تفکیک بالانس نیروهای نت، مفهوم مهم‌تر و قابل لمس‌تری پیدا خواهد کرد.

۳-۴- دسته‌بندی نیروهای نگهداری و تعمیرات مطابق استاندارد BS EN 15341

۳-۴-۱- نیروهای مستقیم

کلیه پرسنل نگهداشت فعال در سطح سالن یا کارگاه‌هایی که فعالیت تعمیراتی انجام می‌دهند، در دسته‌بندی نیروهای مستقیم نگهداشت قرار می‌گیرند این دسته از نیروها به‌طور خاص نیروهای آچار به‌دست نامیده می‌شوند که شامل اکثریت نیروها بوده و عمده شرح مأموریت آن‌ها، فعالیت‌های مرتبط با نگهداشت برنامه‌ریزی شده، اصلاحی و اضطراری می‌باشد. کارگر و تکنسین فنی اجرایی، سرگروه‌های اجرایی، کارشناسان اجرایی، سرگروه و نفرات کارگاه‌های تعمیرات ابزار، موتورخانه و تاسیسات، کارگاه ماشین‌کاری (در صورت انجام فعالیت‌های تعمیراتی قطعات)، واحد پایش وضعیت^۱ و کالیبراسیون ابزارهای سالنی و کارگاه الکترونیک در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند.

۳-۴-۲- نیروهای غیر مستقیم

کلیه پرسنل نگهداشت که فعالیت برنامه‌ریزی و پشتیبانی از اجرا را انجام می‌دهند در دسته‌بندی نیروهای غیرمستقیم نگهداشت قرار می‌گیرند: رییس، مسئول، سرپرستان غیر اجرایی، کارمند دفتری، منشی، کارشناس، پرسنل واحد برنامه‌ریزی و سفارشات، انباردار و پرسنل ماشین‌کاری (در صورت تولید قطعات مصرفی و یدکی) در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند.

اهم شرح فعالیت نیروهای غیر مستقیم در حوزه برنامه‌ریزی و پشتیبانی نگهداشت

۱. ایجاد، اصلاح و کنترل اطلاعات پایه CMMS
۲. برنامه‌ریزی انجام فعالیت‌های PM و PDM
۳. برنامه‌ریزی و سفارش‌گذاری اقلام یدکی و مصرفی
۴. اعمال کنترل کیفیت اقلام خریداری‌شده، تعمیرشده و ساخته‌شده
۵. برنامه‌ریزی کالیبراسیون ابزارهای تست و اندازه‌گیری (رابط ایتراک و کیفیت)
۶. کنترل اموال و ورود و خروج دارایی‌ها
۷. برنامه‌ریزی فرآیند آموزش پرسنل
۸. کنترل بودجه (خرید دارایی، مصرف قطعات یدکی و درخواست‌های سفارش‌کاری)
۹. تهیه و تحلیل گزارشات نگهداشت، شاخص‌های ارزیابی فنی و هزینه‌ای و ارایه برنامه‌های بهبود
۱۰. کنترل منابع CM
۱۱. برنامه‌ریزی و نظارت بر بازرسی‌های حسی و ایمنی و اخذ گواهی‌نامه‌های مرتبط با استانداردهای اجباری
۱۲. برنامه‌ریزی و پیش‌بینی منابع تعمیرات اساسی تجهیزات
۱۳. کنترل عملکرد پیمانکاران (و تهیه و ارسال صورت‌وضعیت‌ها)
۱۴. تشکیل و راهبری تیم‌های قابلیت اطمینان (RCA-RCM-LCC) و سایر موارد ارجاعی (اهداف تلفیقی، بازنگری دستورالعمل‌ها، راهبری تیم‌های تدوین Job Plan و ...)

۳-۵- الگوی محاسبه بالانس

۳-۵-۱- الگوی محاسبه ظرفیت نیروی مستقیم نگهداشت

دورویکرد در تخصیص نیروهای مستقیم نگهداشت در شرکت وجود دارد:

^۱ Condition Monitoring (CM)

رویکرد ۱: مراکز کاری نیروهای اجرایی فعالیت‌های PM (وضعیت خاموش تجهیزات) با مراکز کاری نیروهای واکنشی متفاوت است و خطوط در روزهای هفته (نه لزوماً تعطیل) جهت انجام امور نگهداری و اصلاحی به تعمیرات تحویل داده می‌شود، مانند سالن‌های تولید قطعات پرسی.

$$Direct Utilization = \frac{\sum Maintenance Work Orders Time}{Available Time} + Reactive Activities workForce, \quad (1)$$

تعداد نیروهای واکنشی + $\frac{\text{مجموع کل زمان‌های مورد نیاز برای انجام حکم کارها در یک روز}}{\text{زمان در دسترس یک نفر در روز}}$ = ظرفیت نیروی مستقیم مورد نیاز (روزانه)

مراکز کاری^۱ همان واحدهای اجرایی یا کارگاه‌های تعمیراتی هستند که مسئول انجام فعالیت‌های اجرایی می‌باشند. هر بخش اجرایی تعمیرات از حداقل یک مرکز کاری تشکیل شده است.

رویکرد ۲: مراکز کاری نیروهای اجرایی فعالیت‌های PM (وضعیت خاموش تجهیزات) با مراکز کاری نیروهای واکنشی یکی است و بخشی از نیروهای واکنشی در روزها یا شیفت‌های غیر کاری (تعطیلات انتهای هفته و دوره‌ای) فعالیت‌های PM و اصلاحی را هم انجام می‌دهند.

$$Direct Utilization = MAX \left[\frac{\sum Maintenance Work Orders Time}{Available Time}, Reactive Activities WorkForce \right] \quad (2)$$

ظرفیت نیروی مستقیم مورد نیاز (روزانه)
 $= \frac{\text{مجموع کل زمان‌های مورد نیاز برای انجام حکم کارها در یک روز}}{\text{زمان در دسترس یک نفر در روز}} \times (\text{تعداد نیروهای واکنشی و هر کدام بیشتر بود})$

توجه: در صورتی که تعداد نفرات مورد نیاز جهت انجام فعالیت‌ها در روزهای تعطیل بیش از ظرفیت قابل حضور نفرات در یک مرکز کاری باشد، به دلیل عدم نیاز به این حجم نیروی کاری در طول هفته، اقدامات زیر بایستی صورت پذیرد:

۱. تخصیص نیرو از سایر مراکز کاری سازمان
۲. اولویت‌بندی کارها و انجام فعالیت‌های با اولویت بالاتر
۳. بازنگری و اصلاح برنامه‌های نگهداشت با رویکرد بهینه‌سازی (PMO)
۴. بررسی امکان تخصیص زمان‌های غیر تولیدی دیگر

۲-۵-۳- نحوه محاسبه عناصر الگو

گام ۱- مجموع کل زمان‌های مورد نیاز برای انجام حکم کارها^۲

بر اساس میانگین، جمع زمان‌های حکم کارهای ثبت‌شده در یک دوره ۳ تا ۶ ماهه برای متوسط یک روز، قابل تخمین خواهد بود. این اطلاعات از $CMMS$ قابل استخراج می‌باشد.

گام ۲- زمان در دسترس^۳

¹ Maintenance work centers
² Maintenance work orders time

³ Available time

زمان در دسترس معادل زمان خالص کار (کسر زمان های استراحت، ناهار و ...) با درج ضریب اصلاحی بر اساس سطح مهارت و کارایی نفرات محاسبه می گردد:

$$Available\ Time = Net\ Time \times Balancing\ Factor. \quad (3)$$

ضریب تعدیل^۱:

$$Balancing\ Factor = W1 * P + W2 * E,$$

W_i : ضریب وزنی (که مجموع آن ها عدد ۱ می باشد) $W1 + W2 = 1$.

P^x : سطح مهارت که با درصد بیان می شود.

E^x : بهره وری/کارایی که با درصد بیان می شود.

تذکر: در فرمول بالا، مقدار وزن $W1$ و $W2$ توسط تیمی متشکل از کمیته منابع انسانی شرکت و رؤسای تعمیرات تعیین می گردد.

گام ۳- چیدمان حداقل نفرات جهت انجام موارد واکنشی (رفع موارد اضطراری در خط/ اپراتوری) به ازای هر شیفت

نفرات واکنشی، نیروهایی هستند که بنا به ضروریات سازمان لازم است در مناطقی از خط تولید، جهت پشتیبانی سریع یا اپراتوری تجهیزات حضور داشته باشند. ظرفیت مورد نیاز این بخش بر اساس حساسیت تجهیزات، فرکانس خرابی ها، تاثیر در خروجی محصول خط تولید، توقفات، حجم کار اپراتوری، فعالیت های طرح نظارت و حجم فعالیت های برنامه ریزی شده (PM) در وضعیت روشن تجهیزات تعیین می گردد.

توجه: در صورت پیاده سازی نت خودگردان^۴، تعداد نیروی مورد نیاز این بخش به حداقل خواهد رسید.

۳-۶ الگوی محاسبه بالانس برای نیروهای غیر مستقیم

۱. تعداد نفرات سطوح مسئولیتی (مدیر، رئیس، مسئول) و دفتردار مطابق چارت سازمانی مصوب محاسبه می گردد.
۲. تعداد نفرات بخش پیشگیرانه (برنامه ریزی و سفارشات) مطابق جداول بهینه کاوی های عملکردی منتخب آیتایم بر مبنای سطح تعالی سازمان برای هر ۲۵ تا ۸۰ نفر نیروی مستقیم ۱ نفر محاسبه می گردد. با توجه به سطح تعالی سازمان در مطالعه موردی صورت پذیرفته مطابق آخرین ارزیابی انجام شده، معادل هر ۴۵ نفر نیروی مستقیم ۱ نفر در این بخش قابل تخصیص خواهد بود.
۳. تعداد نفرات کارگاه های پشتیبانی (ساخت، آهنگری و ماشین کاری) بر اساس بند «ب» معادل ۲٪ نفرات مستقیم، به عنوان حد قابل قبول خواهد بود.
۴. تعداد نیروهای کارشناسی بر اساس سطح اتوماسیون و محدوده پذیرش شاخص $O2$ (نسبت قابل قبول نیروهای غیر مستقیم به کل نیروهای تعمیرات) مشخص می گردد.

۳-۷ ظرفیت نیروی انسانی مورد نیاز

$$MRU\ (Maintenance\ Resource\ Utilization) = DU + IDU,$$

DU : ظرفیت نیروی کاری مستقیم نگهداشت^۵

¹ Balancing factor

² Proficiency

³ Efficiency

⁴ Autonomous Maintenance (AM)

⁵ Direct personnel utilization

IDU: ظرفیت نیروی کاری غیر مستقیم نگهداشت^۱

۸-۳- شاخص نرخ آچار به‌دستی

شاخص *Wrench Rate* نیروهای مستقیم تولید که با عنوان شاخص بهره‌وری یا نرخ آچار به‌دستی شناخته می‌شود، نسبت مجموع زمان کلیه حکم کارهای انجام‌شده از نوع پیشگیرانه، اضطراری، اصلاحی و پروژه‌های بهبود، به زمان در دسترس نیروهای مستقیم می‌باشد. از این شاخص جهت محاسبه بهره‌وری و اصلاح بالانس نیروهای نگهداشت استفاده می‌گردد.

جدول ۱- محدوده کنترلی نرخ آچار به‌دستی.

Table 1- Control range of manual wrench rate.

وضعیت	انجام اقدامات اصلاحی پیشنهادی
Wrench Rate > 60	نیاز به بازنگری برنامه PM تجهیزات (PMO)، زمان‌سنجی دقیق فعالیت‌های برنامه PM، بررسی افزایش نیرو
Wrench Rate < 30	نیاز به بازنگری برنامه PM تجهیزات (PMO)، بررسی وجود نیروی مازاد، عدم ثبت صحیح و دقیق کارکرد در حکم کارها

بر مبنای بهینه‌کاوای معتبر، تحقق نرخ ۶۰٪ در هر مرکز کاری نگهداشت می‌تواند هدف‌گذاری گردد. مراکز کاری با نرخ متوسط کمتر از ۳۰٪، گزینه‌های ادغام ساختار سازمانی خواهند بود.

۴- مثال موردی و یافته‌های پژوهش

زمان خالص مطابق استعلام از واحد برنامه‌ریزی، زمان خالص (با کسر زمان چای و ناهار و ...) در هر شیفت بر اساس جدول‌های زیر می‌باشد:

جدول ۲، روزهای کاری قابل برنامه‌ریزی در طول یک سال را مطابق تقویم کشور نشان می‌دهد.

جدول ۲- روزهای کاری قابل برنامه‌ریزی.

Table 2- Scheduleable working days.

محاسبه روزهای خالص کار عادی						
تعداد روزهای سال	تعداد روزهای جمعه	تعداد روزهای پنج‌شنبه	تعداد روزهای تعطیل دوره‌ای (بدون پنج‌شنبه و جمعه)	تعطیلات مناسبتی	برآورد تعطیلات مناسبتی بین هفته	خالص روزهای کاری عادی
365	52	52	14	22	7	240

در جدول ۳، از ۲۴۰ روز کاری که در جدول ۲ به‌دست آمده است، با احتساب ۲ روز مرخصی موظف ماهیانه، متوسط روزهای خالص عادی در هر ماه به ازای هر نفر، ۱۸ روز کاری محاسبه گردیده است.

جدول ۳- روزهای خالص در ماه.

Table 3- Net days per month.

محاسبه روزهای خالص کار عادی نفر ماه			
روزهای خالص کاری در سال	میانگین روزهای خالص کاری در ماه	کسر مرخصی استحقاقی	متوسط محاسبه روزهای خالص کاری عادی در ماه برای یک نفر
240	20	2	18

در جدول ۴، زمان خالص عادی هر نفر به‌علاوه ۵۰ ساعت اضافه‌کاری (ضرورت حضور در روزهای تعطیل) جهت انجام فعالیت‌های پیشگیرانه و اصلاحی در وضعیت غیر تولیدی محاسبه شده است.

¹ Indirect personnel utilization

توجه: جهت تسهیل در محاسبات، به صورت قراردادی این عدد معادل ۱۷۵ ساعت در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- زمان خالص با احتساب زمان اضافه کاری.

Table 4- Net time including overtime.

محاسبه زمان خالص کاری - نفر ماه با حدود ۵۰ ساعت اضافه کار		
شیفت	زمان خالص کاری (دقیقه)	توضیحات
صبح	430	با کسر زمان چای، نهار و
عصر	445	نماز و شام
شب	425	
متوسط	433.3	معادل ۷/۲ ساعت
زمان خالص کار عادی /	7800	معادل ۱۳۰ ساعت
نفر ماه		
اضافه کار (۴ پنجشنبه و ۲ جمعه)	2600	معادل ۴۳/۳ ساعت
زمان خالص کار با		معادل ۱۷۳/۳ ساعت
حدود ۵۰ ساعت	10400	
اضافه کار		

در جدول ۵، به عنوان نمونه سایت شماره ۲ مورد ارزیابی قرار گرفته است که دارای ۴ بخش نگهداری و تعمیرات می باشد که متشکل از مراکز کاری با ماهیت عملکرد متفاوتی است و حداکثر در سه شیفت کاری مشغول انجام فرآیندهای نگهداشت می باشند.

جدول ۵- چیدمان نیروهای نت سایت شماره ۲.

Table 5- Arrangement of forces at Net Site No. 2.

چیدمان نیروهای اداره اجرای نت سایت ۲						
عنوان سازمان	مراکز کاری	شیفت	مسئول	سرگروه	کارشناس	تکنسین/ تعمیرکار جمع نفرات
بخش پیشگیرانه	کارگاه الکترونیک	صبح		1	0	1
	کارگاه تعمیرات اتوماسیون	صبح		1		13
		عصر				8
		شب				4
	کارگاه تعمیرات ابزار	صبح	1	1		3
		عصر				3
		صبح		1	3	15
	کارگاه ساخت	صبح		1		3
بخش تاسیسات	تاسیسات سایت ۲	عصر				3
		صبح		2	1	7
		شب	1	2		6
بخش تعمیرات سالن ۱	پیش مونتاژ	صبح		1		4
		عصر		1		4
		شب		1		4
	خط اصلی و کانوایر	صبح	1	1	1	3
		عصر		1		3
		شب		1		3
بخش تعمیرات سالن ۲	تعمیرات و نگهداری	صبح		1		1
		عصر	1	1		1
		شب		1		1

تخصیص نیروی انسانی برای فعالیت‌های پیشگیرانه و اصلاحی/اضطراری مطابق جدول ۵، برای مرکز کاری تعمیرات ابزار در جدول ۶ و مراکز کاری پیش مونتاژ و خط اصلی و کانوایر در جدول ۷ صورت پذیرفته است.

جدول ۶- محاسبه ظرفیت نیروی مورد نیاز جهت انجام فعالیت‌های نگهداشت بر مبنای حجم فعالیت‌ها در کارگاه تعمیرات ابزار.

Table 6- Calculation of the required manpower to perform maintenance activities based on the volume of activities in the tool repair workshop.

شرح مرکز کاری: کارگاه تعمیرات ابزار			کاربرگ اطلاعات مراکز کاری (Work Center) نت		
ردیف	نوع فعالیت	پارامتر اندازه‌گیری	بر اساس وضعیت کارکرد خط (روزانه)		برآورد نیروی مورد نیاز (روز جمعه)
			میانگین یک شیفت	روز جمعه	
1	فعالیت‌های پیشگیرانه (PM)	میانگین حجم عملیات روزانه (نفر ساعت)	14	0	
		نفر ساعت در دسترس (برای یک نفر)	7.22	6.25	0
		تعداد نیروی مورد نیاز	1.93	0	
2	فعالیت های اصلاحی و اضطراری (CM/EM)	میانگین حجم عملیات روزانه (نفر ساعت)	7	0	
		نفر ساعت در دسترس (برای یک نفر)	7.22	6.25	0
		تعداد نیروی مورد نیاز	0.96	0	

جدول ۷- محاسبه ظرفیت نیروی مورد نیاز جهت انجام فعالیت‌های نگهداشت بر مبنای حجم فعالیت‌ها در کارگاه‌های تعمیرات سالن ۱.

Table 7- Calculation of the required manpower to perform maintenance activities based on the volume of activities in the repair workshops of Hall 1.

شرح مرکز کاری: تعمیرات سالن ۱ - پیش مونتاژ					کاربرگ اطلاعات مراکز کاری (Work Center) نت		
ردیف	نوع فعالیت	پارامتر اندازه‌گیری	بر اساس وضعیت کارکرد خط (روزانه)		میانگین حجم عملیات روزانه (نفر ساعت)	فعالیت‌های پیشگیرانه (PM)	
			میانگین یک شیفت	روز جمعه			
1			160	18	4		
			43.32	6.25	3		
			3.7	3.0			
2			120	10	3		
			43.32	6.25	2		
			2.8	2.0			
شرح مرکز کاری: تعمیرات سالن ۱ - خط اصلی و کانوایر					کاربرگ اطلاعات مراکز کاری (Work Center) نت		
ردیف	نوع فعالیت	پارامتر اندازه‌گیری	بر اساس وضعیت کارکرد خط (روزانه)		میانگین حجم عملیات روزانه (نفر ساعت)	فعالیت‌های پیشگیرانه (PM)	
			میانگین یک شیفت	روز جمعه			
1			120	12	3		
			13.32	6.25	2		
			2.8	1.9			
2			130	15	3		
			43.32	6.25	3		
			3	2.4			

۵- بحث

مطابق آنچه که در متن مقاله اشاره کردیم، فاکتورهایی مانند ساختار سازمانی، شیفت های کاری، حجم فعالیت های نگهداشت در روزهای عادی و تعطیل، الزام به حضور در برخی ایستگاه های تولیدی، حضور حداقل ۲ نفر در هر مرکز کاری (الزام ایمنی) موثر بوده است. لازم به ذکر است که در محاسبات زمان در دسترس فاکتور بالانس ۱٪ یا ۱۰۰٪ در نظر گرفته شده است. در صورتی که سازمان برای سنجش بهره وری و سطح مهارت نیروی انسانی روش اجرایی مشخصی داشته باشد، این فاکتور اصلاح خواهد گردید. در همین رابطه و بر اساس نتیجه های به دست آمده از این روش، با توجه به این که نیروهای تعمیراتی سازمان، به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم تقسیم بندی می شوند و فعالیت های مراکز کاری بر اساس ماهیت کار (پیشگیرانه/اصلاحی) در دو وضعیت کارکرد عادی و یا نیاز به انجام بخشی از فعالیت ها در روزهای تعطیل (جمعه)، مورد ارزیابی قرار گرفته است و در مراکز کاری نمونه انجام شده، معادل ۲ نفر (که این عدد به دلیل ضرورت انجام فعالیت ها به سمت بالا رند می گردد) برای انجام فعالیت های پیشگیرانه و ۱ نفر برای انجام فعالیت های اصلاحی محاسبه شده است. بر اساس چارت سازمانی این مرکز کاری، ۱ نفر سرگروه جهت مدیریت منابع نیاز دارد که در مجموع برای دو شیفت کاری معادل ۷ نفر نیروی مستقیم کاربرینی گردیده است.

۶- نتیجه گیری و پیشنهاد های آتی

این مقاله توسط دسته بندی نیروهای کاری نگهداشت به ارایه الگوی نوینی جهت تعیین ظرفیت نیروهای مورد نیاز، بالانس و چیدمان نیروهای کاری نگهداشت در یک مجتمع تولیدی پرداخته است. این روش در تمام واحدهای تعمیرات در سازمان اجرا گردیده است که به صورت نمونه سایت شماره ۲ و مراکز کاری تعمیرات ابزار و بخش تعمیرات سالن ۱ در این پژوهش مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از شاخص نرخ آچار به دستی می توان کلیت بالانس را مورد ارزیابی قرار داد. در صورتی که بالانس و کاربرینی، بیش از نیاز واقعی برآورد گردد، خللی در الگوی بالانس به وجود نمی آورد، زیرا ترک کار نیروهای فنی امری متداول بوده و جذب و آموزش نیروهای جایگزین زمان بر خواهد بود. از طرف دیگر از ظرفیت نیروهای نگهداشت می توان جهت انجام فعالیت های توسعه ای و پروژه های بهبود استفاده کرد. در صورتی که سازمان جهت انجام برخی از امور مرتبط با نگهداری دارایی ها از خرید خدمات پیمانکاری استفاده می کند، این ظرفیت مازاد می تواند جایگزین بخشی از هزینه های برون سپاری گردد. در انتها برای مطالعه های آتی پیشنهاد می شود از این روش در سایر حوزه های صنایع تولیدی بهره گرفته شود. همین طور با پایش دوره ای شاخص نرخ آچار به دستی، ظرفیت و نیاز واقعی سازمان را برآورد نمود. ایجاد امکان برنامه ریزی جهت جایگزینی نیروهای بازنشسته از دیگر مزایای وجود فرآیند بالانس در حوزه نگهداشت خواهد بود.

منابع

- [1] Campbell, J. D., Reyes-Picknell, J. V., & Kim, H. S. (2015). *Uptime: Strategies for excellence in maintenance management* [Translated by Zo Ashkiani, A., & Rabiei, M.]. Ariana Qalam Publication. <https://B2n.ir/db2242>
- [2] Valdez-Flores, C., & Feldman, R. M. (1989). A survey of preventive maintenance models for stochastically deteriorating single-unit systems. *Naval research logistics (NRL)*, 36(4), 419–446. [https://doi.org/10.1002/1520-6750\(198908\)36:4%3C419::AID-NAV3220360407%3E3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1520-6750(198908)36:4%3C419::AID-NAV3220360407%3E3.0.CO;2-5)
- [3] Carnero Moya, M. C. (2004). The control of the setting up of a predictive maintenance programme using a system of indicators. *Omega*, 32(1), 57–75. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2003.09.009>
- [4] Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical systems and signal processing*, 20(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>
- [5] Eisinger, S., & Rakowsky, U. K. (2001). Modeling of uncertainties in reliability centered maintenance — a probabilistic approach. *Reliability engineering & system safety*, 71(2), 159–164. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(00\)00088-0](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(00)00088-0)
- [6] Wireman, T. (2004). *Total productive maintenance*. Industrial Press Inc.
- [7] McCarthy, D., & Rich, N. (2015). *Lean TPM: A blueprint for change*. Butterworth-Heinemann.
- [8] Arunraj, N. S., & Maiti, J. (2007). Risk-based maintenance—Techniques and applications. *Journal of hazardous materials*, 142(3), 653–661. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.069>
- [9] van Houten, F. J. A. M., & Kimura, F. (2000). The virtual maintenance system: A computer-based support tool for robust design, product monitoring, fault diagnosis and maintenance planning. *CIRP annals*, 49(1), 91–94. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62903-5](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62903-5)
- [10] Ma, S. N., Liu, Q., & Sun, X. F. (2003). Research on emergency maintenance technique of equipments [J]. *China surface engineering*, 3, 7–16.

- [11] Marie Vans, A., Von Mayrhauser, A., & Somlo, G. (1999). Program understanding behavior during corrective maintenance of large-scale software. *International journal of human-computer studies*, 51(1), 31–70. <https://doi.org/10.1006/ijhc.1999.0268>
- [12] Ramazanpour, P., & Haqqani, M. (1975). Determining human resource standards using fuzzy logic method. *The 6th national conference on power distribution networks*. (In Persian). Mazandaran, Iran, Civilica. <https://civilica.com/doc/47185>
- [13] Abtahi, S. H., & Hassani Kakhki, A. (2006). Using stochastic processes in manpower estimation case study using Markov Chains in manpower planning. *Quarterly journal of industrial management studies*, 4(12), 163-182. (In Persian). <https://civilica.com/doc/720611>
- [14] Ekhtiari, M. (2010). Multi-objective stochastic programming to optimize number determination of manpower problem in job shop manufacturing systems. *Industrial management studies*, 8(19), 189-216. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22518029.1389.8.19.9.5>
- [15] Mehlawat, M. K., Gupta, P., & Pedrycz, W. (2018). A new possibilistic optimization model for multiple criteria assignment problem. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 26(4), 1775–1788. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2017.2751006>
- [16] Bazargan-Lari, Gupta, & Young. (2003). A simulation approach to manpower planning. *Proceedings of the 2003 winter simulation conference* (pp. 1677–1685). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC.2003.1261619>
- [17] Bazargan, M., & Jiang, B. (2010). A simulation approach to airline maintenance manpower planning. *Proceedings of the 2010 summer computer simulation conference* (pp. 556–564). Society for Computer Simulation International. <https://doi.org/10.5555/1999416.1999488>
- [18] Knapp, G. M., & Mahajan, M. (1998). Optimization of maintenance organization and manpower in process industries. *Journal of quality in maintenance engineering*, 4(3), 168–183. <https://doi.org/10.1108/13552519810223472>
- [19] Di Francesco, M., Díaz-Maroto Llorente, N., Zanda, S., & Zuddas, P. (2016). An optimization model for the short-term manpower planning problem in transshipment container terminals. *Computers & industrial engineering*, 97, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.04.012>
- [20] Yang, T. H., Yan, S., & Chen, H. H. (2003). An airline maintenance manpower planning model with flexible strategies. *Journal of air transport management*, 9(4), 233–239. [https://doi.org/10.1016/S0969-6997\(03\)00013-9](https://doi.org/10.1016/S0969-6997(03)00013-9)