Civil and Project Journal, 2025, 6(12), 42-64
https://doi.org/10.22034/cpj.2025.495632.1335

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Research Article

The impact of the role of machinery repair and maintenance in reducing the costs of construction projects

Mohammad Vaezi Jezeh [1], Davood Sedaghat Shayegan [2*], Aliasghar Amirkardoust [3]

1- Ph.D. candidate in construction engineering and Management, Islamic Azad University, Roudehen Branch, Roudehen, Iran

2- Assistant professor, Department of civil engineering, Islamic Azad University, Roudehen Branch, Roudehen, Iran*

3- Assistant professor, Department of civil engineering, Islamic Azad University, Roudehen Branch, Roudehen, Iran

Received: 31 December 2024; Revised: 05 February 2025; Accepted 08 February 2025; Published: 19 February 2025

Abstract

In the modern world, construction projects are recognized as one of the main components of economic and social development. The efficiency of machinery plays a key role in these projects. However, the lack of proper maintenance of these equipments can lead to them being out of service and increasing operational costs. Therefore, the necessity of investigating and analyzing the role of maintenance in cost optimization is a vital issue. The effective maintenance and repair of machinery is considered one of the main pillars of construction project management. This research examines the direct and indirect effects of machinery maintenance in Jihad Nasr Kerman Company as a case study. Therefore, by implementing the optimization process with the general algebraic modeling system in the GAMS software, data analysis has been done. The results of this analysis showed that neglecting the optimal maintenance can lead to an increase in breakdowns, delays in project time and In the end, the costs will increase. On the other hand, investing in preventive maintenance programs can reduce unexpected downtime, increase equipment useful life, and improve overall project efficiency. Also, by applying asset management techniques and cost-benefit analysis, this study provides suggestions for optimizing maintenance programs. In conclusion, this paper emphasizes the importance of maintenance management as a key strategy to reduce costs and increase productivity in construction projects.

Keywords: *Machinery maintenance construction projects costs productivity general algebraic modeling system*

Cite this article as: *VAEZI JEZEH, M. , Sedaghat Shayegan, D. and amir kardost, A. A. (2025). The impact of the role of machinery repair and maintenance in reducing the costs of construction projects.* Civil and Project, 6*(12), -. doi: 10.22034/cpj.2025.495632.1335*

***ISSN:** 2676-511X /* ***Copyright:** © 2025 by the authors.*

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Corresponding author E-mail address: dshayegan@hotmail.com*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۳، ۶ (۱۲)، ۴۲-۶۴
https://doi.org/10.22034/cpj.2025.495632.1335

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

تاثیر نقش تعمیر و نگهداری ماشین آلات درکاهش هزینه های پروژه های عمرانی

محمد واعظی جزه [۱] ، داوود صداقت شایگان [۲*]، علی اصغر امیرکاردوست [۳]

۱- دانشجوی دکترا مهندسی و مدیریت ساخت ، دانشگاه آزاد رودهن، رودهن، ایران
۲- استادیارگروه عمران ، دانشگاه آزاد رودهن، رودهن، ایران*
۳- استادیارگروه عمران ، دانشگاه آزاد رودهن، رودهن، ایران

تاریخ دریافت: ۱۱ دی ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۷ بهمن ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۲۰ بهمن ۱۴۰۳؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ اسفند ۱۴۰۳

چکیده

در دنیای مدرن، پروژه‌های عمرانی به عنوان یکی از اجزای اصلی توسعه اقتصادی و اجتماعی شناخته می‌شوند. کارایی ماشین‌آلات در این پروژه‌ها نقشی کلیدی ایفا می‌کند. با این حال، عدم نگهداری مناسب از این تجهیزات می‌تواند به خارج شدن آن‌ها از خدمت و افزایش هزینه‌های عملیاتی منجر شود. بنابراین، ضرورت بررسی و تحلیل نقش تعمیر و نگهداری در بهینه‌سازی هزینه‌ها، موضوعی حیاتی است.تعمیر و نگهداری مؤثر ماشین‌آلات یکی از ارکان اصلی مدیریت پروژه‌های عمرانی به حساب می‌آید. این پژوهش به بررسی تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم نگهداری ماشین‌آلات در شرکت جهاد نصر کرمان به عنوان مورد مطالعاتی می‌پردازد. از این رو، با پیاده سازی فرایند بهینه سازی با سیستم مدلسازی جبری عمومی در نرم افزار GAMS به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شده است نتایج این تحلیل نشان داد، بی‌توجهی به تعمیر و نگهداری مطلوب می‌تواند منجر به افزایش خرابی‌ها، تأخیر در زمان پروژه و در نهایت افزایش هزینه‌ها شود. از سوی دیگر، سرمایه‌گذاری در برنامه‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه می‌تواند به کاهش توقفات غیرمترقبه، افزایش عمر مفید تجهیزات و بهبود کارایی کلی پروژه بی‌انجامد. همچنین، با به‌کارگیری تکنیک‌های مدیریت دارایی و تحلیل هزینه-فایده، این مطالعه پیشنهادهایی برای بهینه‌سازی برنامه‌های تعمیر و نگهداری ارائه می‌دهد. در پایان، این مقاله بر اهمیت مدیریت تعمیر و نگهداری به عنوان یک استراتژی کلیدی برای کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری در پروژه‌های عمرانی تأکید می‌کند.

کلمات کلیدی: تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات، پروژه‌های عمرانی، هزینه‌ها، بهره‌وری، سیستم مدلسازی جبری عمومی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: *dshayegan@hotmail.com*

۱- مقدمه

در سال های اخیر، مخصوصا پس از جنگ تحمیلی، در پروژه‌های عمرانی کشور تحولات قابل‌توجهی رخ داده است و خوشبختانه اکثر پروژه‌های ملی و بزرگ عمرانی نظیر سدسازی و ایجاد شبکه‌های انتقال آب و همچنین ایجاد خطوط لوله انتقال نفت و گاز به دست کارشناسان داخلی انجام‌گرفته است (امیرکاردوست و همکاران، ۲۰۲۴). عدم توجه به امکان‌سنجی پروژه قبل از شروع پروژه، خطرات نامطلوب در ابتدا و انتهای پروژه‌ها در برخواهد داشت. با توسعه روزافزون صنعت، امکانات و تجهیزات بیشتری در صنایع و ساخت وساز ها اختراع و ساخته شده اند و این امکانات و تجهیزات جدید و پیشرفته امکان اجرای پروژه های بزرگ و پیچیده تری را فراهم می کنند. یکی از ارکان اساسی در اجرای پروژه های راه‌سازی و عمرانی، ماشین آلات و تجهیزات راه‌سازی است. وجود پروژه های عظیم راه‌سازی، سدسازی، توسعه شبکه راه آهن کشور، زیرساخت پالایشگاه ها و خطوط انتقال نفت وگاز و آب که ورود انبوه دستگاه های راهسازی و عمرانی نو و دست دوم به کشور را ایجاب کرده است، نگهداری ماشین‌های راه‌سازی و معدنی را با چالشی نوین مواجه ساخته است. در مدیریت سنتی مقوله نگهداری به عنوان ابزار پشتیبانی، غیر بهره ور و کم اهمیت که مزیت ناچیزی را برای موسسات دربردارد، مدنظر قرار گرفته شده است (امیرکاردوست و همکاران، ۲۰۲۴). تعاملات شرکت‌ها و کارخانجات با مراکز پشتیبانی خدمات از موارد حیاتی و چالشی در صنعت می‌باشد. در این راستا، در نگرش نوین، نگهداری تأسیسات و ماشین‌آلات به‌عنوان بخش ضروری عملیات سازمان‌ها موردتوجه قرار می‌گیرد (شاه ابراهیمی و همکاران، ۲۰۲۲).

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات و ساختمان‌ها انجام شده است. یوونگ و وانگ (۲۰۱۴) به طراحی و تبیین چارچوبی برای ارزیابی تعمیر و نگهداری ساختمان‌ها در مواجهه با تغییرات سرمایشی و گرمایشی از منظر تکنیک مدل‌سازی اطلاعات ساختمان همراه با دستورالعمل‌های مجاز پرداخته‌اند. گستره پایداری شامل تولید مواد، بهره‌برداری، تخریب، انهدام، ساخت و ساز و نگهداری است. این عناصر، چرخه عمر یک ساختمان را تشکیل می‌دهند و این روش بر اساس چرخه عمر، قابل توضیح است. اودیومی و اوکورو (۲۰۱۶) با بازنگری در ادبیات تحقیق، به تحلیل روش‌های مختلف پژوهشی پرداخته و مزایا و مسائل مرتبط با تعمیر و نگهداری را با توجه به برنامه‌های نرم‌افزاری بررسی کرده‌اند. آن‌ها نمونه‌ای کاربردی برای ارزیابی سناریوهای مختلف در یک ساختمان خاص ارائه داده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که این نرم‌افزارها اطلاعات لازم برای بهبود طراحی و احداث ساختمان‌ها را فراهم می‌کنند. گوپتا و همکاران (۲۰۱۷) روشی برای ارزیابی میزان مصرف انرژی در برابر داده‌های محیط زیستی ساختمان‌ها در انگلستان ارائه داده‌اند. این روش برای اجرا در ساختمان‌های با استانداردهای بالای پایداری و نیازهای گرمایشی حداقلی برنامه‌ریزی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه دو ساختمان به میزان ارزیابی‌شده نفوذپذیری هوا دست یافته‌اند، اما مشکلاتی نظیر ضعف در اسناد سکونت، چالش‌های مدیریتی، دستورالعمل‌های جدید و کنترل ناکافی پنجره‌ها مشهود بود. شوکلا و همکاران (۲۰۱۸) با تأکید بر مفهوم ساختمان پایدار، به بررسی تأثیر تعمیر و نگهداری بر پایداری سازه‌ها پرداختند. این مطالعه با استفاده از کشورهای جنوب آسیا به عنوان نمونه، به بررسی جامع طرح‌های مرتبط و موانع موجود در این منطقه پرداخته است. سلیمان و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی گسترش تعمیر و نگهداری ساختمان‌ها با بازنمایی اثرات غیرخطی مشترک پرداخته‌اند. نتایج تحقیق، داده‌هایی درباره ارزیابی گسترش جغرافیایی با تمرکز بر پیش‌بینی‌ها، انحراف معیار و میانگین ارائه کرده است. این تحقیق دیدگاه‌های کمی درباره مدل‌های پیش‌بینی ارائه داده است. کمالی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر تعمیر و نگهداری بر پایداری ساختمان‌های صنعتی را بررسی کرده‌اند. اندازه‌گیری آلایندگی و استهلاک از اهداف اصلی این مطالعه بود. آن‌ها از روش‌های اندازه‌گیری صحرایی برای دما، رطوبت، دی‌اکسید کربن و سایر آلاینده‌ها استفاده کردند. کوونا و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی هزینه تعمیر و نگهداری ساختمان، از الگوریتم ژنتیک برای ارائه رویکردی سیستماتیک استفاده کرده‌اند. پیش‌بینی هزینه نگهداری به عنوان اولین قدم مهم در مدیریت ساختمان‌ها مطرح شده و این تحقیق از الگوریتم‌های فراابتکاری برای این منظور بهره برده است. ژو و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان شاخص‌های زیست‌محیطی و پایداری، چارچوبی اساسی برای تعمیر و نگهداری تجهیزات ساختمانی ارائه داده‌اند. نتایج نشان داد که افزایش عمر مفید تجهیزات و وسایل کارگاهی می‌تواند به ایجاد ساختمان‌های پایدارتر منجر شده و عمر اجزای غیرسازه‌ای

ساختمان را بهبود بخشد. اسمیت و پاتل (۲۰۲۳) به بررسی استراتژی‌های نگهداری پیش‌بینانه برای ماشین‌آلات صنعتی با استفاده از اینترنت اشیا و هوش مصنوعی پرداختند که نشان‌دهنده نقش تکنولوژی‌های نوین در بهینه‌سازی فرآیندهای نگهداری است. ژانگ و مولر (۲۰۲۳) نیز به بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری ساختمان‌ها از طریق مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و شاخص‌های پایداری پرداخته‌اند. گارسا و همکاران (۲۰۲۴) ارزیابی چرخه عمر فرآیندهای تعمیر و نگهداری در صنایع تولیدی را مورد بررسی قرار داده‌اند، در حالی که کومار و لی (۲۰۲۴) تأثیر هوش مصنوعی را در نگهداری پیش‌بینانه سیستم‌های ساختمانی با کارایی انرژی بالا بررسی کرده‌اند. نگوین و همکاران (۲۰۲۴) به استفاده از داده‌های بزرگ و تجزیه و تحلیل پیشرفته برای تعمیر و نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی پرداخته‌اند. بر اساس این مطالعات، لزوم بررسی چالش‌های تعمیر و نگهداری اهمیت زیادی دارد. همچنین، با توجه به محدود بودن پژوهش‌های قبلی در زمینه تعمیر و نگهداری سیستم‌های ماشین‌آلات صنعتی، نیاز به بررسی‌های بیشتر در این حوزه احساس می‌شود. به همین دلیل، باید اقدامات پیشگیرانه به منظور نگهداشت تجهیزات در شرایط مناسب بررسی شده و برنامه‌ریزی لازم برای مواجهه با چالش‌ها انجام گیرد. همچنین، اندرسون و کیم (۲۰۲۵) نیز تحلیل هزینه-فایده نگهداری پیشگیرانه را در ماشین‌آلات سنگین را بررسی نموده و مشخص گردید که اهمیت برنامه‌ریزی اقتصادی در مدیریت نگهداری را برجسته بوده است. لوپز و سینگ (۲۰۲۵) ارائه راه‌حل‌های هوشمند برای عملیات پایدار در زمینه تعمیر و نگهداری ساختمان‌ها را با بررسی روش‌های نگهداری بهینه در ماشین آلات مورد استفاده در ساختمان معرفی نموده اند. نتایج این مطالعه تاثیر بسیار مناسب روش‌های دوره‌ای نگهداری را نشان داده است.

بر اساس این مطالعات، لزوم بررسی چالش‌های تعمیر و نگهداری اهمیت زیادی دارد. همچنین، با توجه به محدود بودن پژوهش‌های قبلی در زمینه تعمیر و نگهداری سیستم‌های ماشین‌آلات صنعتی، نیاز به بررسی‌های بیشتر در این حوزه احساس می‌شود. به همین دلیل، باید اقدامات پیشگیرانه به منظور نگهداشت تجهیزات در شرایط مناسب بررسی شده و برنامه‌ریزی لازم برای مواجهه با چالش‌ها انجام گیرد.

۲- بیان مسئله

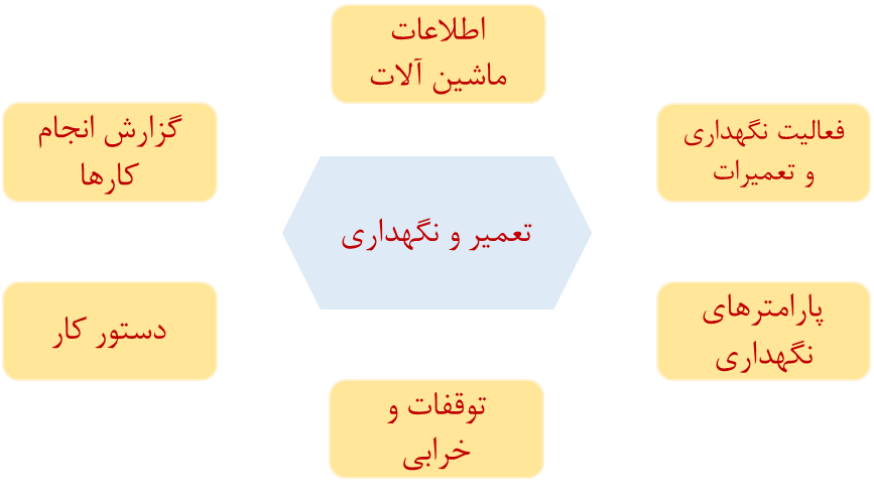
در مدیریت سنتی مقوله نگهداری به‌عنوان ابزار پشتیبانی، غیر بهره‌ور و کم اهمیت که مزیت ناچیزی را برای موسسات دربردارد، مدنظر قرار گرفته است (شاه ابراهیمی و همکاران، ۲۰۲۴). در نگرش نوین، نگهداری تأسیسات و ماشین آلات به عنوان بخش ضروری عملیات سازمان‌ها مورد توجه قرار می گیرد. بخش نگهداری باید جهت نگه‌داشتن تجهیزات در شرایط خوب از طریق اقدامات پیشگیرانه سعی کند معتقد که تعمیر و نگهداری بسیار مهم است چرا که عامل هزینه ها را کاهش می دهد و ریسک شکست را کم می‌کند. تصمیم‌گیری در مورد نگهداری و جایگزینی بهینه تجهیزات به عنوان یک فضای کار کلیدی جهت کاهش هزینه ها و استفاده بهینه از منابع مورد توجه مدیران و پژوهشگران قرار می‌گیرد. با توجه به گام گذاشتن در هزاره سوم و پیشرفت‌های سریع تکنولوژی و رشد چشم گیر علم رباتیک و هوش مصنوعی هر روزه ماشین آلات جدیدی بوجود می‌آیند که کامل کننده نسل پیشین خود هستند (سلیمان و همکاران، ۲۰۱۸)؛ و با توجه به این موضوع که امروزه در زمینه پروژه های زیر بنایی (نظیر راه، راه‌آهن، سد، کانالهای آبی، نفت و گاز) وجود این ماشین آلات و تجهیزات گران قیمت در چرخه حیات پروژه امری ضروری است، مدیریت دارایی‌های فیزیکی (دارایی های فیزیکی که بخش عظیمی از سرمایه شرکت ها را تشکیل می دهند) از اهمیت بالایی برخوردار است و توانایی کاهش زمان و هزینه بسیار بالای ناشی از افزایش راندمان و سلامت این تجهیزات در چرخه حیات پروژه را دارا می باشد. دستیابی به این مهم با به کارگیری کامپیوتر، منابع ارزشمندی را همچون پول، منابع انسانی ، زمان و غیره را بیش از روشهای سنتی برای پروژه حفظ می کند و می‌تواند به عنوان یک پایگاه داده نقش بسزایی در شکل‌گیری سیستم های پشتیبانی تصمیم‌گیری ایفا نماید. با توجه به اهمیت نگهداری و تعمیرات، در تحقیق حاضر به بررسی نقش نگهداری و تعمیرات در کاهش هزینه ها پرداخته شده است (امیرکاردوست و همکاران، ۲۰۲۴).

طی یک دهه گذشته کارشناسان رشته نگهداری و تعمیرات بر اهمیت هر چه بیشتر سیستم‌های مناسب نگهداری در مقایسه به تعمیرات پرداخته و بر اهمیت موضوع تکیه می ورزند. هزینه های نگهداری و تعمیرات جز آیتم های اصلی تشکیل دهنده

هزینه‌های سربار می باشند و نتیجتاً بر سود خالص سازمان‌ها بسیار موثرند. از این رو، در این مطالعه به بررسی اثر تعمیر و نگهداری ماشین آلات در کاهش هزینه‌ها پرداخته خواهد شد (خیرخواه و همکاران، ۲۰۱۲).

۳- مواد و روش‌ها

فرآیند شرح داده شده در شکل ۱، در ضرورت های سیستم تعمیرات و نگهداری را نشان داده است. مواردی مثل زمان تعمیر، زمان انتظار برای دریافت قطعات، در دسترس بودن تجهیزات و غیره باحداکثر بهره‌وری انجام می شود. حلقه سمت چپ که جنبهٔ بهبود مستمر را دارد عمدتا بر اثربخشی نگهداری و تعمیرات تأکید دارد، زیرا فعالیت‌های نگهداری و تعمیراتی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد تا از بهینه بودن اجرای آنها اطمینان حاصل شود. این قسمت از فرآیند که غالبا در اکثر برنامه های تغییر و تحول در نگهداری و تعمیرات حذف می گردد، برای سازمان ها نقش تعیین کننده ای در بهبود سازمانی ایفا می کند. بنابراین، باید در پروژه تغییر و تحولات نگهداری و تعمیرات نگاه دقیق تری به این جنبهٔ مهندسی نیز داشت تا بتوان تجهیزات را راحت‌تر نگهداری و تعمیر نمود تا دلایل خرابی‌های تکراری شناسایی و در صورت لزوم اصلاحات لازم از طریق تعمیرات اصلاحی انجام شود (شی و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل ۱- ضرورت های سیستم تعمیرات و نگهداری

مدیریت نگهداری جامع برنامه‌ای است که هدف آن بهبود کارکردهای نگهداری در سازمان بوده و کلیه کارکنان را دربر می گیرد (شاهین و همکاران، ۲۰۱۵). با اجرای کامل آن، کیفیت و بهره‌وری به نحو چشمگیری افزایش یافته و هزینه‌ها کاهش می یابند. برخی از مؤلفین از این تکنیک بعنوان اصل ضروری در تولید این برنامه پشتیبان نظام تولید به هنگام و لوازم مدیریت کیفیت جامع نام می برند. چنین به نظر می رسد که یک فعالیت نگهداری اثربخش موجب سودآوری مؤسسات به وسیله افزایش در کارایی تولید و کارایی کل مؤسسه، بهبود دسترسی و قابلیت اطمینان می‌گردد. بنابراین سیستم تعمیرات و نگهداری ضمن ایجاد یک سیستم اثربخش نگهداری در مؤسسات تولیدی، می تواند به عنوان یک فعالیت کلیدی در ایجاد ارزش افزوده /کاهش هزینه نیز مد نظر قرار گیرد. نیاز به سیستم نگهداری و تعمیرات جامع کاهش کلیه هزینه های نگهداری اعم از تعمیرات اضطراری و پیشگیرانه به صورت توام می‌باشد. لذا بدیهی است که بررسی هر یک از اقلام هزینه به صورت مجزا باعث می گردد تا هزینه‌های قلم دیگر افزایش یابد. استفاده از تکنیک های کارآمد بهینه سازی در این راستا امری بدیهی جلوه می‌نماید. این روش براساس یک تفکر ژاپنی ابداع شده است، منشأ پیدایش آن به سال ۱۹۵۱ برمی گردد زمانی که نگهداری و تعمیرات در ژاپن مطرح شد اگرچه این مفهوم از آمریکا گرفته شده بود ولی شرکت های ژاپنی اولین شرکت‌هایی بودند که این روش را در کارخانه های خود

در سال ۱۹۶۰ به طور عمومی به کار بردند. اپراتور کالا را به وسیله ماشین تولید می کند یک گروه از کارگران مسئول نگهداری از آن دستگاه می باشند با اتوماسیون شدن کارخانه‌ها در ژاپن نگهداری از دستگاه‌ها به این روش به یک مشکل اساسی تبدیل شده بود به همین دلیل مدیریت تصمیم می گیرد که نگهداری از تجهیزات به عنوان یک کار روزانه توسط اپراتور هر دستگاه انجام گیرد (سجادی و همکاران، ۲۰۰۵). کارکنان بخش نگهداری و تعمیرات سعی دارند در دستگاه ها تغییراتی در جهت بهبود عملکرد آن‌ها ایجاد کنند. این تغییرات اغلب توسط کارگران هر بخش به صورت ابداع قطعات جدید و یا ایجاد بهبود در ترکیب قطعات نمایان می‌شود. هدف از تعمیرات و نگهداری به حداکثر رساندن کارایی ماشین آلات و تجهیزات کارخانه برای رسیدن به بهینه‌ترین چرخه هزینه تجهیزات می باشد. یکی از فعالیت‌های مهم در ژاپن اعطای جوایز به طرح های برتر به منظور تکمیل و توسعه بوده است (صمدی و همکاران، ۲۰۰۵).

۳-۱- معرفی مورد مطالعاتی این پژوهش

در این پژوهش از شرکت جهادنصر کرمان به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. در حال حاظر این شرکت با ۴۶۳۴ نفر نیروی انسانی متخصص ، باتجربه و ماهر و ۱۲۳۵ دستگاه انواع ماشین آلات تخصصی سنگین ، نیمه سنگین ، ثابت ایستگاهی و سبک ، توانسته است بیش از ۴۸۰ پروژه بزرگ عمرانی در زمینه های (خطوط انتقال نفت و گاز، راه و ترابری، آب وخاک، سدسازی، اسکله و کاوش‌های زمینی و ساختمان) با موفقیت به پایان برساند که از این میان ۱۴۶ پروژه آن در خارج از استان کرمان به انجام رسیده اند. این مهم موجب گردیده این شرکت به یکی از بزرگترین شرکتهای پیمانکاری در اجرای پروژه های ملی و زیر ساختی کشور ایران محسوب گردد. لازم به ذکر است که شمار زیادی از پروژه های اجرا شده و یا در دست اجرای این شرکت بصورت EPC به انجام می رسد. ماشین آلات مورد استفاده در این شرکت انواع بولدوزر، لودر، گریدر، غلتک و کمپرسی هستند که در این پژوهش هدف برنامه ریزی برای تعمیر و تعویض فیلترهای هوا، روغن و سوخت این ماشین آلات است. همچنین، جهت بدست آوردن برخی پارامترهای مورد نیاز برای برنامه ریزی، با مهندسین این شرکت مشورت شده است. بدین صورت که برای محاسبه مقادیر آلفا و بتا فرمی بین مهندسین شرکت پخش شد که در آن در مورد این دو پارامتر توضیح داده شده بود و از آنها خواسته شد تا مقدار مورد نظر خود را بیان کنند. در نهایت از نظرات میانگین هندسی گرفته شد و مقادیر در اختیار مدیریت بخش تعمیرات و نگهداری قرار داده شد. که ایشان با اندکی تغییر مقادیر ۰/۲۵ و ۲/۵ را برای آلفا و بتا پیشنهاد کردند. سایر داده ها نیز که شامل هزینه تعمیرات، هزینه تعویض و هزینه فرصت از دست رفته است توسط واحد نگهداری و تعمیرات توسط گزارش‌هایی محاسبه شده است. در صورتی که لودری به علت عدم تعویض فیلتر روغن دچار مشکل موتوری شده است، برگه گزارشی در مورد علت مشکل به وجود آمده و هزینه‌ای که شرکت متحمل شده است به مدیریت ارائه می شود. در این پژوهش از این گزارش ها استفاده شده است که البته سعی شده است تاریخ گزارش ها به هم نزدیک باشد تا قیمت ها به علت تورم و سایر عوامل تغییر نداشته باشند. شکل (۲) تجهیزات شرکت جهاد نصر کرمان را نمایش داده است.

شکل ۲- مجموعه تجهیزات و ماشین آلات شرکت جهاد نصر کرمان

۳-۲- مدل ریاضی این پژوهش

در این پژوهش با ارائه مدلی مبتنی بر تحقیق در عملیات و بهینه‌سازی آن با استفاده از سیستم مدلسازی جبری عمومی (GAMS۱)، برنامه ای جامع برای تعمیرات و نگهداری ماشین آلات جهادنصر کرمان ارائه شده است برای این منظور می‌بایست پارامترها و متغیرهایی تعریف شوند. این متغیرها و پارامترها به شرح زیر می‌باشند:

N:تعداد اجزاء درنظرگرفته شده درسیستم

T: تعداد دوره کاری درنظرگرفته شده درسیستم

J: تعداد بازه زمانی درنظرگرفته شده درسیستم

λ_i: طول عمرقطعات $i = 1,2,3,...,N$

β_i :شکل پارامتریک قطعات $i = 1,2,3,...,N$

α_i: فاکتورارتقاء قطعات $i = 1,2,3,...,N$

F_i: هزینه فرصت ازدست رفته غیرقابل انتظارقطعات $i = 1,2,3,...,N$

M_i: هزینه تعمیرات قطعه i $i = 1,2,3,...,N$

R_i: هزینه جایگزینی قطعه i $i = 1,2,3,...,N$

Z: هزینه ثابت درنظرگرفته شده درسیستم

RRS: قابلیت اطمینان موردنیاز سیستم متشکل ازقطعات

GB:هزینه اختصاص داده شده به سیستم متشکل ازقطعات

۱ General algebraic modeling system

متغیرهای تصمیم:

X_{ij} :عمرمفیدقطعه i درشروع دوره j

X'_{ij} :عمرمفیدقطعه i درپایان دوره j

$$\left.\begin{array}{l} \text{۱ اگرجزء } i \text{ دردوره } j \text{ تعمیرشود} \\ \text{۰ در غیر این صورت} \end{array}\right\} = m_{ij}$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{۱ اگرجزء } i \text{ دردوره } j \text{ تعویض شود} \\ \text{۰ در غیر این صورت} \end{array}\right\} = r_{ij}$$

$$Z_j = Z\left(1-\prod_{i=1}^{N}\left(1-M_{ij}+R_{ij}\right)\right) \qquad i=1,...,N \qquad j=1,...,T \tag{۱}$$

این فرمول نشان‌می‌دهد که هزینه کل درنظرگرفته شده برای سیستم ازرابطه فوق بدست می‌آیدکه پارامترهای آن دربالا اشاره شده است. همچنین قابلیت اطمینان سیستم نیزازرابطه (۲) درذیل به آن اشاره شده است.

$$R=\prod_{i=1}^{N}\prod_{j=1}^{T} e^{-\left(\gamma_i\left(X'_{ij}\beta_i - X_{ij}\beta_i\right)\right)} \tag{۲}$$

مدل پیشنهادی، درآن تابع هدف برپایه ی مینیمم کردن هزینه کل سیستم ارائه شده است. دراین مدل مجموع هزینه های درنظرگرفته شده نباید ازهزینه ثابت موجوددرسیستم تجاوز کند. ضمن اینکه درارائه این مدل محدودیت هایی درنظرگرفته شده که در ذیل به آن ها می‌پردازیم:

$$Minimize\ Total\ Cost = \tag{۳}$$
$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{T}\left[F_i\gamma_i\left(X'_{ij}\beta_i - X_{ij}\beta_i\right)+M_i m_{ij}+R_i r_{ij}\right]+\sum_{j=1}^{T}\left[Z\left(1-\prod_{i=1}^{N}\left(1-\left(m_{ij}+r_{ij}\right)\right)\right)\right]$$

$$Subject\ \ to:$$

$$X_{i1}=0 \quad , \quad i=1,...,N \tag{۴}$$

$$X_{ij}=\left(1-m_{ij-1}\right)\left(1-r_{ij-1}\right)X'_{ij-1}+m_{ij-1}\left(\alpha_i X'_{ij-1}\right) \quad , \quad i=1,...,N \quad , \quad j=2,...,T \tag{۵}$$

$$X'_{ij}=X_{ij}+\frac{T}{J} \quad , \quad i=1,...,N \quad , \quad j=1,...,T \tag{۶}$$

$$m_{ij}+r_{ij}\le 1 \quad , \quad i=1,...,N \quad , \quad j=1,...,T \tag{۷}$$

$$m_{ij}\times r_{ij}=0 \quad , \quad i=1,...,N \quad , \quad j=1,...,T \tag{۸}$$

$$X_{ij}+X'_{ij}\ge 0 \quad , \quad i=1,...,N \quad , \quad j=1,...,T \tag{۹}$$

همانطور که اشاره شد، تابع هدف این مدل کمینه کردن مجموع هزینه‌های سیستم است که این هزینه‌ها عبارتند از هزینه‌های تعویض و تعمیر و همچنین هزینه های فرصت ازدست رفته غیرقابل انتظار قطعات. به عبارت دیگر مدل به دنبال جوابی است که به ترتیب تعداد تعویض ها و تعمیرها در آن بسیار کم باشد. اما این کم بودن نباید در حدی باشد که باعث ایجاد هزینه فرصت از دست رفته گردد. رابطه (۴) با توجه به اینکه فرض می شود سیستم از زمان صفر شروع به کار می‌کند و در اولین دوره پس از تعویض قطعه هستیم، بیان می‌کند که عمر قطعات در ابتدای دوره برابر با صفر است. رابطه (۵) بیان می‌کند که عمر قطعه در ابتدای هر دوره می تواند برابر با ۳ مقدار مختلف باشد. حالت اول وقتی است که در دوره قبل نه تعمیر و نه تعویضی صورت نگرفته است و در این حالت عمر سیستم در ابتدای دوره برابر با عمر سیستم در انتهای دوره قبل است. حالت دوم تعویر را نشان می‌دهد. که در صورتی که در دوره قبل قطعه تعمیر شده باشد، متناسب با پارامتر α_i مقدار عمر پیش روی آن افزایش و به صورت فرضی مقدار عمر گذرانده شده ی آن کاهش می یابد. همچنین در صورتی که قطعه تعویض گردد(حالت سوم) عمر قطعه مجددا صفر می شود. رابطه (۶) بیان می‌کند که طول عمر هر قطعه در انتهای دوره به نسبت طول دوره یک واحد افزایش پیدا می کند.(به عنوان مثال در صورتی که افق برنامه ریزی یک سال یا ۱۲ ماه باشد و دوره های تعمیرات و نگهداری ۳ ماهه باشند، در پایان دوره ۴ ماه به عمر سیستم اضافه می شود) روابط (۷) تا (۹) نیز بیان می کنند که در هر دوره یا باید یک قطعه تعویض شود، یا تعمیر شود و یا تغییری بر روی آن ایجاد نگردد و این سه نمی توانند همزمان رخ دهند. این پروژه یک تحقیق کاربردی است که درآن بااستفاده ازمدل پیشنهادی، برنامه نگهداری وتعمیرات پیشگیرانه مورد آنالیز قرار خواهدگرفت تا بتوان مدل مناسب پایین آمدن هزینه کل سیستم رابرای سازمان های تولیدی و عملیاتی بدست آورد.

۳-۳- سیستم مدلسازی جبری عمومی (GAMS)

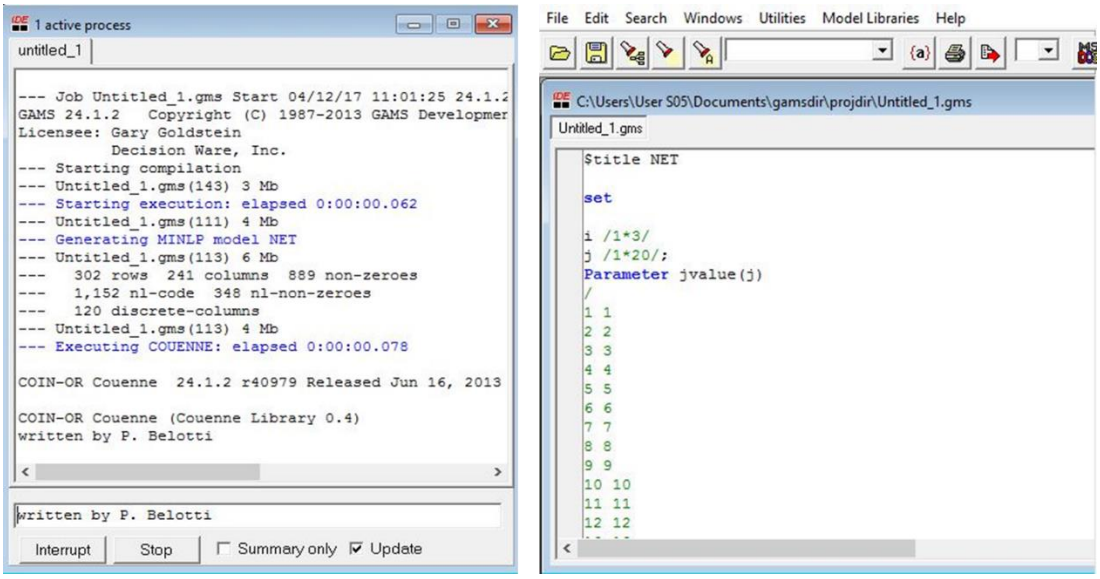
مدل ارائه شده به گونه‌ای تعریف می‌شود که کاربر آن را برای کاربران و کامپیوتر آسان می‌کند. در حقیقت برنامه‌ی GAMS مستندی از مدل است و دیگر به توضیحات جداگانه‌ی گذشته نیازی ندارد. همچنین طراحی GAMS با ویژگی های زیر بیانگر نیازهای کاربر به مستندات است:

تمامی تغییرات داده‌ها به صورت خلاصه و جبری مشخص شده‌اند. در حقیقت می‌توان همه داده‌ها گزارش‌گیری، برای بررسی در دسترس هستند.

متن توصیفی بخشی از تعریف نمادها را تشکیل می‌دهند، و با نمایش مقادیر متناظر، این متن نیز مشاهده می‌شود.

تمامی اطلاعات مورد نیاز برای درک مدل در مستند آن موجود است.

واضح است که برای بهره بردن از ویژگی‌های ذکر شده، دستورالعمل هایی را باید به کار برد. اما هدف این سیستم تبدیل مدل‌ها به مدل‌های در دسترس‌تر قابل درک، قابل بازبینی، و البته معتبرتر است(خیرخواه و همکاران، ۲۰۱۲). شکل (۳) صفحات ورودی، حل و خروجی این نرم افزار را نشان می دهند.



شکل ۳- صفحه محاسبات و توضیحات الگوریتم نرم افزار گمز پس از فرمان اجرای مدل

۴- بحث و نتایج

فیلتر هوا دارای دو نوع خشک و تر است که البته در ماشین آلات جدید از فیلتر خشک استفاده می شود. به همین منظور در این پژوهش نیز برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات متناسب با هزینه های فیلتر خشک در نظر گرفته شده است. با توجه به نظر کارشناسان، کارایی فیلتر هوا حدودا ۴۰ درصد در راندمان موتور تاثیرگذار است که این موضوع اهمیت بررسی این فیلتر را دوچندان می کند. برای تعمیر این فیلتر می بایست آن را اصطلاحا باد گرفت که این عمل برای هر فیلتر بیش از ۵ بار مجاز نیست. در مورد فیلتر روغن، زمانی که به موقع تعویض نشود، مفظه های فیلتر مسدود شده و در نتیجه دبی خروجی فیلتر کاهش می یابد. این کاهش باعث می شود که روغن کافی به قطعات متحرک موتور نرسد و تعمیرات زودهنگام برای موتور صورت پذیرد. همچنین در صورتی که فیلتر سوخت به موقع تعویض شده و سوخت مورد استفاده نیز مناسب باشد، عمر سیستم سوخت رسانی ماشین آلات افزایش می یابد. گازوییل معمولا در مسیر پالایشگاه تا مصرف کننده، به علت‌های مختلف حاوی مقادیری آب و ذرات معلق است که برای نگهداری بهتر از ماشین، باید این آب را جدا کرد. برای جلوگیری از فرسایش زودهنگام سیستم سوخت رسانی تدابیری از جمله تصفیه گازوئیل قبل از استفاده در دستگاه می بایست صورت پذیرد. وقتی سیستم سوخت رسان معیوب باشد، مصرف سوخت نیز افزایش پیدا می کند که این افزایش مصرف غیرعادی باعث جذب دوده توسط اطراف سوپاپ و رینگ‌های موتور خواهد شد. در این صورت انتقال حرارت به کندی صورت می‌گیرد و این دو قطعه زودتر از موعد فرسوده می شوند. در این بخش ابتدا به بیان داده ها پرداخته و سپس با استفاده از مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل، مدل را در نرم افزار گمز۲ اجرا و نتایج ارائه خواهد شد.

GAMS۲

۴-۱- داده ها

در بررسی دستگاه‌های مختلفی که در ادامه پژوهش به آنها پرداخته شده است، هزینه اختصاص داده شده به سیستم با توجه به نوع دستگاه، متغیر خواهد بود. سایر داده ها مطابق جدول (۱) می‌باشد. لازم به ذکر است که متغیرهای مربوط به سن سیستم و عمر دستگاه بر حسب دوره های ۵۰ ساعته و متغیرهای از جنس هزینه بر حسب هزار تومان می باشد.

جدول ۱- داده های مربوط به تعمیرات و نگهداری ماشین آلات

	M	R	λ	f	α	β
بولدوزر						
فیلتر هوا	۱۵۰	۷۵۰	۱۰	۲۰۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر روغن	۱۵۰	۱۵۰۰	۶	۳۵۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر سوخت	۱۰	۳۵	۴	۳۵۰	۰/۲۵	۲/۵
کمپرسی ولوو						
فیلتر هوا	۳۰۰	۱۵۰۰	۱۰	۳۵۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر روغن	۳۰۰	۳۰۰۰	۷	۴۵۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر سوخت	۳۰	۱۵۰	۴	۱۰۰۰	۰/۲۵	۲/۵
لودر						
فیلتر هوا	۱۰۰	۵۰۰	۱۰	۱۵۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر روغن	۱۰۰	۱۰۰۰	۴	۲۰۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر سوخت	۱۰	۳۰	۴	۱۷۰	۰/۲۵	۲/۵
غلتک						
فیلتر هوا	۱۰۰	۵۰۰	۱۱	۲۰۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر روغن	۱۰۰	۱۰۰۰	۶	۱۵۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر سوخت	۱۰	۲۵	۴	۱۵۰	۰/۲۵	۲/۵

گریدر						
فیلتر هوا	۱۳۰	۶۵۰	۱۰	۲۵۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر روغن	۱۰۰	۱۳۰۰	۵	۲۵۰۰	۰/۲۵	۲/۵
فیلتر سوخت	۱۰	۳۵	۴	۴۰۰	۰/۲۵	۲/۵

۴-۲- دستگاه ها

برای هر دستگاه سه عملیات مختلف شامل تعویض/تعمیر فیلتر هوا، فیلتر روغن و فیلتر سوخت مورد بررسی قرار می‌گیرد. هرکدام از این فیلترها با توجه به کاربرد و محل قرار گیری در صورتی که دیر تعویض/تعمیر شوند، مشکلاتی را برای دستگاه به وجود می آورند که هزینه مشکل به وجود آمده تحت عنوان متغیر f در مدل قرار داده شده است. همچنین برای کاستن از ابعاد مسئله، متغیرهای مربوط به هزینه بر حسب هزار تومان و متغیرهای بر حسب ساعت نیز بر حسب ۵۰ ساعت بیان می شوند و منظور از دوره‌ها، دوره‌های ۵۰ ساعته است. طول عمر سیستم نیز برابر با ۲۰ دوره یا ۱۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است که دلیل آن عمر مفید فیلترهای استفاده شده می باشد. علاوه بر این، مقادیر آلفا و بتا نیز با نظر کارشناسان به ترتیب ۰/۲۵ و ۲/۵ در نظر گرفته می شود.

۴-۲-۱- بولدوزر

ابتدا مدل را برای بولدوزر حل می کنیم. هزینه اختصاص داده شده برای این دستگاه ۱۰ میلیون در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- خروجی مدل برای متغیر سن اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری بولدوزر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	1	2	3	0	0	0	1	2	3
فیلتر روغن	0	1	1.5	2.5	3.5	1.5	2.5	0	0	0
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	1	0	0	1	0	0	1	2
فیلتر روغن	0	1	1.5	1.5	1.5	2.5	3.5	1.5	2.5	1.5
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
قابلیت اطمینان: ۹۲ درصد										

جدول (۳) سن قطعات مورد بررسی را در ابتدای هر دوره نشان می دهد. مواقعی که سن قطعه کاهش یافته است، در صورتی که به صفر تبدیل شده باشد، قطعه تعویض شده و در غیر این صورت تعمیر شده است. معمولا تعمیر فیلترها با باد گرفتن در آن

که توسط فردی باتجربه انجام می شود صورت می گیرد. همانطور که در این جدول مشخص است، فیلتر سوخت به علت اینکه قطعه‌ای به نسبت ارزان قیمت بوده و تفاوت زیادی میان هزینه تعمیر و تعویض آن وجود ندارد اما در صورت خرابی هزینه زیادی بر دستگاه وارد می کند، در ابتدای هر دوره تعویض شده است که این موضوع به وضوح در جدول مربوط به برنامه تعویض قطعات (۴) مشخص است. البته در صورتی که هزینه اختصاص داده شده به تعمیرات و نگهداری بولدوزر کاهش یابد، مسلما مدل به سمت تعمیر قطعه خواهد رفت و تعداد تعویض ها کاهش می یابد. نکته ی دیگر اینکه همانطور که در جداول سن سیستم برای تمام ماشین آلات مشاهده می شود، سن سیستم در ابتدای افق برنامه ریزی صفر در نظر گرفته می شود. یعنی قطعه در ابتدای دوره تعویض شده است.

جدول ۳- خروجی مدل برای متغیر تعمیر اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری بولدوزر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
فیلتر روغن	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول ۴- خروجی مدل برای متغیر تعویض اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری بولوزر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
فیلتر سوخت	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر سوخت	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

۴-۲-۲- کمپرسی ولوو

خروجی مدل مربوط به کمپرسی ولوو مطابق جداول (۵) تا (۷) است. هزینه اختصاص داده شده برای این دستگاه ۱۰ میلیون در نظر گرفته شده است.

جدول ۵- خروجی مدل برای متغیر سن اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری کمپرسی ولوو

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3
فیلتر روغن	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	4	5	6	2.5	3.5	4.5	5.5	2.5	3.5	4.5
فیلتر روغن	3	4	5	0	1	2	3	4	1.75	2.75
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
قابلیت اطمینان: ۸۷ درصد										

هزینه اختصاص داده شده به کمپرسی ولوو همانند بولدوزر می‌باشد اما هم هزینه تعمیرات و هم هزینه تعویض قطعات برای این دستگاه بیشتر از بولدوزر است. بنابراین انتظار داریم تعاد تعویض ها و همچنین تاحدی تعداد تعمیرها در این دستگاه کمتر از بولدوزر باشد. با مقایسه جداول ۳-۷ این مسئله کاملا مشهود است. بیشترین تعویض‌ها و تعمیرها مربوط به فیلتر سوخت است که دلیل آن همانطور که قبلا گفته شد پایین بودن قیمت این فیلتر و بالا بودن هزینه بوده است

جدول ۶- خروجی مدل برای متغیر تعمیر اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری کمپرسی ولوو

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر سوخت	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
فیلتر سوخت	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0

جدول ۷- خروجی مدل برای متغیر تعویض اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری کمپرسی ولوو

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
فیلتر سوخت	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر سوخت	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

۴-۲-۳- لودر

خروجی مدل مربوط به لودر مطابق جداول ۸ تا ۱۰ گزارش گردیده است. هزینه اختصاص داده شده برای این دستگاه ۷ میلیون در نظر گرفته شده است.

جدول ۸- خروجی مدل برای متغیر سن اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری لودر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
فیلتر روغن	0	1	0	0	1	1	2	0	0	1
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6
فیلتر روغن	0	0	1	2	0	0	1	0	0	1
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
قابلیت اطمینان: ۹۰ درصد										

جدول (۸) متغیر سن را برای دوره‌های مختلف هر قطعه را برای لودر نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در مورد لودر نیز برای فیلتر سوخت هرروز قطعه تعویض یا تعمیر شده است که علت آن توضیح داده شد. همچنین کمترین تعویض و تعمیر مربوط به فیلتر هواست و فیلتر روغن در میانه قرار دارد.

جدول ۹- خروجی مدل برای متغیر تعمیر اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری لودر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
فیلتر سوخت	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
فیلتر سوخت	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0

جدول ۱۰- خروجی مدل برای متغیر تعویض اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری لودر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
فیلتر سوخت	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
فیلتر سوخت	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0

۴-۲-۴- غلتک

خروجی مدل مربوط به غلتک مطابق جداول ۱۱-۱۳ ارائه شده است. هزینه اختصاص داده‌شده برای این دستگاه ۵ میلیون در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۱- خروجی مدل برای متغیر سن اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری غلتک

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
فیلتر روغن	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3
فیلتر سوخت	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	1	2	3	4	0	0	1	2	3
فیلتر روغن	4	0	1	2	3	4	0	0	1	2
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
قابلیت اطمینان: ۸۵ درصد										

کمترین هزینه اختصاص داده شده در بین دستگاه ها مربوط به غلتک است. همانطور که در جداول (۱۱-۴) تا (۱۳-۴) مشخص است، کمترین تعداد تعمیر و تعویض نیز متعلق به همین وسیله است. در مورد تعویض، فقط یه مورد تعمیر مربوط به فیلتر هوا و یک مورد مربوط به فیلتر روغن است که این مقدار برای فیلتر سوخت با توجه به هزینه پایین آن، بیشتر است. همچنین، در میان تمامی وسایل مورد بررسی، کمترین تعداد تعمیرات و تعویض قطعه فیلتر سوخت مربوط به غلتک می باشد.

جدول ۱۲- خروجی مدل برای متغیر تعمیر اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری غلتک

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
فیلتر سوخت	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
فیلتر سوخت	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0

جدول ۱۳- خروجی مدل برای متغیر تعویض اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری غلتک

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
فیلتر سوخت	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
فیلتر روغن	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
فیلتر سوخت	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0

۴-۲-۵- گریدر

خروجی مدل مربوط به غلتک مطابق جداول ۱۴-۱۶ گزارش گردیده است. هزینه اختصاص داده شده برای این دستگاه با توجه به اهمیت این دستگاه در کارگاه، ۷ میلیون در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۴- خروجی مدل برای متغیر سن اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری گریدر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	1	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	1	2	2.5	3.5	0	0	1	2	2.5	3.5
فیلتر روغن	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
قابلیت اطمینان: ۸۹ درصد										

جدول (۱۴) سن قطعات را در طول افق برنامه ریزی برای گریدر نشان می‌دهد. درمورد گریدر، فیلتر روغن در انتهای تمام دوره ها به جز دوره آخر تعمیر شده است اما هیچ تعویضی در برنامه ریزی ان وجود ندارد. در مورد فیلتر سوخت هم در انتهای هر دوره تعویض صورت گرفته است به جز دوره ۱۹ که در آن هم تعمیر قطعه صورت گرفته است. لازم به ذکر است که با توجه به یک دوره‌ای بودن برنامه‌ریزی، در دوره ۲۰ نیز تعمیر یا تعویضی صورت نمی‌گیرد.

جدول ۱۵- خروجی مدل برای متغیر تعمیر اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری گریدر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
فیلتر روغن	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
فیلتر روغن	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
فیلتر سوخت	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

جدول ۱۶- خروجی مدل برای متغیر تعویض اجزای مورد بررسی برای برنامه تعمیرات و نگهداری گریدر

دوره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فیلتر هوا	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر سوخت	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
دوره	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
فیلتر هوا	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
فیلتر روغن	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فیلتر سوخت	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

۴-۳- بهینه سازی هزینه ماشین آلات

در این فصل، ابتدا داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل در نرم افزار گمز را ارائه کرده و سپس مدل را در نرم افزار اجرا شده است. مدل برای ماشین آلات مختلف که در پروژه‌های عمرانی کاربرد دارند و برای سه نوع فیلتر سوخت، روغن و هوا اجرا شد. دوره‌های زمانی در این پژوهش با توجه به تجربه و توصیه کارشناسان برابر با ۵۰ ساعت و کل عمر سیستم برابر با ۱۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شد. همچنین مقادیر آلفا و بتا هم به ترتیب ۰/۲۵ و ۲/۲۵ در نظر گرفته شد. برای هرکدام از ماشین آلات با توجه به اهمیت، کاربرد و ماهیت آن هزینه متفاوتی در نظر گرفته شد. در نهایت مدل برای ماشین آلات اجرا شد و برنامه تعمیرات و نگهداری ماشین آلات که متشکل از برنامه زمانی برای تعمیر و تعویض قطعات بود در جدول (۱۷) ارائه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد هزینه اعمال شده برای تعمیرات و نگهداری نسبت به زمانی که این برنامه ریزی انجام نشده بود کاهش چشم‌گیری دارد. همچنین میزان خرابی نیز در گذشته که منجر به زمین گیر شدن ماشین آلات می شد بسیار بالا بود، که با برنامه ریزی جدید این مشکلات حل خواهد شد. هزینه‌های قبل از انجام برنامه‌ریزی و بعد از انجام برنامه‌ریزی برای سیستم به شرح ذیل می باشند. قابل ذکر است هزینه های قبل از برنامه‌ریزی، هزینه‌هایی هستند که شرکت در دوره های قبل به طور میانگین برای هر ماشین پرداخته است.

جدول ۱۷- هزینه تعمیرات و نگهداری برای هر یک از ماشین آلات بر حسب هزار تومان قبل و بعد از برنامه ریزی

نام وسیله	هزینه تعمیرات و نگهداری قبل از برنامه ریزی	هزینه تعمیرات و نگهداری بعد از برنامه ریزی
بولدوزر	۱۱۵۰۰	۹۳۶۵
کمپرسی ولوو	۱۲۰۰۰	۹۹۹۰
لودر	۷۵۰۰	۶۹۹۰
غلتک	۶۵۰۰	۴۹۹۵
گریدر	۷۰۰۰	۵۸۲۰

برای مقایسه با کارهای قبلی، مقاله شما به شکل قابل توجهی بر تأثیر نگهداری پیشگیرانه ماشین‌آلات در پروژه‌های عمرانی تمرکز دارد، در حالی که تحقیقات قبلی بیشتر به ساختمان‌ها، مصرف انرژی، و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان پرداخته‌اند. برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر تحلیل داده‌های زیست‌محیطی و ساختاری متمرکز بودند (مانند گوپتا و همکاران، ۲۰۱۷ و ژو و همکاران، ۲۰۲۱)، این پژوهش به بهینه‌سازی هزینه‌ها و بهره‌وری از طریق نرم‌افزار GAMS و مدل‌سازی جبری عمومی توجه کرده است. علاوه بر این، کارهای اخیر مانند اسمیت و پاتل (۲۰۲۳) و کومار و لی (۲۰۲۴) به استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی برای نگهداری پیش‌بینانه اشاره کرده‌اند. مطالعه شما نیز با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مشابه، اما در بستر پروژه‌های عمرانی و ماشین‌آلات سنگین، به این جریان تحقیقات افزوده است. همچنین، در حالی که اندرسون و کیم (۲۰۲۵) بر تحلیل هزینه-فایده در ماشین‌آلات سنگین تأکید داشتند، پژوهش حاضر تحلیل را با داده‌های عملیاتی از شرکت جهاد نصر کرمان ترکیب کرده و به نتایج ملموس‌تری در زمینه کاهش خرابی‌ها و تأخیرات پروژه دست یافته است. در نهایت، پیشنهادهای مدیریتی ارائه شده در مطالعه حاضر، مانند به‌کارگیری تکنیک‌های مدیریت دارایی و تحلیل هزینه-فایده، به تکمیل

شکاف موجود در ادبیات تحقیق کمک می‌کند و اهمیت تعمیر و نگهداری به‌عنوان استراتژی کلیدی در پروژه‌های عمرانی را برجسته می‌کند.

۵- نتیجه گیری

در دنیای رقابتی امروز، علم نگهداری در مدیریت دستگاه ها و تجهیزات و عمر فعال آنها رشد کرده و به عنوان یک زیر مجموعه الزامی در مدیریت سرمایه ها تعریف شده است، به صورتیکه مدیریت سرمایه های فیزیکی و موجود باعث افزایش عمر و دوره کاربری آنها و در نهایت بالاترین سود و بازده ممکن می‌گردد. با توجه به آنالیز انجام شده وجود فاکتورهای شش‌گانه زیر الزامی بوده و فاکتورهایی که تنها در گروی اجرای صحیح و علمی نگهداری محقق می‌شود.

کاهش خطر و ریسک ناشی از فعالیت سیستم

اجتناب از خرابی دستگاه ها و تجهیزات

تامین تجهیزات پایا و ماندگار و با کیفیت

کمترین هزینه تولید

محدودکردن ضررات و زیان های ناشی از فعالیت دستگاه ها

تولید و خروجی حداکثری

همچنین تحقق این فاکتورها منوط به وجود هماهنگی و همکاری نزدیکی بین قسمت های فنی و تعمیر و نگهداری است. واین مستلزم یک رابطه فعال و متعادل مابین این ۳ گروه است. در این پژوهش نیز با هدف برنامه ریزی برای کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری، قصد داشتیم تا تاثیر برنامه تعمیرات و نگهداری بر سیستم را به صورت برنامه‌ریزی نشان داده تا مدیران شرکت‌ها با مقایسه نتایج بدست آمده در این پژوهش با نتایج دوره‌های قبل، اهمیت بیشتری به برنامه ریزی برای تعمیرات و نگهداری داده تا بخشی از هزینه های اضافی سیستمی که مدیریت آن را به عهده دارند کاهش دهند. با توجه به بررسی انجام شده لزوم مطالعات بیشتر نیز در این حوزه ضرورت دارد. بخشی از موارد زیر به عنوان پیشنهاد مطرح می‌گردد.

اولویت‌بندی چالش‌های ناشی از فاکتورهای آب و هوایی در کارایی ماشین آلات

ارزیابی موارد آسیب زا در ماشین آلات صنعتی در کارگاه‌های ساختمانی

اولویت‌بندی روش‌های تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات در کارگاه‌های راه‌سازی

منابع

Alsuradi, H., & Yoo, J. (2019). Screen printed passives and interconnects on bio-degradable medical hydrocolloid dressing for wearable sensors. Scientific Reports, 9(1), 17467.

Amirkardoost, A. A., Alipour, A., & Sedaghat, S. D. (2022). The Effects of Supply Chain Sustainability on the Energy Efficiency.

Amirkardoust, A., Tavakoli, O., & Sedaghat Shayegan, D. (2024). Planning and Its Impact on the Success of Civil Projects. Civil and Project, 5(10), 37-46.

Anderson, P., & Kim, Y. (2025). Cost-Benefit Analysis of Preventive Maintenance in Heavy Machinery. Maintenance and Reliability Journal, 22(1), 78-91.

Boudaghi Alani, Mehdi; Mojoodi, Mahmoud. (2010). Oil analysis testing in preventive maintenance of heavy machinery and engines, First National Conference on High-Speed Vessels, Tehran. Persian

Garcia, F., et al. (2024). Lifecycle Assessment of Maintenance Processes in Manufacturing Industries. International Journal of Production Economics, 160(1), 45-58.

Gupta, M. Kapsali, M. Gregg, Comparative building performance evaluation of a "sustainable" community centre and a public library building, Build. Serv. Eng. Technol. 38 (6) (2017) 691–710.

Jong, H.S. Hong, B.J. 2014, On condition based maintenance policy, Journal of Computational Design and Engineering, 2: 119–127.

Kamali, K. Hewage, A.S. Milani, Life cycle sustainability performance assessment framework for residential modular building: aggregated sustainability indices, Build. Environ. 138 (2018) 21–41.

Khairkhah Khah Sabat Kadam, Pedram; Ravan Shadnia, Mehdi; Ramazani, Saeed. (2012). A model for determining the economic lifespan of earthmoving machinery using lifecycle cost analysis, Second National Conference on Engineering and Construction Management. Persian

Khodabakhshian Kargar, Rasool; Shakeri, Mohsen; Baradaran Matbai, Jalal. (2008). Preventive maintenance engineering and condition monitoring in construction machinery, Razis Conference Center, Tehran. Persian

Kona, A., Bertoldi, P., & Kılkış, Ş. (2019). Covenant of mayors: Local energy generation, methodology, policies and good practice examples. Energies, 12(6), 985.

Kumar, S., & Lee, H. (2024). AI-Driven Predictive Maintenance for Energy-Efficient Building Systems. Journal of Building Performance, 8(3), 99-112.

Liu, J., Xu, D., Hyyppä, J., & Liang, Y. (2021). A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the life cycle of buildings. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14, 5627-5637.

Lopez, D., & Singh, A. (2025). Smart Maintenance Solutions for Sustainable Building Operations. Green Building Journal, 14(2), 130-145. [ScienceDirect]

Nguyen, V., et al. (2024). Data-Driven Approaches in Predictive Maintenance of Industrial Equipment. Journal of Mechanical Systems, 33(5), 200-213.

Oduyemi, M. Okoroh, Building performance modeling for sustainable building design, Int. J. Sustain. Built. Environ. 5 (2016) (2016) 461–469.

Sajadi, Seyed Jafar; Farhang Moqaddam, Babak. (2005). A study on maintenance and repair costs in industries. Third National Conference on Maintenance and Repair, Tehran, Maintenance and Repair Association, Summit Hall of Heads of State. Persian

Samadi (2005) conducted a research entitled "The Share of Maintenance and Repair of Machinery in the Costs of Construction Projects," stating that the Condition Monitoring technique through oil analysis is undoubtedly an effective and superior response to the concerns of project managers regarding the proper management and operation of machinery.Persian

Sefi, Seyed Bagher. (2011). Determination of an appropriate mathematical model for predicting maintenance and repair costs of tractors used in the Sample Farm Company, Master's thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Persian

Shahebrahimi, S. S., Lork, A., & Sedaghat Shayegan, D. (2022). Knowledge management to investigate the failure factors in managing of Gas and Oil industry transmission lines projects. Iran University of Science & Technology, 12(2), 215-23.

Shahebrahimi, S. S., Lork, A., Sedaghat Shayegan, D., & Kardoust, A. A. (2024). Impact Of Construction Site Layout Planning Optimization On Construction Project Management (Case Study Of Launcher/Receiver Stations In Pipeline Projects In Khorasan Province). Int. J. Optim. Civil Eng, 14(1), 83-93.

Shahin, Arash; Balouei Jamkhaneh, Hadi. (2012). Prioritization of condition monitoring strategies to enhance equipment availability using Risk Priority Number (RPN) and AHP approach: A case study at Mobarakeh Steel Company. Journal of Research in Maintenance and Repair, Issue 2. Persian

Shey-Huei, Sh. Chin, C. Ch. Yen,L. Zhe George, Zh. 2015, Optimal preventive maintenance and repair Policies for multi-state Systems, Reliability Engineering and System Safety, 28-1.

Shukla, K. Sudhakar, P. Baredar, R. Mamat, BIPV based sustainable building in South Asian countries, Sol. Energy 170 (2018) 1162–1170.

Smith, J., & Patel, R. (2023). Predictive Maintenance Strategies for Industrial Machinery Using IoT and AI. Journal of Industrial Engineering, 45(2), 123-134. [ScienceDirect]

Soliman, A. Mackay, A. Schmidt, B. Allan, S. Wary, Quantifying the geographic distribution of building coverage across the US for urban sustainability studies, Comput, Environ. Urban Syst. 71 (2018) 199–208.

Yung, X. Wang, A 6D CAD Model for automatic assessment of building sustainability, Int. J. Adv. Robot. Syst. (2014) 10.5772158446.

Zhang, L., & Müller, T. (2023). Building Maintenance Optimization Through BIM and Sustainability Metrics. Sustainable Construction Review, 12(4), 202-215.