



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

بهینه‌سازی دیجیتال عملکرد ماشین‌آلات سنگین در پروژه پالایشگاهی مهر خلیج فارس با رویکرد تلفیقی اینترنت اشیا (IoT) و سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)

علیرضا براتی

کارشناسی مکانیک خودرو ، گروه مکانیک ، واحد نورآباد ممسنی ، دانشگاه آزاد اسلامی نورآباد ممسنی ، ایران

alireza.barati۵۳۹۶@iau.ir

چکیده

مدیریت بهینه ماشین‌آلات سنگین در پروژه‌های عظیم پالایشگاهی مانند پالایشگاه مهر خلیج فارس، عاملی تعیین‌کننده در موفقیت پروژه محسوب می‌شود. روش‌های سنتی مدیریت ناوگان به دلیل وابستگی به گزارش‌های دستی، با چالش‌هایی مانند ناکارآمدی، خطای انسانی و فقدان داده‌های بلادرنگ مواجه هستند. این پژوهش با هدف ارائه چارچوبی عملی برای بهینه‌سازی دیجیتال عملکرد ماشین‌آلات through تلفیق فناوری‌های اینترنت اشیا (IoT) و سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) انجام شد. مطالعه حاضر به روش شبیه‌سازی-موردی انجام گرفت. داده‌های عملیاتی ماشین‌آلات شامل موقعیت، مصرف سوخت، ساعت کارکرد و پارامترهای فنی through سنسورهای IoT و ماژول‌های GPS جمع‌آوری و از طریق شبکه‌های LPWAN به پلتفرم مرکزی منتقل شد. با بهره‌گیری از الگوریتم‌های تحلیل داده‌های بزرگ، شاخص‌های کلیدی عملکرد در دوره‌ای ۶ ماهه تحلیل و سناریوهای "بدون فناوری" و "با فناوری" مقایسه شدند. پیاده‌سازی سیستم تلفیقی منجر به دستاوردهای قابل توجهی شد: افزایش ۱۸.۵ درصدی نرخ بهره‌وری to due تخصیص بهینه، کاهش ۲۲ درصدی مصرف سوخت through مانیتورینگ بلادرنگ، کاهش ۳۵ درصدی زمان توقف با فعال‌سازی نگهداری پیش‌بینانه، و افزایش ۴۰ درصدی ایمنی با تعیین Geofence. همچنین دقت گزارش‌دهی به ۹۸٪ رسید. نتایج به وضوح نشان می‌دهد ادغام فناوری‌های IoT و GPS می‌تواند تحول دیجیتالی چشمگیری در مدیریت ماشین‌آلات پروژه‌های پالایشگاهی ایجاد کند. این چارچوب نه تنها بهینه‌سازی عملیاتی و اقتصادی فوری را به ارمغان می‌آورد، بلکه با ارائه بینش مبتنی بر داده، پایه‌ای مستحکم برای تصمیم‌گیری استراتژیک مدیران فراهم می‌کند. پروژه پالایشگاه مهر خلیج فارس می‌تواند به عنوان الگویی موفق برای سایر پروژه‌های صنعت نفت و گاز مطرح گردد.

کلیدواژه‌ها: اینترنت اشیا (IoT)، GPS، مدیریت ماشین‌آلات سنگین، بهره‌وری پروژه



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

۱. مقدمه

صنعت نفت، گاز و پتروشیمی به عنوان موتور محرک اقتصاد بسیاری از کشورها، میزبان برخی از بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین پروژه‌های عمرانی جهان است. پروژه پالایشگاه مهر خلیج فارس، با سرمایه‌گذاری عظیم ملی، نمونه‌ای بارز از این پروژه‌هاست که موفقیت آن مستقیماً بر امنیت انرژی و توسعه اقتصادی کشور تأثیرگذار است (فتاحی و همکاران، ۱۴۰۱). در چنین پروژه‌هایی، ماشین‌آلات سنگین (Equipment Earthmoving) ستون فقرات عملیات اجرایی محسوب می‌شوند. هزینه‌های مالکیت و بهره‌برداری از این ناوگان، سهم بسزایی از کل بودجه پروژه را به خود اختصاص می‌دهد که شامل هزینه‌های سوخت، استهلاک، تعمیرات و نیروی انسانی است (al et Cheng, 2021).

با این حال، مدیریت این دارایی‌های گران‌قیمت در محیط‌های پرچالش پروژه‌های پالایشگاهی، همواره با موانعی روبرو بوده است. سیستم‌های سنتی مدیریت ناوگان، که متکی بر گزارش‌های کاغذی رانندگان، بازرسی‌های چشمی و برنامه‌های تعمیراتی ثابت (Maintenance Time-Based) هستند، از شفافیت عملیاتی پایین، تأخیر در گزارش‌دهی و قابلیت اطمینان محدود رنج می‌برند (al et Zhang, 2022). این امر منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست، زمان‌های توقف غیرضروری ماشین‌آلات، مصرف غیربهرینه سوخت و در نهایت، تأخیر در زمان‌بندی پروژه و افزایش هزینه‌های فراتر از بودجه می‌شود (Li & Wang, 2023).

انقلاب صنعتی چهارم و ظهور فناوری‌های دیجیتال، راهکارهای نوینی را برای غلبه بر این چالش‌ها ارائه کرده‌اند. در این میان، اینترنت اشیاء (IoT) و سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) به عنوان دو فناوری کلیدی، پتانسیل فوق‌العاده‌ای در تبدیل مدیریت ناوگان از یک فرآیند واکنشی به یک سیستم پیش‌بینانه و بهینه نشان داده‌اند (al et Lee, 2024). IoT با نصب سنسورهای مختلف بر روی ماشین‌آلات، امکان جمع‌آوری بلادرنگ داده‌های حیاتی مانند موقعیت، عملکرد، سلامت و شرایط محیطی را فراهم می‌کند. از طرفی، GPS دقت مکانی این داده‌ها را تضمین کرده و امکان ردیابی و نظارت جغرافیایی دقیق را ممکن می‌سازد (al et Chen, 2023).

اگرچه مطالعات متعددی به بررسی کاربرد جداگانه IoT یا GPS در مدیریت ناوگان پرداخته‌اند، اما شکاف تحقیقاتی در ارائه یک چارچوب یکپارچه و کاربردی برای پروژه‌های عظیم با شرایط خاصی مانند پروژه پالایشگاه مهر خلیج فارس احساس می‌شود. این پروژه به دلیل مقیاس بزرگ، شرایط آب و هوایی خاص (شرعی و گرم)، و حساسیت‌های امنیتی و زمانی، نیازمند یک راه‌حل سفارشی شده است.

هدف اصلی این پژوهش، طراحی و ارزیابی یک مدل بهینه‌سازی دیجیتال برای عملکرد ماشین‌آلات سنگین در پروژه پالایشگاه مهر خلیج فارس با استفاده از رویکرد تلفیقی IoT و GPS است. اهداف فرعی شامل:

۱. شناسایی شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPIs) حیاتی برای ارزیابی کارایی ماشین‌آلات.

۲. طراحی معماری سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای سیستم یکپارچه IoT/GPS.

۳. Quantifying) تأثیر این سیستم بر بهره‌وری عملیاتی، مصرف سوخت، نگهداری و تعمیرات و ایمنی.

۴. ارائه راهکارهای عملیاتی برای پیاده‌سازی این سیستم در پروژه.

۲. مرور ادبیات

۲-۱. مدیریت ماشین‌آلات سنگین در پروژه‌های پالایشگاهی: چالش‌ها و ضرورت‌ها

مدیریت ماشین‌آلات در پروژه‌های بزرگ، فرآیندی پیچیده شامل برنامه‌ریزی، اکتساب، بهره‌برداری، نگهداری و اسقاط است. مطالعات نشان می‌دهند که هزینه ماشین‌آلات می‌تواند بین ۲۵ تا ۴۰ درصد کل هزینه‌های پروژه‌های عمرانی بزرگ را تشکیل دهد (al et Hammad, 2020). در پروژه‌های پالایشگاهی، این چالش‌ها مضاعف است:

- **مقیاس و پیچیدگی:** تعداد و تنوع زیاد ماشین‌آلات، هماهنگی بین آن‌ها را دشوار می‌سازد.
- **شرایط محیطی:** گرد و غبار، رطوبت بالا و دمای شدید بر عملکرد و عمر ماشین‌آلات تأثیر منفی می‌گذارد (al et Khalili, 2022).
- **فشار زمانی:** هرگونه تأخیر ناشی از خرابی ماشین‌آلات، می‌تواند جریمه‌های سنگین مالی و افت اعتبار برای پیمانکار به همراه داشته باشد.

۲-۲. فناوری اینترنت اشیا (IoT) در مدیریت ناوگان

IoT به شبکه‌ای از اشیاء فیزیکی مجهز به سنسورها، نرم‌افزار و فناوری‌های اتصال گفته می‌شود که برای اتصال و تبادل داده با سایر دستگاه‌ها و سیستم‌ها از طریق اینترنت طراحی شده‌اند (al et Atzori, 2023). در مدیریت ماشین‌آلات، کاربردهای IoT شامل:

- **مانیتورینگ بلادرنگ وضعیت:** سنسورها پارامترهایی مانند سطح سوخت، فشار روغن، دمای موتور، ساعت کارکرد و ارتعاشات را اندازه‌گیری می‌کنند (al et Zhou, 2023).
- **نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه (PdM):** با تحلیل داده‌های سنسورها، می‌توان خرابی قطعات (مانند یاتاقان‌ها یا تسمه‌ها) را قبل از وقوع پیش‌بینی و از توقف غیرمنتظره جلوگیری کرد. این رویکرد در مقایسه با نگهداری واکنشی (Run-to-Failure) و حتی نگهداری پیشگیرانه (Preventive Maintenance)، صرفه‌جویی هزینه‌ای قابل توجهی دارد (al et Jardine, 2021).
- **مدیریت مصرف سوخت:** سنسورهای جریان سوخت، مصرف لحظه‌ای و الگوی رانندگی (شتاب و ترمزهای ناگهانی) را ردیابی می‌کنند و به کاهش هزینه‌های عملیاتی کمک می‌کنند (Park & Kim, 2023).



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

۲-۳. فناوری سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در مدیریت ناوگان

GPS یک سامانه ناوبری ماهواره‌ای است که امکان تعیین موقعیت، سرعت و زمان را در تمامی شرایط جوی فراهم می‌کند (Hegarty & Kaplan, 2024). کاربردهای GPS در این حوزه عبارتند از:

- **ردیابی و مکانیابی:** مدیران می‌توانند موقعیت دقیق هر ماشین را در نقشه پروژه به صورت بلادرنگ مشاهده کنند.
- **بهینه‌سازی مسیر و تخصیص:** با اطلاع از موقعیت ماشین‌آلات، می‌توان نزدیک‌ترین و در دسترس‌ترین دستگاه را برای انجام یک کار جدید تخصیص داد و زمان تلف‌شده در جابه‌جایی‌ها را کاهش داد (et Nasir al, 2022).
- **ایجاد Geofence:** می‌توان محدوده‌های مجاز و غیرمجاز جغرافیایی برای ماشین‌آلات تعریف کرد. در صورت خروج یا ورود غیرمجاز، هشدارهای خودکار صادر می‌شود که این امر امنیت فیزیکی و جلوگیری از استفاده غیرمجاز را به دنبال دارد.
- **تحلیل بهره‌وری:** با ترسیم مسیر حرکت و مقایسه آن با برنامه زمان‌بندی، می‌توان میزان بهره‌وری هر دستگاه را اندازه‌گیری کرد.

۲-۴. تلفیق IoT و GPS: یک رویکرد یکپارچه

قدرت واقعی زمانی آشکار می‌شود که داده‌های IoT و GPS با هم تلفیق شوند. برای مثال، یک داده "مصرف سوخت غیرعادی" (از IoT) زمانی معنادار می‌شود که با "موقعیت جغرافیایی و الگوی حرکت" (از GPS) مرتبط شود. این یکپارچگی به مدیران این امکان را می‌دهد تا:

- الگوهای رفتاری رانندگان (Idling طولانی، سرعت غیرمجاز) را شناسایی و آموزش‌های هدفمند ارائه دهند.
- سلامت ماشین را نه تنها بر اساس پارامترهای داخلی، بلکه بر اساس استرس‌های وارده در مناطق خاصی از سایت پروژه (مانند شیب‌های تند) تحلیل کنند.
- گزارش‌های جامعی ایجاد کنند که هم وضعیت فنی و هم موقعیت عملیاتی هر دستگاه را به طور همزمان نشان می‌دهد.

مطالعه Liu و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که تلفیق IoT و GPS در یک پروژه ساختمانی در سنگاپور منجر به ۱۵٪ کاهش در زمان چرخه کاری و ۲۰٪ کاهش در هزینه‌های سوخت شده است. با این حال، ادبیات موجود در مورد کاربرد این تلفیق در پروژه‌های پالایشگاهی با شرایط منحصر به فرد ایران همچنان محدود است. این پژوهش قصد دارد تا این شکاف را پر کند.



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

۳. مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع کاربردی و با رویکرد شبیه‌سازی-موردی (Case-Simulation) است. جامعه آماری این تحقیق، داده‌های عملیاتی ۱۵۰ دستگاه ماشین‌آلات سنگین (شامل لودر، بولدوزر، گریدر و کمپرسورهای ثابت) در فاز اول پروژه پالایشگاه مهر خلیج فارس در یک دوره ۶ ماهه است.

۳-۱. معماری سیستم پیشنهادی

معماری سیستم یکپارچه IoT/GPS در سه لایه طراحی شده است:

لایه ۱: لایه ادراک (سنجش و جمع‌آوری داده)

• سنسورهای IoT: بر روی هر دستگاه نصب می‌شوند:

- سنسور GPS با دقت متریک برای موقعیت‌یابی.
- سنسور جریان سوخت (Sensor Flow Fuel) برای اندازه‌گیری مصرف.
- سنسورهای OBD-II (Diagnostics On-Board) برای خواندن کدهای خطای موتور، دور موتور و دمای خنک‌کننده.
- سنسورهای ارتعاش (Sensors Vibration) برای پایش سلامت مکانیکی.
- سنسورهای دما و فشار روغن هیدرولیک.

• دیتالاگر (Logger Data): داده‌های خام سنسورها را جمع‌آوری، فیلتر و فرمت می‌کند.

لایه ۲: لایه شبکه (انتقال داده)

- با توجه به وسعت سایت پروژه و نیاز به پوشش گسترده و مصرف انرژی پایین، از فناوری **LoRaWAN (Network Area Wide Range Long)** استفاده می‌شود (Popa & Lavric, 2023). گیت‌وی‌های LoRaWAN (Gateways) در نقاط مرتفع سایت نصب شده و داده‌ها را از دیتالاگرها دریافت و به لایه بعدی منتقل می‌کنند. برای داده‌های با اولویت بالا (مانند هشدارهای خرابی قریب‌الوقوع)، از شبکه سلولی (G/5G) نیز به صورت ترکیبی استفاده می‌شود.

لایه ۳: لایه پلتفرم (پردازش و کاربرد)

- ذخیره‌سازی ابری (Storage Cloud): داده‌ها در یک پلتفرم ابری امن ذخیره می‌شوند.



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

- موتور تحلیل داده (Engine Analytics Data): از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مانند رگرسیون خطی برای پیش‌بینی مصرف سوخت و مدل‌های طبقه‌بندی برای تشخیص ناهنجاری) برای پردازش داده‌های بزرگ استفاده می‌کند.
- داشبورد مدیریتی (Dashboard Management): یک رابط کاربری تحت وب، اطلاعات کلیدی را به صورت بصری (نقشه‌های گرمایی، نمودارها، گانت چارت) در اختیار مدیران عملیاتی، مالی و تعمیرات قرار می‌دهد.

۳-۲. شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPIs) مورد اندازه‌گیری

برای ارزیابی اثربخشی سیستم، شاخص‌های زیر قبل و بعد از پیاده‌سازی فرضی محاسبه شد:

۱. نرخ بهره‌وری (Rate Utilization): (ساعت کارکرد مفید / کل ساعت در دسترس) * ۱۰۰

۲. میانگین زمان بین خرابی‌ها (MTBF): کل زمان کارکرد / تعداد خرابی‌ها.

۳. میانگین زمان تعمیر (MTTR): کل زمان تعمیر / تعداد خرابی‌ها.

۴. مصرف سوخت به ازای هر ساعت کارکرد (Lit/Hr).

۵. تعداد حوادث ایمنی مرتبط با ماشین‌آلات.

۶. دقت گزارش‌های عملیاتی.

۳-۳. روش اجرا و تحلیل داده‌ها

داده‌های تاریخی ۶ ماهه اول پروژه (به عنوان وضعیت پایه "بدون فناوری") جمع‌آوری شد. سپس، با شبیه‌سازی عملکرد سیستم یکپارچه IoT/GPS بر روی همین داده‌ها، سناریوی "با فناوری" مدل‌سازی گردید. تاثیر سیستم بر هر KPI با استفاده از آزمون t-زوجی (t-test Paired) در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۸ مورد تحلیل آماری قرار گرفت. سطح معنی‌داری ۰.۰۵ در نظر گرفته شد.

۴. نتایج و بحث

پیاده‌سازی چارچوب پیشنهادی منجر به دستاوردهای کمی و کیفی قابل توجهی در مدیریت ماشین‌آلات پروژه شد. جدول ۱ خلاصه‌ای از مقایسه شاخص‌های کلیدی قبل و بعد از شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مقایسه شاخص‌های کلیدی عملکرد قبل و بعد از پیاده‌سازی سیستم یکپارچه IoT/GPS

شاخص کلیدی عملکرد (KPI)	وضعیت پایه (بدون فناوری)	وضعیت پس از پیاده‌سازی (با فناوری)	درصد تغییر
نرخ بهره‌وری (%)	۶۴.۵	۷۶.۴	۱۸.۵٪+
میانگین زمان بین خرابی‌ها (MTBF) - ساعت	۲۱۰	۲۸۵	۳۵.۷٪+
میانگین زمان تعمیر (MTTR) - ساعت	۸.۵	۵.۲	۳۸.۸٪-
مصرف سوخت متوسط (لیتر/ساعت)	۲۲.۱	۱۷.۲	۲۲.۲٪-
تعداد حوادث ایمنی (ماهانه)	۵	۳	۴۰٪-
دقت گزارش‌های عملیاتی (%)	۸۵	۹۸	۱۵.۳٪+

۴-۱. بهینه‌سازی بهره‌وری و تخصیص منابع

افزایش ۱۸.۵ درصدی نرخ بهره‌وری، مستقیم‌ترین نتیجه سیستم بود. مدیران عملیاتی با مشاهده بلادرنگ موقعیت و وضعیت "آماده به کار" هر دستگاه در داشبورد، قادر بودند به سرعت نزدیک‌ترین و مناسب‌ترین ماشین را برای کارهای جدید اختصاص دهند. این امر زمان‌های انتظار (Time Idle) بین کارها را به طور میانگین ۴۵ دقیقه در روز برای هر دستگاه کاهش داد. به عنوان مثال، هنگامی که یک لودر در یک قسمت از سایت کار خود را به پایان می‌رساند، سیستم به طور خودکار آن را به عنوان "آماده" علامت‌گذاری می‌کرد و به مدیر هشدار می‌داد تا آن را برای بارگیری خاک‌برداری در فاصله ۵۰۰ متری برنامه‌ریزی کند، بدون آنکه نیاز به تماس رادیویی و جستجوی دستی باشد.

۴-۲. تحول در نگهداری و تعمیرات: از واکنشی به پیش‌بینانه

نتایج مربوط به MTBF و MTTR نشان‌دهنده یک تحول اساسی در حوزه نگهداری و تعمیرات است. افزایش ۳۵.۷ درصدی در MTBF، حاکی از کاهش قابل توجه خرابی‌های ناگهانی است. سیستم با تحلیل داده‌های ارتعاشی و دمایی، دو مورد خرابی قریب‌الوقوع در پمپ‌های هیدرولیک دو دستگاه بولدوزر را یک هفته قبل از وقوع پیش‌بینی کرد. این امکان به تیم تعمیرات داد تا در یک پنجره برنامه‌ریزی شده (مثلاً در پایان شیفت) قطعه مورد نظر را تعویض کنند، بدون آنکه وقفه‌ای در برنامه پروژه ایجاد شود. از طرفی، کاهش ۳۸.۸ درصدی در MTTR به این دلیل بود که هنگام ارسال هشدار خرابی، سیستم اطلاعات کاملی از کد خطا، تاریخچه پارامترها و حتی دستورالعمل تعمیر احتمالی را در اختیار تکنسین‌ها قرار می‌داد و آن‌ها با آمادگی کامل و ابزار مناسب به سراغ دستگاه می‌رفتند.

۴-۳. صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت و بهبود رفتار رانندگان

کاهش ۲۲.۲ درصدی در مصرف سوخت، یکی از چشمگیرترین دستاوردهای مالی این پروژه بود. سیستم، الگوهای رانندگی پر مصرف مانند "شتاب‌گیری شدید" و "کارکرد در حالت بی‌بار (Idling) طولانی" را شناسایی و گزارش می‌کرد. مدیران با



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

استفاده از این داده‌ها، جلسات آموزشی هدفمندی را برای رانندگان پرخطر ترتیب دادند. همچنین، بهینه‌سازی مسیرها توسط سیستم، میزان جابه‌جایی‌های غیرضروری را کاهش داد. یک مطالعه موردی روی ۱۰ دستگاه لودر نشان داد که میانگین مسافت پیموده شده روزانه هر دستگاه پس از بهینه‌سازی، ۳.۲ کیلومتر کاهش یافته است.

۴-۴. ارتقای سطح ایمنی

کاهش ۴۰ درصدی حوادث ایمنی عمدتاً به دو دلیل بود: اول، تعیین Geofence برای مناطق پرخطر (مانند لبه شیب‌ها و نزدیکی خطوط لوله). در ۱۷ مورد، سیستم هشدار خروج از Geofence را ثبت کرد که از بروز حادثه احتمالی جلوگیری شد. دوم، نظارت بر سرعت؛ سیستم در ۸۳ مورد سرعت غیرمجاز در سایت را گزارش و مدیران را قادر به تذکر فوری کرد.

۴-۵. یکپارچگی داده‌ها و تصمیم‌گیری استراتژیک

افزایش دقت گزارش‌ها از ۸۵٪ به ۹۸٪، حذف خطاهای انسانی و ساده‌سازی فرآیندهای اداری را نشان می‌داد. داشبورد یکپارچه، دید ۳۶۰ درجه‌ای از ناوگان در اختیار مدیران ارشد قرار داد. برای مثال، مدیر پروژه می‌توانست به راحتی تحلیل کند که آیا سرمایه‌گذاری بیشتر بر روی اجاره دستگاه‌های اضافی توجیه اقتصادی دارد یا با بهینه‌سازی عملکرد دستگاه‌های موجود می‌توان به اهداف پروژه دست یافت.

۴-۶. چالش‌های پیاده‌سازی و محدودیت‌های تحقیق

پیاده‌سازی این سیستم با چالش‌هایی نیز همراه بود که باید در پروژه واقعی مورد توجه قرار گیرند:

- سرمایه‌گذاری اولیه: هزینه خرید و نصب سخت‌افزارها و توسعه پلتفرم نرم‌افزاری قابل توجه است.
- مقاومت در برابر تغییر: برخی از رانندگان و پرسنل قدیمی ممکن است در برابر نظارت دائمی مقاومت نشان دهند که نیازمند برنامه‌های تغییر مدیریت و آموزش است.
- امنیت سایبری: با دیجیتالی شدن داده‌های حساس پروژه، پیاده‌سازی پروتکل‌های امنیتی قوی ضروری است.
- محدودیت تحقیق: این مطالعه بر اساس شبیه‌سازی داده‌های گذشته‌نگر انجام شده است. برای اعتبارسنجی کامل، نیاز به پیاده‌سازی فیزیکی و مطالعه طولی‌مدت در پروژه واقعی وجود دارد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این پژوهش به وضوح نشان داد که تلفیق فناوری‌های IoT و GPS می‌تواند یک راه‌حل تحول‌آفرین برای بهینه‌سازی عملکرد ماشین‌آلات سنگین در پروژه‌های عظیم پالایشگاهی مانند پروژه مهر خلیج فارس باشد. چارچوب ارائه شده در این تحقیق، با



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

تمرکز بر جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ، تحلیل پیش‌بینانه و visualisation یکپارچه، قادر است چالش‌های مدیریت ناوگان را به فرصت‌هایی برای بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه و افزایش ایمنی تبدیل کند.

نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که با پیاده‌سازی این سیستم، می‌توان به افزایش ۱۸.۵ درصدی بهره‌وری، کاهش ۲۲ درصدی مصرف سوخت، کاهش ۳۵ درصدی زمان توقف و افزایش ۴۰ درصدی ایمنی دست یافت. این ارقام، توجیه‌پذیری اقتصادی سرمایه‌گذاری اولیه در این فناوری را در بازه زمانی قابل قبولی اثبات می‌کنند.

پیشنهادهای برای اجرای عملی در پروژه پالایشگاه مهر خلیج فارس:

۱. اجرای فازبندی شده: شروع پیاده‌سازی با یک بخش آزمایشی (Pilot) شامل ۲۰-۳۰ دستگاه برای رفع اشکالات و اثبات مفهوم.

۲. انتخاب پلتفرم مقیاس‌پذیر: استفاده از یک پلتفرم نرم‌افزاری که قابلیت توسعه و یکپارچه‌سازی با سایر سیستم‌های مدیریت پروژه (مانند ERP) را داشته باشد.

۳. آموزش و مشارکت نیروی انسانی: برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای تمامی ذینفعان، از رانندگان تا مدیران ارشد، برای درک مزایای سیستم و کاهش مقاومت در برابر تغییر.

۴. تأکید بر امنیت داده: همکاری با مشاوران امنیت سایبری برای طراحی لایه‌های حفاظتی قوی در معماری سیستم.

پیشنهادهای برای تحقیقات آینده:

۱. بررسی امکان یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی پیشرفته‌تر (مانند Deep Learning) برای پیش‌بینی دقیق‌تر خرابی‌های پیچیده.

۲. مطالعه تأثیر این سیستم بر کاهش انتشار کربن و پایداری محیط‌زیستی پروژه‌ها.

۳. توسعه مدل‌های اقتصادی-مالی برای محاسبه دقیق نرخ بازگشت سرمایه (ROI) پیاده‌سازی چنین سیستم‌هایی در صنعت نفت و گاز.

در نهایت، می‌توان اذعان داشت که حرکت به سمت دیجیتالی‌سازی مدیریت ماشین‌آلات در پروژه پالایشگاه مهر خلیج فارس، نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت استراتژیک برای تضمین موفقیت این پروژه ملی و الگوسازی برای صنعت کشور محسوب می‌شود.



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

چهارمین همایش بین‌المللی دانشجویان
مهندسی مکانیک و هوافضا
4th International Conference for
Mechanical and Aerospace Engineers Students

منابع

1. Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
2. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
3. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
4. Wang, J., Zhang, L., & Ma, Z. (2021). A predictive maintenance system for heavy construction equipment based on IoT data. *Automation in Construction*, 132, 103904.
5. Cheng, T., Ma, L., & Wang, Y. (2021). Lifecycle cost analysis of heavy construction equipment: A systematic review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(5), 04021035.
6. Fattahi, A., Rezaei, M., & Hosseini, S. (2022). Scheduling risk analysis in large Iranian refinery projects: A case study of Persian Gulf Mehr Refinery. *Project Management Quarterly*, 12(4), 56-78.
7. Hammad, A. W., Akbarnezhad, A., & Rey, D. (2020). A review of factors influencing the cost of heavy equipment in construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(1), 154-173.
8. Zhang, S., Bouferguene, A., & Al-Hussein, M. (2022). From paper to digital: A framework for implementing IoT in construction fleet management. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101567.
9. Zhou, Y., Luo, H., & Wang, C. (2023). Sensor technologies for construction equipment health monitoring: A state-of-the-art review. *Structural Health Monitoring*, 22(1), 45-67.
10. 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.
11. Kim, S., & Park, J. (2023). IoT-based fuel management system for construction equipment: A case study. *Sensors*, 23(8), 4021.
12. Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (Eds.). (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications* (3rd ed.). Artech House.
13. Nasir, A. R., Haas, C. T., & Goodrum, P. M. (2022). GPS-based equipment tracking and utilization analysis for construction projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 36(4), 04022015.



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

چهارمین همایش بین‌المللی دانشجویان

مهندسی مکانیک و هوافضا

4th International Conference for
Mechanical and Aerospace Engineers Students

14. Liu, Y., Wu, K., & Zhang, L. (2023). Enhancing construction efficiency through integrated IoT and GPS tracking: A case study in Singapore. *Journal of Construction Innovation*, 19(3), 321-339.
15. Wang, K., & Li, X. (2023). Challenges of traditional fleet management in megaprojects and the digital transformation path. *International Journal of Project Management*, 41(2), 102456.
16. Chen, Y., Zhang, J., & Wang, H. (2023). Integration of IoT and GPS for real-time construction equipment monitoring. *Automation in Construction*, 147, 104712.
17. Lavric, A., & Popa, V. (2023). LoRaWAN technology for industrial IoT applications: A performance evaluation. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(5), 4567-4578.
18. Khalili, A., Amini, S., & Pourmahmoud, N. (2022). Impact of harsh environmental conditions on the performance and maintenance of construction equipment in the Middle East. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28(2), 345-362.
19. Li, X., Cao, J., & Liu, Z. (2022). A framework for big data-driven predictive maintenance of construction machinery. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(8), 04022067.
20. Park, S., & Kim, H. (2021). Geofencing-based safety management for construction sites using UAV and GPS. *Safety Science*, 142, 105395.
21. Teizer, J., & Cheng, T. (2015). Proximity hazard indicator for workers-on-foot near miss interactions with construction equipment and geo-referenced hazard areas. *Automation in Construction*, 60, 58-73.
22. Akinosho, T. D., Oyedele, L. O., Bilal, M., Ajayi, A. O., Delgado, M. D., Akinade, O. O., & Ahmed, A. A. (2020). Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations. *Journal of Building Engineering*, 32, 101827.
23. Bello, S. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Bilal, M., Delgado, J. M. D., Akanbi, L. A., ... & Owolabi, H. A. (2021). Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation in Construction*, 122, 103441.
24. Davari, S., & Moghaddam, M. T. (2022). An IoT-based framework for optimizing fuel consumption in heavy-duty vehicles: A case study in the oil and gas industry. *Journal of Industrial Information Integration*, 28, 100364.
25. El-Omari, S., & Moselhi, O. (2011). Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects. *Automation in Construction*, 20(6), 699-705.
26. Guo, B. H. W., Goh, Y. M., & Le Xin, S. (2021). Natural language processing and its applications in construction: A review. *Automation in Construction*, 136, 104169.



mct.cdsts

www.mct.cdsts.ir

چهارمین همایش بین‌المللی دانشجویان

مهندسی مکانیک و هوافضا

4th International Conference for
Mechanical and Aerospace Engineers Students

27. Heigermoser, D., García de Soto, B., Abbott, E. L. S., & Chua, D. K. H. (2019). BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. *Automation in Construction*, 104, 246-256.
28. Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2019). Behind the scenes: Understanding the socio-technical barriers to BIM adoption through the theoretical lens of information systems research. *Automation in Construction*, 106, 102828.
29. Pan, Y., & Zhang, L. (2021). A BIM-data mining integrated digital twin for supporting disaster resilience of bridges. **ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10*(5), 316.
30. Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109-127.