

The role of artificial intelligence in predictive maintenance of industrial equipment

Ali Hamideh*¹, Mohammad Tahmasebei²

1. Ph.D. in English, Nezsa Armored School, Imam Hussein (AS) Guards Officer Training and Training University, Tehran, Iran.

1. Ph.D. student in Information & Communication Technology, Nezsa Armored School, Imam Hussein (AS) Guards Officer Training and Training University, Tehran, Iran.

Received:2024/12/08

Accepted:2025/01/12

Abstract

Predictive maintenance is increasingly playing a vital role in industrial environments due to the need to reduce downtime, optimize operational efficiency, and manage machinery wear and tear. Artificial intelligence (AI) as a key technology plays a crucial role in improving predictive maintenance, as it enables more accurate prediction of equipment failures and optimization of maintenance schedules. This paper examines the role of AI in predictive maintenance, focusing on machine learning and deep learning algorithms, their implementation in industrial environments, and real-world case studies that demonstrate their effectiveness. The integration of AI-based predictive maintenance systems significantly reduces costs, extends equipment life, and ensures uninterrupted production processes and efficiency of specialized equipment.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Predictive Maintenance, Machine Learning, Deep Learning, Industrial Equipment.



نقش هوش مصنوعی در نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی

علی حمیده^{۱*}، محمد طهماسبی^۲

۱. دکترای زبان انگلیسی، دانشکده زرهی نرسا، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع).

۲. دانشجوی دکتری فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشکده زرهی نرسا، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

چکیده

نگهداری پیش‌بینانه در محیط‌های صنعتی به عنوان یک استراتژی کلیدی برای بهینه‌سازی عملکرد و کاهش زمان‌های تعطیلی، به طور فزاینده‌ای اهمیت یافته است. این رویکرد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با مدیریت مؤثر فرسودگی و خرابی ماشین‌آلات، کارایی عملیاتی خود را افزایش دهند. در این راستا، هوش مصنوعی (AI) به عنوان یک فناوری نوآورانه، نقش حیاتی در ارتقاء دقت پیش‌بینی خرابی‌ها و بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری ایفا می‌کند. این مقاله به بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر نگهداری پیش‌بینانه می‌پردازد و بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق تمرکز دارد. با تحلیل پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها در محیط‌های صنعتی و ارائه مطالعات موردی واقعی، نشان داده می‌شود که ادغام سیستم‌های نگهداری پیش‌بینانه مبتنی بر AI می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه‌ها را کاهش دهد، عمر تجهیزات را افزایش دهد و کارایی فرآیندهای تولید را بدون وقفه تضمین کند. همچنین، این مقاله به چالش‌ها و فرصت‌های موجود در پیاده‌سازی هوش مصنوعی در این حوزه نیز اشاره خواهد کرد. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک منبع ارزشمند برای تصمیم‌گیرندگان صنعتی در جهت بهبود استراتژی‌های نگهداری و افزایش بهره‌وری سازمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: هوش مصنوعی (AI)، نگهداری پیش‌بینانه، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، تجهیزات صنعتی.

۱. پست الکترونیک نویسنده مسئول: alihamideg39@gmail.com





۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های روزافزون در حوزه فناوری، نقش هوش مصنوعی در نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی به یکی از موضوعات کلیدی در صنعت تبدیل شده است. این فناوری با استفاده از الگوریتم‌های پیچیده و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از حس‌گرها، قادر است خرابی‌های احتمالی تجهیزات را پیش‌بینی کرده و برنامه‌ریزی بهینه‌ای برای نگهداری آن‌ها ارائه دهد. پیش‌بینی خرابی تجهیزات صنعتی به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن مدت زمان عملیات و چالش‌های مربوط به شناسایی حالت‌های خرابی و محل خرابی همچنان یک مشکل بزرگ است. با شناخت حالت‌ها و محل خرابی از پیش تعریف شده، امکان پیش‌بینی زمان خرابی وجود دارد. عملکرد تصادفی تجهیزات، شامل شناسایی زمان خرابی و برنامه‌ریزی نگهداری، می‌تواند به سادگی پیش‌بینی شود. این مفهوم می‌تواند به حوزه نگهداری پیش‌بینانه و پیش‌بینی عیب تعمیم یابد.

نگهداری پیش‌بینانه به معنای استفاده از داده‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی زمان نیاز به نگهداری و تعمیر ماشین‌آلات است. این رویکرد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا از خرابی‌های ناگهانی جلوگیری کنند و هزینه‌های تعمیر را کاهش دهند. با این حال، چالش‌هایی مانند کیفیت داده‌ها، نیاز به زیرساخت‌های مناسب و آموزش نیروی کار وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد تا نتایج مطلوب حاصل شود.

هدف این مطالعه بررسی تأثیرات هوش مصنوعی بر نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی و شناسایی روش‌های مؤثر برای پیاده‌سازی این فناوری در سازمان‌ها است. همچنین ارائه راهکارهایی برای غلبه بر چالش‌های موجود در این زمینه هدف دیگر این مطالعه می‌باشد.

در این مطالعه سعی خواهد شد به سؤالات زیر پاسخ داده شود.

- ۱) چگونه می‌توان از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی خرابی تجهیزات استفاده کرد؟
- ۲) چه الگوریتم‌ها و مدل‌هایی برای بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری پیش‌بینانه مؤثرتر هستند؟
- ۳) چالش‌های اصلی پیاده‌سازی سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در نگهداری تجهیزات چیست و چگونه می‌توان بر آن‌ها غلبه کرد؟

۲- پیشینه

یک مطالعه اولیه رویکردی را برای شناسایی و تشخیص عیوب در یک نیروگاه سیکل ترکیبی توسعه داد. این سیستم از یک روش مبتنی بر قانون استفاده کرد که در یک پایگاه داده برای ارائه وظایف تشخیصی ذخیره می‌شد. این سیستم، انحراف وضعیت عملکردی نیروگاه را شناسایی کرده و آن را با داده‌های عملیاتی قبلی خود برای تعیین خطا مقایسه می‌کرد. این نمونه‌ای از سیستم تشخیص عیب بود درحالی‌که تشخیص شامل شناسایی محل خطا و تجهیزات آسیب دیده نیز می‌شود. در همان سال، محققین یک ابزار مبتنی بر هوش مصنوعی را برای تشخیص عیب در رباتیک با هدف تعیین مؤثر و دقیق مکان و علل خرابی‌ها و خطاها در سیستم‌های رباتیک توسعه دادند. سیستمی که با استفاده از خودکارسازی ایجاد شده و یک ردیاب انتقال برای تعیین محل خطا در مدل استفاده می‌شد. این رویکرد نسبتاً موفق بود زیرا قادر به تشخیص دقیق عیوب بود و مقایسه‌ای در مورد شدت و فراوانی خطا در مقایسه با عملکرد عادی دستگاه را انجام می‌داد [۱۴].





تاکنون، پرکاربردترین و موفق‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در نگهداری و تعمیر، حول محور تشخیص عیب و تشخیص عملکرد غیرعادی در یک سیستم متمرکز شده‌اند. عیب و نقص در بخشی از سیستم است که سیستم را از انجام عملکرد خود باز می‌دارد. وظیفه تشخیص عیب یک حوزه مهم در نگهداری و تعمیر است. تشخیص خطا خود به تنهایی یک کار استدلالی پیچیده است؛ زیرا شامل وظایف تشخیص وضعیت زمانی که سیستم به درستی کار نمی‌کند، تعیین محل خطا و شناسایی نوع خطا است. رویکردهای مختلفی برای تشخیص وجود دارد. پیشینه نشان می‌دهد استدلال مبتنی بر مدل برای تشخیص عیب معمولاً مورد استفاده قرار گرفته است که در آن مدلی از سیستم برای شبیه‌سازی عملکرد آن سیستم استفاده می‌شود و برای تعیین تفاوت‌ها با سیستم واقعی مقایسه می‌شود. روش‌های دیگر عبارت‌اند از سیستم‌های مبتنی بر قانون، یادگیری ماشین و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و عوامل هوشمند. مقایسه و اثربخشی این روش‌ها با پشتیبانی هوش مصنوعی حوزه جالبی خواهد بود؛ زیرا شواهد کمی برای پیشنهاد مؤثرترین روش وجود دارد [۵].

طبق مطالعه لی و همکاران (۲۰۲۰) نقص تجهیزات چرخنده مانند موتور، پمپ و دمنده معمولاً به‌طور مؤثری نظارت نمی‌شود. ناحیه قرارگیری این تجهیزات معمولاً کوچک و دور از دید بصری است که باعث می‌شود شناسایی نقص اجزا دشوار باشد. بسیاری از خرابی‌ها قبل از اینکه به سطح خارجی تجهیزات برسند، در داخل آن‌ها رخ می‌دهند. این بدان معناست که نقص ممکن است برای مدت طولانی قبل از بروز مشکل جدی باقی بماند. همچنین، بسیاری از ماشین‌ها با سرعت بالا کار می‌کنند و در مکان‌هایی نصب شده‌اند که دسترسی به آن‌ها دشوار است. بازسازی یک قطعه از تجهیزات هزینه زیادی در بردارد؛ بنابراین نگهداری به موقع که می‌تواند زمان متوسط قبل از خرابی را افزایش دهد، بسیار سودآور است. ادغام هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف، کارایی عملیاتی را به‌ویژه در نگهداری و تعمیر تجهیزات تخصصی متحول کرده است. صنایع به‌طور فزاینده‌ای بر فناوری‌های پیشرفته برای افزایش بهره‌وری و کاهش زمان خرابی تکیه می‌کنند. هوش مصنوعی به عنوان ابزاری محوری در استراتژی‌های نگهداری و تعمیر پیش‌بینی شده ظاهر شده است. این رویکرد نه تنها خرابی‌های غیرمنتظره را به حداقل می‌رساند، بلکه برنامه‌های نگهداری و تعمیر را نیز بهینه می‌کند و طول عمر ماشین‌آلات حیاتی را افزایش می‌دهد.

هوش مصنوعی شامل طبیف وسیعی از فناوری‌ها، از جمله یادگیری ماشینی، پردازش زبان طبیعی و بینایی کامپیوتری است که می‌تواند حجم وسیعی از داده‌های تولیدشده توسط تجهیزات تخصصی را تجزیه و تحلیل کند. با استفاده از این فناوری‌ها، سازمان‌ها می‌توانند بینش‌هایی درباره عملکرد و سلامت تجهیزات به دست آورند و اجازه مداخلات به موقع را قبل از تشدید مسائل فراهم کنند [۱۳]. کاربرد هوش مصنوعی در نگهداری و تعمیر به‌ویژه در بخش‌هایی مانند تولید، هوافضا، مراقبت‌های بهداشتی و انرژی که قابلیت اطمینان تجهیزات در آن‌ها اهمیت دارد، بسیار مهم است.

تغییر از شیوه‌های سنتی نگهداری و تعمیر واکنشی به مدل‌های پیش‌بینانه نشان‌دهنده تغییر اساسی در نحوه رویکرد سازمان‌ها به مدیریت تجهیزات است. تجزیه و تحلیل مبتنی بر هوش مصنوعی نظارت و تشخیص را در زمان واقعی تسهیل می‌کند و گروه‌های نگهداری و تعمیر را قادر می‌سازد تا تصمیمات مبتنی بر داده اتخاذ کنند. این نه تنها کارایی عملیاتی را افزایش می‌دهد بلکه به صرفه‌جویی در هزینه و بهبود نتایج ایمنی کمک می‌کند [۱۷]. با وجود نتایج امیدوارکننده مرتبط با استراتژی‌های نگهداری و تعمیر مبتنی بر هوش مصنوعی، چندین چالش وجود دارد. مسائل مربوط به کیفیت داده‌ها، تفسیرپذیری مدل‌ها و آمادگی سازمانی معمولاً موانع اجرایی هستند. همچنین الگوریتم‌ها و داده‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی باید شفاف باشند [۶].



به‌طور خلاصه، پیشینه نشان می‌دهد که ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه می‌تواند مدیریت تجهیزات تخصصی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. با توجه به اینکه صنایع رویکردهای خودکار و داده‌محور را بیشتر مورد توجه قرار می‌دهند، درک کاربردها، چالش‌ها و جهت‌گیری‌های آینده هوش مصنوعی در نگهداری و تعمیر برای بهینه‌سازی عملکرد دارایی‌ها و تضمین پایداری عملیاتی بسیار مهم خواهد بود. یوکار و همکاران (۲۰۲۴) نقش تحول‌آفرین هوش مصنوعی (AI) را در تقویت استراتژی‌های نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه در صنایع مختلف بررسی کردند. این مطالعه بر مؤلفه‌های کلیدی مانند زمینه‌سازی داده‌ها، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و فنون تجسم که امکان پیش‌بینی دقیق خرابی تجهیزات را دارند، تأکید دارد. نویسندگان بر اهمیت قابلیت اطمینان در سیستم‌های هوش مصنوعی برای اطمینان از قابلیت اطمینان و ایمنی در عملیات نگهداری و تعمیر تأکید می‌کنند. علاوه بر این، این مقاله روندهای آینده در نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه مبتنی بر هوش مصنوعی از جمله ادغام تجزیه و تحلیل پیشرفته و پتانسیل رو به رشد بازار، پیش‌بینی کاهش قابل توجه در زمان خرابی و هزینه‌های نگهداری و تعمیر و درعین حال بهبود بهره‌وری عملیاتی و استانداردهای ایمنی را مورد بحث قرار می‌دهد. به‌طور کلی، این مقاله بر نقش محوری هوش مصنوعی در متحول کردن شیوه‌های نگهداری و تعمیر با تسهیل تصمیم‌گیری فعال بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های زمان واقعی تأکید می‌کند.

۳- اصول نگهداری پیش‌بینانه

در چندین صنعت و سیستم‌های فنی با عملکردهای توزیع شده و دارای نقش همپوشانی، یک شکست یا خرابی می‌تواند زنجیره‌ای از خرابی‌ها ایجاد کند که منجر به خسارات قابل توجهی از نظر زمان و هزینه می‌شود؛ بنابراین، نگهداری پیش‌بینانه خود یک حوزه علمی مهم است. نگهداری پیش‌بینانه عملی است برای تعریف زمان بعدی برای تعویض تجهیزات صنعتی به منظور جلوگیری از مشکلات جدی، تعمیرات بزرگ و خرابی‌های غیرمنتظره. با الهام گرفتن از نگهداری پیش‌بینانه، خرابی‌هایی که ناشی از توزیع تصادفی حرکات و بارهای ماشین هستند عمدتاً دوره‌های خرابی را دنبال می‌کنند که با یک دوره نهفتگی همراه است. چنین خرابی‌هایی می‌توانند بر اساس عاملی که باعث آن‌هاست تقسیم شوند: وضعیت فیزیکی (سایش)، عملیات و عوامل انسانی. استراتژی برای انجام نگهداری این دارایی‌ها معمولاً شامل نگهداری پیشگیرانه پایه‌ای است، مانند تعویض ماشین پس از سایش، روانکاری با فرکانس انتخاب شده در زمان راه‌اندازی و بازرسی در ابتدای توقف [۴].

یک راه حل برای کم کردن محدودیت‌های رویکردهای کلاسیک، نگهداری پیش‌بینانه است. اصل اساسی نگهداری پیش‌بینانه (PdM) شامل «بررسی وضعیت تجهیزات به‌طور منظم از نظر عملکردی است که قادر به اندازه‌گیری عملکرد پس از یک پارامتر مشخص، مانند صدا، دما، لرزش و سایش زاویه‌ای باشد.» رایج‌ترین سازمان‌هایی که فنون PdM در آن‌ها قابل اعمال هستند عبارت‌اند از: سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO/TC۱۵۴)؛ هر انجمن فنی دیگری مانند IEEE، CIGRE، VDE، SEM، و DIN. به علاوه، در زمینه ماشین‌ها، به‌ویژه در فناوری‌های مبتنی بر مسیر، توصیه‌هایی برای کاربرد فناوری‌های PM ارائه می‌دهد که به دو مرحله اصلی تقسیم می‌شوند: فناوری‌های مربوط به مسیر علائم خرابی، بروز آسیب یا نزدیک شدن به هر دو؛ و فناوری‌های تجزیه و تحلیل لرزش RMBD مکمل، روانکاری و نگهداری برای تعیین وضعیت صحیح تجهیزات [۱۶].



۴- فنون هوش مصنوعی برای نگهداری پیش بینانه

نگهداری پیش بینانه در مدیریت فرایندها و تجهیزات صنعتی برای بهینه سازی بهره وری ضروری است. هوش مصنوعی می تواند با شناسایی خرابی های تجهیزات و ارائه هشدارهای به موقع نقش کلیدی در بهبود این فرآیند ایفا می کند. این فناوری سیستم های نگهداری سنتی را به سیستم های هوشمندتر تبدیل کرده، هزینه ها را صرفه جویی کرده و هوش سیستم ها را افزایش می دهد. روش ها یا الگوریتم های یادگیری ماشین به طور قابل توجهی برای پیشبرد فرآیند نگهداری پیش بینانه اهمیت پیدا کرده است. این روش ها ظرفیت یادگیری خودکار از داده ها و انجام پیش بینی ها یا تصمیم گیری ها بر اساس داده ها را دارا هستند [۲]. یک ویژگی اساسی فنون یادگیری ماشین، توانایی آن ها در انجام وظایف به طور خودمختار به منظور بهبود تجربه است. این قابلیت ها به سه نوع تقسیم می شوند: یادگیری بدون نظارت، یادگیری تحت نظارت و یادگیری تقویتی. یادگیری تقویتی برای موضوع نگهداری پیش بینانه مناسب نیست. از سویی یادگیری تحت نظارت می تواند برای تشخیص خرابی استفاده شود. در زمینه نگهداری پیش بینانه، تشخیص ناهنجاری به عنوان یک فن مناسب شناخته شده است که قادر به استفاده از برجسب برای رفتار عادی است. مدل های یادگیری عمیق برای استخراج ویژگی ها و استفاده از آن ها برای طبقه بندی بیشتر پیشنهاد شده اند. این فنون در توسعه تشخیص خرابی ماشین آلات سیار مهم بوده اند [۱].

۵- الگوریتم های یادگیری ماشین

در نگهداری پیش بینانه، الگوریتم های یادگیری ماشین برای آموزش از داده های موجود، معمولاً داده های سری زمانی (حس گر) استفاده می شوند تا پارامترهای مدل را برای نمایندگی رفتار عملیاتی فرآیند یا سیستم یاد بگیرند. سپس پارامترهای مدل در زمان اجرا برای مقایسه مداوم عملکرد واقعی با رفتار عملیاتی یاد گرفته شده استفاده می شوند که این امکان را فراهم می کند تا انحراف از حالت عادی شناسایی شود و به این ترتیب، هشدارها یا پیش بینی های مرتبط با خرابی ها یا کاهش عملکرد احتمالی تولید شود [۳]. رویکردهای اصلی برای نگهداری پیش بینانه تجهیزات صنعتی شامل یادگیری تحت نظارت و یادگیری بدون نظارت است. یادگیری تحت نظارت شامل استخراج ویژگی ها از داده های آموزشی و تفسیر آن ها به منظور پیش بینی خرابی ها/نقص ها است. یادگیری بدون نظارت از خودآموزی یا تشخیص ناهنجاری برای شناسایی انحرافات از عملیات عادی استفاده می کند [۱۲]. در حال حاضر، به دلیل افزایش حجم و تنوع داده های کلان، اکثر سیستم های نگهداری پیش بینانه مبتنی بر الگوریتم های یادگیری ماشین هستند. از یادگیری تقویتی، پالایه کردن مشارکتی، بگینگ، تقویت تا ماشین بردار پشتیبان، این الگوریتم ها کارایی پیش بینی بهتری را نسبت به فنون تحلیلی صرف به ویژه در ارتباط با سیستم های غیر ایستا نشان داده اند. علاوه بر توانایی شناسایی یک سیستم معیوب، الگوریتم های یادگیری ماشین همچنین در تعیین اینکه کدام یک از اجزای متعدد احتمالاً بیشترین تأثیر را بر محصول نهایی دارند، کمک می کنند و این امکان را برای پاسخ مؤثرتر در برابر خرابی فراهم می آورد. این جنبه باعث می شود که الگوریتم های یادگیری ماشین در حال حاضر کارآمدترین و پرکاربردترین راه حل در نگهداری پیش بینانه تجهیزات صنعتی باشند [۸].

۶- مدل های یادگیری عمیق

یادگیری عمیق یک زیرمجموعه از یادگیری ماشین است که در نگهداری پیش بینانه استفاده می شود. این روش برای روابط پیچیده و عملیات بزرگ بهترین است. شبکه های یادگیری عمیق می توانند شامل مدل های تحت نظارت، بدون نظارت یا تقویتی باشند. این مدل ها شامل مدل های پیش خور، بازگشتی و توجه هستند [۱۰]. در بیشتر موارد، منطقی است که اهداف را با استفاده از مدل های



یادگیری عمیق که بر روی داده‌های ورودی به هدف آموزش دیده‌اند، طبقه‌بندی کنیم. شبکه‌های بازگشتی برای مدل‌سازی داده‌های توالی یا سری زمانی، مانند سیگنال‌های داخلی یا خارجی از ماشین‌آلات بزرگ شامل حسگرهای هوشمند استفاده می‌شوند. الگوریتم‌های یادگیری نیز با مدل‌های بدون نظارت و تقویتی برای خوشه‌بندی رکوردهای ورودی به کلاس‌های مشابه به کار می‌روند. گاهی اوقات منطقی است که از مدل‌های یادگیری عمیق بر اساس یک پارادایم مشابه تحت نظارت حتی زمانی که هیچ پارامتر هدف واحد واضحی برای تشخیص وجود ندارد استفاده کنیم. به عنوان مثال، در یک خودرو، ممکن است عملیات زیادی در حدود نرمال وجود داشته باشد و هم پوشانی آن‌ها را می‌توان با استفاده از هر مفهوم یادگیری تحت نظارت به عنوان کلاس «سالم» برای شناسایی یک مشکل جدید طبقه‌بندی کرد. به عنوان مثال، جمع ویژگی‌های دمای محیطی و داخلی کاسه‌نمد، رطوبت جهانی، بافت کاغذ، سرعت نوار تغذیه V، جریان سیال، سرعت چرخش و علائم خطا در یک سیلندر خاص امری غیرعادی است [۹].

۷- پیاده‌سازی هوش مصنوعی در محیط‌های صنعتی

با توجه به چالش‌های مربوط به قطعات خراب و زمان‌های تعطیلی خارج از برنامه، صنایع و شرکت‌ها به طور فزاینده‌ای به استفاده از هوش مصنوعی برای مقابله با چالش‌ها و نگهداری پیش بینانه و تشخیص به موقع ناهنجاری‌ها در تجهیزات خود علاقه‌مند شده‌اند. فناوری‌های هوش مصنوعی ممکن است فرصت‌های زیادی را در نگهداری در محل تجهیزات در محیط‌های صنعتی مختلف ایجاد کنند، هرچند که پیاده‌سازی این فناوری‌ها ممکن است چالش برانگیز به نظر برسد. برای بهره‌برداری از فرصت‌ها و کاهش برخی از چالش‌های مرتبط با چنین فنون هوش مصنوعی در یک محیط صنعتی عملی، باید تعدادی از الزامات برآورده شوند [۱۱]. پذیرش عملی هوش مصنوعی در کنار استراتژی‌های نگهداری هوشمند به عنوان نگهداری شناختی قلمداد می‌شود که از مفهوم نگهداری هوشمند برای انجام عملیات نگهداری مبتنی بر دانش پشتیبانی می‌کند. با استفاده از هوش مصنوعی، ابزارها و دستیاران نگهداری مبتنی بر چت/خودمختار چنین عملکردهایی را به دست می‌آورند. علاوه بر این، هوش مصنوعی کارایی بالایی در تحلیل پیش بینانه مانند تشخیص استراتژیک پیشگیرانه انواع مختلف تجهیزات ماشین‌کاری در صنایع تولید و پردازش، طراحی خدمات نگهداری هوشمند و فناوری دوقلوی دیجیتال نشان داده است. این ابزارها همچنین، یک سیستم پشتیبانی هوش مصنوعی دستیار را بر اساس تحلیل و قضاوت کارشناسان آن‌ها هدایت می‌کند تا عملیات نگهداری را بهینه کند [۱۱].

۸- مطالعات موردی و کاربردهای واقعی

بسیاری از مقالات علمی مدل‌های مختلف هوش مصنوعی را برای نگهداری پیش بینانه پیشنهاد کرده‌اند، اما هنوز مشخص نیست که هوش مصنوعی چگونه واقعا به نگهداری پیش بینانه در صنعت کمک می‌کند. در اینجا به طور مختصر مطالعات موردی واقعی را ارائه می‌شود که پیاده‌سازی موفق مدل‌های هوش مصنوعی در نگهداری تجهیزات صنعتی را نشان می‌دهد [۱۱]. در مورد «پروژه اورگارد»، مکانیسم موفق به تفصیل توصیف شده است که اطلاعات پیشین و مدل‌های آماری مبتنی بر هوش مصنوعی را برای پیش بینی زمان تعویض موتورهای بالگرد ترکیب می‌کند. در مجموع ۱۲۱ لامپ برای ۶۸۰۱ فرود نصب شد (زمان پرواز). الگوریتم زمان باقی‌مانده برای هفتاد و نه لامپ را تعیین کرد که از این تعداد، دو لامپ بدون هشدار سوختند. در این آزمایش میدانی، الگوریتم ما نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داد. تجربیات مدیران دو واحد در محیط‌های شرکتی اورگارد می‌تواند توسط کاپیتان خلاصه شود که اظهار داشت: «زمانی که این سیاست‌های RCM تنظیم شوند و تعویض‌های رقابتی وسایل نقلیه پیش بینی شوند، نیاز به نگهداری دوره‌ای کمتر و دلایل بیشتری





برای تعویض واحدها بر اساس وضعیت به جای تحلیل ریسک وجود دارد. ممکن است افزایش درآمد حاصل شود زیرا وسیله نقلیه معامله شده گزینه‌ای با کمترین هزینه است که در آن همه وسایل نقلیه با شرایط مکانیکی خوب موجود هستند؛ حتی اگر فقط یک یا دو وسیله نقلیه وجود داشته باشد، که این‌گونه نباشند. نتیجه یک استراتژی نگهداری ساده‌تر است که فهم آن آسان است و انتقال دانش در مورد زمان تعویض وسایل نقلیه اکنون می‌تواند به عنوان مجموعه‌ای از قوانین کسب و کار برای برنامه‌ریزی مجدد نگهداری، تعویض وسایل نقلیه و گزینه‌های تجاری نهادینه شود» [۱۵]. در FedCom، الگوریتم موفق با استفاده از ترکیب زمان، رویداد و پیش‌بینی چالشی در زمینه برنامه نگهداری روتور کرافت برای نظارت بر سلامت بلب‌رینگ و سیستم‌های روانکاری پیشنهاد شده است [۷].

۹- تجزیه و تحلیل

مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به‌ویژه یادگیری ماشین، می‌تواند به شناسایی الگوهای خرابی و پیش‌بینی زمان مناسب برای تعمیرات کمک کند. بر اساس نتایج یک پژوهش، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در مقایسه با روش‌های آماری سنتی، توانایی بیشتری در پردازش داده‌های ناقص و متناقض دارند. این ویژگی به آن‌ها اجازه می‌دهد تا به‌طور مؤثرتری از داده‌ها برای پیش‌بینی خرابی‌ها استفاده کنند.

در مقایسه با روش‌های آماری، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند الگوهای پیچیده‌تری را شناسایی کنند. به عنوان مثال، در یک مطالعه مشخص شد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های کلاسیک آماری، دقت بالاتری در پیش‌بینی خرابی‌ها دارند. این امر ناشی از توانایی آن‌ها در یادگیری از داده‌ها بدون نیاز به فرضیات اولیه خاص است.

با وجود مزایای ذکرشده، چالش‌هایی نیز وجود دارد. یکی از چالش‌ها، کیفیت داده‌ها است. در بسیاری از موارد، داده‌های جمع‌آوری شده ممکن است ناقص یا نادرست باشند که می‌تواند بر دقت پیش‌بینی تأثیر بگذارد. همچنین، پیاده‌سازی سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نیازمند زیرساخت‌های مناسب و آموزش نیروی کار است.

تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌هایی در سطح توسعه و کاربرد هوش مصنوعی هستند. به عنوان مثال، مطالعه‌ای که توسط گروه دیده‌بان هوش مصنوعی پارت انجام شده است، نشان می‌دهد که ایران نسبت به کشورهای پیشرفته‌ای مانند آمریکا و چین در زمینه تحقیقات هوش مصنوعی جایگاه پایین‌تری دارد. این عدم تعادل می‌تواند بر توانایی کشور در بهره‌برداری از فناوری‌های نوین تأثیر بگذارد.

۱۰- نتیجه‌گیری

کاربرد هوش مصنوعی در نگهداری پیش‌بینانه در حال ایجاد تحولی شگرف در نحوه مدیریت تجهیزات توسط صنایع است. ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی ارائه دهنده قابلیت برتر تشخیص خرابی‌ها، بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری و پیش‌بینی خرابی‌های احتمالی تجهیزات با دقت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی هستند. با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، صنایع می‌توانند نیازهای نگهداری و تعمیرات را پیش‌بینی کرده، زمان‌های تعطیلی غیرمنتظره را کاهش دهند و عمر عملیاتی تجهیزات خود را افزایش دهند. پیاده‌سازی‌های واقعی نشان داده‌اند که هوش مصنوعی نه تنها کارایی را بهبود می‌بخشد؛ بلکه صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها نیز ایجاد می‌کند. با ادامه تکامل فناوری‌های هوش مصنوعی، ادغام آن‌ها در نگهداری پیش‌بینانه برای صنایعی که به دنبال حفظ مزیت رقابتی در عصر صنعت هستند، به‌طور فزاینده‌ای ضروری خواهد شد.



مفهوم «سیستم‌های خودآگاه» به‌عنوان نسل آینده سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی قادر خواهند بود رفتار و عملکرد خود را تجزیه و تحلیل کنند و به‌نوبه خود قادر به مهار یا بهبود عملکرد خود خواهند بود. این مفهوم گام بعدی برای تجزیه و تحلیل پیش‌بینی هوش مصنوعی است. برنامه‌های یادگیری ماشین نه‌تنها پیش‌بینی می‌کنند که چه زمانی مشکل نگهداری و تعمیر رخ می‌دهد، بلکه به‌طور خودکار برنامه خود را برای جلوگیری از این مشکل تنظیم می‌کنند، زیرا می‌دانند که ادامه کار دستگاه هزینه‌بر است و می‌دانند که چه کند تا فرآیند را به‌طور موقت متوقف کند. سیستم‌های خودآگاه در حال حاضر به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند یا مؤثر نیستند، اما این یکی دیگر از گرایش‌های قوی برای برنامه‌های هوش مصنوعی است و تأثیر زیادی بر بخش نگهداری و تعمیر در بهبود تجهیزات و فرآیندهای سطوح بالاتر خواهد داشت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد هوش مصنوعی در تمام زمینه‌های صنعت تولید در حال افزایش است و با گذشت زمان به رشد و گسترش خود ادامه خواهد داد. بر اساس آنچه تاکنون در این حوزه انجام شده روند رشد هوش مصنوعی شامل تجزیه و تحلیل پیش‌بینانه، یادگیری ماشین و داده‌کاوی بوده است.

به‌طورکلی، استفاده از هوش مصنوعی در نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی می‌تواند منجر به افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها شود. بااین‌حال، برای بهره‌برداری کامل از این فناوری، نیازمند توجه ویژه به کیفیت داده‌ها و زیرساخت‌های لازم می‌باشد. تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌تواند به شناسایی بهترین شیوه‌ها و الگوریتم‌ها کمک کند تا سازمان‌ها بتوانند از مزایای هوش مصنوعی بهره‌مند شوند.



۱۱- منابع و مراجع

- 1) Achouch, M., Dimitrova, M., Ziane, K., Sattarpanah Karganroudi, S., Dhoub, R., Ibrahim, H., & Adda, M. (2022). On predictive maintenance in industry 4.0: Overview, models, and challenges. *Applied Sciences*, 12(16), 8081.
- 2) Ali, A., & Abdelhadi, A. (2022). Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review. *Applied Sciences*, 12(2), 688. <https://doi.org/10.3390/app12020688>
- 3) Ayvaz, S., & Alpay, K. (2021). Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time. *Expert Systems with Applications*, 173, 114598.
- 4) Bouabdallaoui, Y., Lafhaj, Z., Yim, P., Ducoulombier, L., & Bennadji, B. (2021). Predictive maintenance in building facilities: A machine learning-based approach. *Sensors*, 21(4), 1044.
- 5) Brito, L. C., Susto, G. A., Brito, J. N., & Duarte, M. A. (2022). An explainable artificial intelligence approach for unsupervised fault detection and diagnosis in rotating machinery. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 163, 108105.
- 6) Chen, J. C., Chen, T. L., Liu, W. J., Cheng, C. C., & Li, M. G. (2021). Combining empirical mode decomposition and deep recurrent neural networks for predictive maintenance of lithium-ion battery. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101405.
- 7) Cheng, W., Wang, Y., Peng, Z., Ren, X., Shuai, Y., Zang, S., & Wu, J. (2021). High-efficiency chaotic time series prediction based on time convolution neural network. *Chaos, Solitons & Fractals*, 152, 111304.
- 8) Çınar, Z. M., Abdussalam Nuhu, A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M., & Safaei, B. (2020). Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. *Sustainability*, 12(19), 8211.
- 9) Hu, J., Wang, X., Zhang, Y., Zhang, D., Zhang, M., & Xue, J. (2020). Time series prediction method based on variant LSTM recurrent neural network. *Neural Processing Letters*, 52, 1485–1500.
- 10) Indrakumari, R., Poongodi, T., & Singh, K. (2021). Introduction to deep learning. *Advanced Deep Learning for Engineers and Scientists: A Practical Approach*, 1–22.
- 11) Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Artificial intelligence applications for industry 4.0: A literature-based study. *Journal of Industrial Integration and Management*, 7(01), 83–111.
- 12) Kumar, P., & Hati, A. S. (2021). Review on machine learning algorithm based fault detection in induction motors. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(3), 1929–1940.





- 13) Li, X., Zhang, W., Ding, Q., & Sun, J. Q. (2020). Intelligent rotating machinery fault diagnosis based on deep learning using data augmentation. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(2), 433–452.
- 14) Liu, J., Shi, D., Li, G., Xie, Y., Li, K., Liu, B., & Ru, Z. (2020). Data-driven and association rule mining-based fault diagnosis and action mechanism analysis for building chillers. *Energy and Buildings*, 216, 109957.
- 15) Moon, H. (2021). *Constructing the Modern Warrior: The US Army and Gender* (Doctoral dissertation, The College of William and Mary).
- 16) Tiddens, W., Braaksma, J., & Tinga, T. (2022). Exploring predictive maintenance applications in industry. *Journal of quality in maintenance engineering*, 28(1), 68–85.
- 17) Valipour Parkouhi, S., Safaei Ghadikolaie, A., & Fallah Lajimi, H. (2023). Classification of Critical Success Factors in Smart Manufacturing Implementation from the Perspective of Stakeholders and Components of Technology: A Systematic Literature Review. *Industrial Management Journal*, 15(2), 180–222.
- 18) Zhang, W., Lu, Q., Yu, Q., Li, Z., Liu, Y., Lo, S. K., & Zhu, L. (2020). Blockchain-based federated learning for device failure detection in industrial IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(7), 5926–5937.

