

منهجية مقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي

في المنشآت الصحية: التحديات والفرص

A Proposed Methodology for Implementing Artificial Intelligence-Based Maintenance Systems in Healthcare Facilities: Challenges and Opportunities

فيصل محمد البازعي

جامعة ميدأوشن، faisalalbazie872@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2025/05/06 تاريخ القبول: 2025/05/24 تاريخ النشر: 2025/07/15

Abstract :

This theoretical study aims to propose an integrated methodology for implementing artificial intelligence-based maintenance systems in healthcare facilities, while analyzing the challenges and opportunities associated with this implementation. Effective maintenance of medical equipment, devices, and infrastructure is vital to ensure the continuity and quality of healthcare services. The rapid development of artificial intelligence technologies has created new opportunities to improve maintenance operations, reduce costs, and increase operational efficiency. The study reviews the types of artificial intelligence applications used in the field of maintenance, analyzes the mediating factors affecting the success of implementing these technologies, and identifies the technical, organizational, legal, and ethical challenges facing their application in healthcare facilities. The study also

الملخص:

تهدف هذه الدراسة النظرية إلى اقتراح منهجية متكاملة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية، مع تحليل التحديات والفرص المرتبطة بهذا التطبيق. تعتبر الصيانة الفعالة للمعدات والأجهزة الطبية والبنية التحتية أمراً حيوياً لضمان استمرارية الخدمات الصحية وجودتها، وقد أدى التطور المتسارع في تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى ظهور فرص جديدة لتحسين عمليات الصيانة وتقليل التكاليف وزيادة الكفاءة التشغيلية. تستعرض الدراسة أنواع تطبيقات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في مجال الصيانة، وتحلل العوامل الوسيطة المؤثرة على نجاح تطبيق هذه التقنيات، وتحدد التحديات التقنية والتنظيمية والقانونية والأخلاقية التي تواجه تطبيقها في المنشآت الصحية. كما تقترح

proposes an integrated methodology for implementing artificial intelligence-based maintenance systems, including the stages of assessment, planning, implementation, monitoring, and evaluation, and provides practical recommendations for healthcare facilities, researchers, and decision-makers. The study concludes that the implementation of artificial intelligence-based maintenance systems can significantly contribute to improving maintenance efficiency and the quality of healthcare services, provided that mediating factors are taken into account and challenges associated with this implementation are overcome.

Keywords: Artificial Intelligence, Predictive Maintenance, Analytical Maintenance, Healthcare Facilities, Maintenance Efficiency, Machine Learning.

الدراسة منهجية متكاملة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، تتضمن مراحل التقييم والتخطيط والتنفيذ والمتابعة والتقييم، وتقدم توصيات عملية للمنشآت الصحية والباحثين وصناع القرار. تخلص الدراسة إلى أن تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي يمكن أن يسهم بشكل كبير في تحسين كفاءة الصيانة وجودة الخدمات الصحية، شريطة مراعاة العوامل الوسيطة والتغلب على التحديات المرتبطة بهذا التطبيق.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، الصيانة التنبؤية، الصيانة التحليلية، المنشآت الصحية، كفاءة الصيانة، التعلم الآلي.

مقدمة:

تتميز المنشآت الصحية بدرجة عالية من التعقيد على مستوى بنيتها التحتية وأنظمتها التشغيلية، فهي تحتضن طيفاً واسعاً من الأجهزة والمعدات الطبية المتقدمة، بالإضافة إلى أنظمة هندسية متشابكة تتطلب عناية وصيانة دورية ومستمرة لضمان استمرارية أدائها بكفاءة وفعالية. إن الحفاظ على سلامة وكفاءة هذه المعدات والأجهزة والبنية التحتية يُعد ركيزة أساسية لاستدامة الخدمات الصحية والحفاظ على جودتها؛ فأي عطل أو خلل، مهما كان بسيطاً، قد يتسبب في انقطاع الخدمات، أو تأخير تقديم الرعاية اللازمة للمرضى، بل وقد يهدد حياتهم في بعض المواقف الحرجة (Mgbemena & Okeagu, 2023).

ورغم الإقرار بأهمية الصيانة البالغة في السياق الصحي، فإن الملاحظ أن عدداً غير قليل من هذه المؤسسات ما زال يرتكن إلى الممارسات التقليدية، سواء كانت تلك التي تتخذ طابع رد الفعل (Reactive Maintenance) لمعالجة الأعطال بعد وقوعها، أو الصيانة الوقائية المجدولة (Preventive Maintenance) التي تتبع فترات زمنية ثابتة. غير أن هذه المقاربات التقليدية تصطدم بعقبات جمة، تشمل التكاليف المرتفعة للصيانة، والعجز عن استشراف الأعطال المحتملة قبل تفاقمها، وصعوبة ترتيب الأولويات في ظل شح الموارد المتاحة، بالإضافة إلى ضعف آليات التنسيق بين فرق الصيانة المتعددة، والعقبات التي تحول دون استثمار البيانات التاريخية للصيانة بغرض تحسين الأداء المستقبلي (خضير، 2010).

وفي ظل التقدم المتسارع الذي تشهده تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي، تتكشف آفاق واعدة لإحداث نقلة نوعية في ممارسات الصيانة، بما يسهم في خفض النفقات وتعزيز الكفاءة التشغيلية. لقد بات بمقدور المؤسسات الصحية توظيف الإمكانيات التي تتيحها تطبيقات الذكاء الاصطناعي، سواء التنبؤية منها (Predictive AI Applications) القادرة على استقراء البيانات التاريخية واللحظية لاستباق الأعطال، أو التحليلية (Analytical AI Applications) التي تمكن من معالجة الكم الهائل من بيانات الصيانة بهدف تحسين الجدولة وإدارة المخزون وقطع الغيار بفاعلية أكبر (e.g., Virmani, 2024; Lee et al., 2019). ومن شأن تبني هذه التقنيات المتقدمة أن ينعكس إيجاباً على جودة الرعاية الصحية، عبر ضمان الجاهزية المستمرة للأجهزة والمعدات الحيوية وتقليل فترات تعطلها عن الخدمة.

وانطلاقاً من الأهمية المتزايدة لهذا المجال وحداثته النسبية، تسعى هذه الدراسة النظرية إلى بلورة منهجية متكاملة يمكن تبنيها لتطبيق أنظمة الصيانة المرتكزة على الذكاء الاصطناعي ضمن بيئة المنشآت الصحية. ويتضمن ذلك تحليلاً معمقاً للتحديات الماثلة والفرص السانحة التي تكتنف هذا التحول، وصولاً إلى تقديم توصيات عملية موجهة للمؤسسات الصحية، والباحثين، وصناع القرار في هذا القطاع الحيوي.

مشكلة الدراسة وأسئلتها

تجد المنشآت الصحية نفسها أمام تحديات متنامية فيما يتعلق بإدارة وصيانة منظوماتها المعقدة من الأجهزة والمعدات الطبية والبنى التحتية. ويعود ذلك إلى عوامل متعددة، أبرزها التطور التكنولوجي المتسارع في المجال الطبي، وما يصاحبه من تعقيد متزايد، فضلاً عن ارتفاع تكاليف عمليات الصيانة، والضغط المستمر لترشيد النفقات التشغيلية، مع الحتمية المطلقة لضمان استمرارية الخدمات الصحية والحفاظ على أعلى معايير الجودة. وفي هذا السياق، يلاحظ أن غالبية هذه المنشآت لا تزال تعتمد على مقاربات الصيانة التقليدية، سواء التفاعلية منها أو الوقائية المجدولة، وهي مقاربات أظهرت التجربة محدودية فعاليتها في مواجهة هذه التحديات المتشابكة (البشارير، 2024).

ورغم بروز أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي كحلول مبشرة قادرة على الارتقاء بكفاءة عمليات الصيانة، إلا أنه لا تزال هناك حاجة ماسة لسد الفجوة المعرفية المتعلقة بالمنهجية المثلى لتبني هذه الأنظمة وتطبيقها بفعالية في البيئة الصحية المعقدة. يضاف إلى ذلك، الحاجة لفهم أعمق للعوامل الوسيطة التي تحكم نجاح هذا التطبيق، واستيعاب التحديات المتوقعة، وبلورة استراتيجيات واضحة للتغلب عليها.

وفي ضوء ما تقدم، تبلور الإشكالية البحثية المحورية لهذه الدراسة في السعي نحو الإجابة على التساؤل الجوهرية التالي: ما هي المنهجية الأنسب لدمج وتفعيل أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ضمن نسيج العمليات في المنشآت الصحية؟

وللإحاطة بجوانب هذا التساؤل، تنبثق عنه مجموعة من الأسئلة الفرعية التي تسعى الدراسة لاستجلائها:

1. ما طبيعة تطبيقات الذكاء الاصطناعي الموظفة حالياً أو المحتمل توظيفها في صيانة المرافق الصحية، وما هي السمات المميزة لكل منها؟
2. ما هي العوامل السياقية والوسيطية التي تلعب دوراً حاسماً في تحديد مدى نجاح أو إخفاق تطبيق أنظمة الصيانة الذكية في القطاع الصحي؟
3. ما هي أبرز المعوقات والتحديات ذات الأبعاد التقنية، والتنظيمية، والقانونية، والأخلاقية التي قد تعترض سبيل تطبيق هذه الأنظمة في المنشآت الصحية؟
4. ما هي المراحل والخطوات الإجرائية التي تشكل مساراً منطقياً لتطبيق أنظمة الصيانة المرتكزة على الذكاء الاصطناعي في هذا السياق؟
5. ما هي الاستراتيجيات والآليات العملية التي يمكن اقتراحها لتجاوز التحديات المصاحبة لتطبيق هذه الأنظمة، وتعظيم العائد من الاستثمار فيها؟

أهداف الدراسة

تتوخى هذه الدراسة النظرية بلوغ الغايات التالية:

6. استجلاء وتصنيف أنماط تطبيقات الذكاء الاصطناعي المستخدمة أو المرشحة للاستخدام في صيانة المرافق الصحية، مع تحليل دقيق لسماتها المميزة.
7. سبر أغوار العوامل الوسيطة التي تتدخل في تحديد مآل تطبيق أنظمة الصيانة الذكية في القطاع الصحي، سواء بالنجاح أو الإخفاق.
8. تشخيص وتحديد أبرز المعوقات والتحديات ذات الأبعاد التقنية، والتنظيمية، والقانونية، والأخلاقية التي قد تعترض سبيل تطبيق هذه الأنظمة في المنشآت الصحية.
9. صياغة واقتراح منهجية عمل متكاملة لتطبيق أنظمة الصيانة المرتكزة على الذكاء الاصطناعي في البيئة الصحية، تشمل تحديداً للمراحل والخطوات الإجرائية.
10. تقديم مقترحات عملية لآليات واستراتيجيات يمكن من خلالها تجاوز التحديات المصاحبة لتطبيق هذه الأنظمة، وتحقيق أقصى استفادة ممكنة منها.

أهمية الدراسة

تنبثق أهمية هذه الدراسة من أبعاد متعددة، يمكن إيجازها كما يلي:

على الصعيد النظري:

تُسهم هذه الدراسة في تعميق الفهم العلمي لمنهجيات تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ضمن السياق الصحي، وتلقي الضوء على العوامل الوسيطة الحاسمة لنجاحها، والتحديات المحتملة التي قد تعترضها. كما تقدم إطاراً مفاهيمياً يربط بين الذكاء الاصطناعي، والصيانة التنبؤية والتحليلية، وكفاءة الأداء في المنشآت الصحية، مما يثري الرصيد النظري في هذا الحقل المعرفي. ونظراً لندرة الدراسات العربية التي تتناول هذا الموضوع بعمق، فإن هذه الدراسة تسعى لسد فجوة ملحوظة في الأدبيات المتاحة باللغة العربية.

على الصعيد التطبيقي:

تُقدم الدراسة إرشادات عملية للمنشآت الصحية الراغبة في تبني أنظمة الصيانة الذكية، وذلك من خلال اقتراح منهجية تطبيق متكاملة، وتحديد العوامل المؤثرة التي ينبغي أخذها في الاعتبار، والتحديات المتوقعة، وسبل التغلب عليها. كما يمثل النموذج المقترح لتطبيق الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة دليلاً استرشادياً قيماً للمؤسسات الصحية في رحلتها نحو التحول الرقمي في هذا المجال.

على الصعيد الاقتصادي:

يُتوقع أن ينجم عن تطبيق توصيات الدراسة فوائد اقتصادية ملموسة للمنشآت الصحية، تتمثل في خفض تكاليف الصيانة، وإطالة العمر الافتراضي للأصول والمعدات، وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها، وتحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية والمادية. وتشير بعض التقديرات في الأدبيات إلى أن التحول نحو الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي قد يحقق وفورات كبيرة في تكاليف الصيانة (e.g., Aguacil Moreno et al., 2024)، مما يعزز الاستدامة المالية لهذه المؤسسات.

على الصعيد الاجتماعي:

تتجاوز الآثار الإيجابية لتطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة الجوانب الاقتصادية والتشغيلية لتنعكس مباشرة على جودة الرعاية الصحية المقدمة للمجتمع. فمن خلال ضمان

استمرارية عمل الأجهزة والمعدات الطبية الحيوية وتقليل أعطالها، تسهم هذه التقنيات في تحسين تجربة المرضى وتعزيز رضاهم عن الخدمات الصحية، وهو ما يمثل غاية أساسية تسعى إليها المنظومات الصحية.

الإطار النظري والمفاهيمي

مفهوم الذكاء الاصطناعي وتجلياته في الصيانة الصحية

يُنظر إلى الذكاء الاصطناعي كجال معرفي متفرع عن علوم الحاسوب، يركز على بناء أنظمة تمتلك القدرة على محاكاة الوظائف الذهنية البشرية، كالإدراك الحسي (البصري والسمعي)، ومعالجة اللغات الطبيعية، واستنباط القرارات، وغيرها من المهام المعرفية المعقدة (عليوي، 2023). وفي سياق الرعاية الصحية تحديداً، يتجسد الذكاء الاصطناعي في توظيف الخوارزميات المتقدمة، لا سيما تلك المنبثقة عن التعلم الآلي، بهدف استخلاص رؤى ذات معنى من الكم الهائل للبيانات الطبية والصحية، بما يحاكي القدرات الإدراكية البشرية في تحليلها وفهمها (Mgbemena & Okeagu, 2023).

وما يميز الذكاء الاصطناعي عن المقاربات التقنية التقليدية في القطاع الصحي هو قدرته الفائقة ليس فقط على جمع البيانات ومعالجتها، بل وأيضاً على تقديم استنتاجات وتوصيات واضحة ومفهومة للمستخدمين النهائيين. وتستند هذه القدرات إلى خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق التي تمكن الأنظمة من التعرف على الأنماط المتكررة والعلاقات الخفية ضمن البيانات، بل وتطوير نماذجها المنطقية الخاصة بشكل مستقل، مما يفتح آفاقاً جديدة لتحسين الأداء واتخاذ القرارات المستنيرة.

وعند إسقاط هذا المفهوم على مجال صيانة المنشآت الصحية، يمكن القول بأن تطبيقات الذكاء الاصطناعي تمثل توظيفاً استراتيجياً لتقنيات متنوعة كالـتـعلم الآلي، والتعلم العميق، ومعالجة اللغات الطبيعية، والرؤية الحاسوبية. الهدف من ذلك هو تحليل البيانات المتدفقة من المعدات والأجهزة والبنى التحتية، ليس فقط للتنبؤ بالأعطال المحتملة قبل وقوعها، بل أيضاً لتحسين عمليات جدولة الصيانة، واستغلال البيانات الضخمة المتولدة عن هذه العمليات، وتعزيز كفاءة إدارة المخزون وقطع الغيار (e.g., Surucu et al., 2023; Jeyaswamidoss & Azariya, 2024).

تصنيفات تقنيات الذكاء الاصطناعي في سياق الصيانة

تتعدد التقنيات المدرجة تحت مظلة الذكاء الاصطناعي والتي تجد تطبيقات لها في مجال الصيانة، ويمكن التمييز بين فئات رئيسية منها. يأتي في مقدمتها التعلم الآلي (Machine Learning)، الذي يركز على بناء خوارزميات قادرة على استخلاص الأنماط من البيانات والتعلم منها لتحسين أدائها ذاتياً بمرور الوقت، دون الحاجة لبرمجة تفصيلية لكل حالة. ويُستثمر التعلم الآلي بشكل واسع في الصيانة التنبؤية، حيث يتم تحليل السجلات التاريخية لأداء المعدات والأنظمة لتحديد المؤشرات المبكرة التي تنبئ باحتمالية وقوع أعطال وشيكة (Surucu, Gadsden, & Yawney, 2023). ويتفرع عن التعلم الآلي مجال أكثر تقدماً هو التعلم العميق (Deep Learning)، والذي يعتمد على بنى الشبكات العصبية الاصطناعية المعقدة ذات الطبقات المتعددة. وتبرز أهمية التعلم العميق في قدرته على معالجة وتحليل البيانات غير المهيكلة أو المعقدة، مثل الصور، ومقاطع الفيديو، والإشارات الصوتية، مما يتيح الكشف عن عيوب أو تشوهات دقيقة قد لا تكون ظاهرة بالطرق التقليدية (Jeyaswamidoss & Azariya, 2024). إلى جانب ذلك، تلعب معالجة اللغات الطبيعية (Natural Language Processing) دوراً هاماً من خلال تمكين الأنظمة الحاسوبية من فهم وتفسير اللغة البشرية المكتوبة أو المنطوقة. وتُستخدم هذه التقنية في تحليل كميات كبيرة من النصوص غير المهيكلة، كتقارير الصيانة، وسجلات الأعطال، وملاحظات الفنيين، لاستخلاص معلومات قيمة وتصنيفها وتوجيهها (cf. Surucu, Gadsden, & Yawney, 2023). كما تساهم الرؤية الحاسوبية (Computer Vision) في تمكين الآلات من "رؤية" وتفسير العالم المرئي، حيث تُستخدم لتحليل الصور ومقاطع الفيديو الملتقطة للمعدات والبنى التحتية بهدف الكشف الآلي عن علامات التلف، أو التآكل، أو الشقوق، أو أي مؤشرات أخرى تتطلب تدخلاً صيائياً. وأخيراً، يمكن الإشارة إلى أنظمة الخبرة (Expert Systems)، وهي برامج مصممة لمحاكاة قدرات الخبراء البشريين في مجال معين، حيث تعتمد على قواعد معرفية مبرمجة مسبقاً لتشخيص المشكلات المعقدة واقتراح الحلول المناسبة، مما يوفر دعماً فنياً قيماً لفرق الصيانة.

مقاربات الصيانة المتقدمة: التنبؤية والتحليلية

تُمثل الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) نقلة نوعية عن الأساليب التقليدية، فهي استراتيجية استباقية تركز على المراقبة المستمرة لحالة المعدات والأصول

التشغيلية، مستعينةً بتحليل البيانات اللحظية والتاريخية بهدف استشراف الأعطال المحتملة قبل وقوعها وتحديد اللحظة المثلى للتدخل الصياني. تسعى هذه المقاربة إلى تجاوز فكرة الصيانة المجدولة أو التفاعلية، مما يقلل من الأعطال المفاجئة، ويجد من فترات التوقف غير المخطط لها، ويحسن من كفاءة استخدام الموارد المتاحة (e.g., Surucu et al., 2023).

وبينما تركز الصيانة التنبؤية على استشراف المستقبل، تأتي الصيانة التحليلية (Analytical Maintenance) لتكمل الصورة من خلال توظيف تقنيات تحليل البيانات المتقدمة بهدف فهم أعمق لعمليات الصيانة وتحسينها بشكل مستمر. يشمل ذلك تحليل كميات ضخمة من بيانات الصيانة السابقة والحالية لاستخلاص رؤى حول الأسباب الجذرية للأعطال، وتحسين خطط وجدولة أعمال الصيانة، وترشيد التكاليف المتعلقة بها، بالإضافة إلى تعزيز كفاءة إدارة المخزون وقطع الغيار (Wo Jae Leea et al., 2019).

مقارنة بين المقاربات التقليدية والذكاء للصيانة

تتجلى الفروقات الجوهرية بين الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ونظيرتها التقليدية في عدة محاور أساسية. فمن حيث المنهجية المتبعة، تميل الصيانة التقليدية إلى التفاعل مع الأعطال بعد وقوعها (التفاعلية) أو الالتزام بمداول زمنية ثابتة للصيانة الوقائية، بغض النظر عن الحالة الفعلية للمعدات. في المقابل، تتبنى الصيانة الذكية نهجاً استباقياً يعتمد على التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها (التنبؤية) والتحليل المستمر للبيانات لتحسين الأداء (التحليلية).

أما على صعيد الاعتماد على البيانات، فإن المقاربات التقليدية غالباً ما تكتفي ببيانات محدودة، قد يتم جمعها يدوياً، بينما تستند الصيانة الذكية إلى استغلال كميات ضخمة ومتنوعة من البيانات التي يتم جمعها وتحليلها بشكل آلي ومستمر من خلال أجهزة الاستشعار وأنظمة المراقبة المتقدمة. وينعكس هذا الاختلاف على توقيت التدخل الصياني؛ ففي حين يتم التدخل التقليدي إما كرد فعل للعطل أو وفقاً لجدول زمني محدد سلفاً، فإن الصيانة الذكية تسعى لتحديد التوقيت الأمثل للتدخل بناءً على تقييم دقيق للحالة الفعلية للمعدات والتنبؤات المستندة إلى البيانات.

وتؤدي هذه الفروقات بطبيعة الحال إلى تباين في التكاليف والكفاءة. فالصيانة التقليدية غالباً ما ترتبط بتكاليف أعلى نتيجة للأعطال المفاجئة وما تسببه من توقف للعمليات، فضلاً عن احتمالية إجراء صيانة غير ضرورية. بالمقابل، تهدف الصيانة الذكية إلى خفض

التكاليف الإجمالية من خلال تجنب الأعطال الكارثية، وتقليل فترات التوقف، وتحسين استخدام الموارد، ورفع مستوى الكفاءة التشغيلية بالاعتماد على التحليل الدقيق للبيانات بدلاً من الاعتماد الكلي على الخبرة البشرية أو الجداول الزمنية الصارمة.

العوامل الوسيطة المؤثرة في تبني الصيانة الذكية

لا يقتصر نجاح تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي على الجوانب التقنية فحسب، بل يتأثر بمجموعة من العوامل الوسيطة التي تلعب دوراً حاسماً في تهيئة البيئة المناسبة لهذا التحول. من أبرز هذه العوامل:

1. جودة البيانات ومدى توافرها

تشكل البيانات وقود المحرك لأنظمة الذكاء الاصطناعي، وبالتالي فإن جودتها ومدى توافرها يمثلان حجر الزاوية في نجاح تطبيقات الصيانة الذكية. فكلما كانت البيانات التي تغذي هذه الأنظمة أكثر دقة وشمولية واتساقاً وحداثة وملاءمة للغرض، ارتفعت موثوقية النتائج والرؤى المستخلصة منها.

وتشمل الأبعاد الرئيسية لجودة البيانات الدقة (Accuracy)، والاكتمال (Completeness)، والاتساق (Consistency)، والحداثة (Timeliness)، والملاءمة (Relevance). غير أن المنشآت الصحية غالباً ما تواجه تحديات في هذا الصدد، مثل تعدد مصادر البيانات وعدم تكاملها، وصعوبة توحيد صيغها، والعقبات المتعلقة بجمع البيانات من المعدات القديمة، ومشكلات تكامل البيانات بين الأنظمة المختلفة. لذا، فإن الاستثمار في تحسين آليات جمع البيانات وإدارتها وضمان جودتها يُعد شرطاً مسبقاً لا غنى عنه لنجاح مبادرات الصيانة الذكية.

2. جاهزية البنية التحتية التكنولوجية

تعتمد قدرة المنشآت الصحية على تبني واستغلال أنظمة الصيانة الذكية بشكل كبير على مدى جاهزية بنيتها التحتية التكنولوجية. وتشمل هذه البنية مجموعة متكاملة من المكونات، بدءاً من أجهزة الحاسوب والخوادم القوية، مروراً بشبكات الاتصال ذات السعة العالية، وأنظمة التخزين القادرة على استيعاب كميات ضخمة

من البيانات، وصولاً إلى نشر أجهزة الاستشعار وتقنيات إنترنت الأشياء (IoT) لجمع البيانات من المعدات، بالإضافة إلى وجود أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS) كنواة أساسية.

إن متطلبات الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي تتجاوز مجرد وجود هذه المكونات، فهي تستلزم بنية تحتية متطورة وقادرة على التعامل مع التدفق الهائل للبيانات، ومعالجتها بكفاءة لتشغيل خوارزميات التعلم المعقدة، وتوفير واجهات تفاعلية سهلة الاستخدام تمكن فرق الصيانة من الاستفادة من مخرجات النظام. وكثيراً ما تواجه المنشآت الصحية عقبات في هذا الجانب، منها التكاليف الاستثمارية المرتفعة لتحديث البنية التحتية، وتحديات دمج التقنيات الجديدة مع الأنظمة الموروثة (Legacy Systems)، وضمان أمن هذه البنية التحتية وحمايتها من الاختراقات، والامتثال للمتطلبات الصارمة المتعلقة بخصوصية البيانات الصحية وأمنها.

3. تأهيل الكوادر البشرية وتطوير المهارات

إن الاستفادة القصوى من أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي لا تتحقق بمجرد توفير التقنية، بل تتطلب استثماراً موازياً في العنصر البشري. فالكوادر المؤهلة، بدءاً من مهندسي الصيانة الميدانيين، مروراً بمحللي البيانات القادرين على تفسير مخرجات الأنظمة، ووصولاً إلى مطوري تطبيقات الذكاء الاصطناعي ومديري عمليات الصيانة، يمثلون حجر الزاوية في ترجمة إمكانات هذه التقنيات إلى واقع ملموس.

تستلزم هذه الأنظمة المتقدمة مهارات متخصصة تتجاوز الخبرات التقليدية في الصيانة. فالقدرة على فهم مبادئ عمل الذكاء الاصطناعي، والتعامل مع أدوات تحليل البيانات، وتفسير التنبؤات والتوصيات الناتجة عن النظام، والتفاعل الفعال مع الواجهات الرقمية، كلها تصبح كفاءات ضرورية. يضاف إلى ذلك أهمية التدريب المستمر لتمكين فرق العمل من مواكبة التطورات التقنية والتكيف مع التغيرات في طبيعة مهامهم.

وتبرز هنا تحديات تتعلق بالفجوة في المهارات المطلوبة، وصعوبة استقطاب الكفاءات المتخصصة والاحتفاظ بها، والحاجة إلى تصميم برامج تدريبية فعالة ومستدامة. كما قد تظهر مقاومة للتغيير من بعض العاملين الذين قد يشعرون بأن هذه التقنيات تهدد أدوارهم التقليدية أو تتطلب منهم جهداً إضافياً للتعلم والتكيف.

4. الثقافة التنظيمية ودعم الإدارة العليا

تؤثر الثقافة التنظيمية ودعم الإدارة العليا على نجاح تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. فالثقافة التنظيمية التي تشجع على الابتكار والتعلم المستمر وتقبل التغيير تسهل تبني واستخدام هذه الأنظمة، بينما الثقافة التنظيمية المقاومة للتغيير والتمسكة بالأساليب التقليدية تعيق ذلك.

كما أن دعم الإدارة العليا يعتبر عاملاً حاسماً في نجاح تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، من خلال توفير الموارد اللازمة، وتشجيع الابتكار، وتذليل العقبات، وتبني رؤية واضحة لدور الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة.

وتواجه المنشآت الصحية تحديات في تغيير الثقافة التنظيمية وضمان دعم الإدارة العليا، مثل: مقاومة التغيير من قبل الموظفين، وصعوبة إقناع الإدارة العليا بالاستثمار في أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في ظل محدودية الميزانية، وصعوبة تغيير العمليات والإجراءات التنظيمية لتتوافق مع متطلبات هذه الأنظمة.

التحديات والمعوقات أمام تطبيق الصيانة الذكية

على الرغم من الوعود الكبيرة التي تحملها أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، إلا أن تطبيقها في المنشآت الصحية لا يخلو من تحديات ومعوقات متعددة الأوجه، يمكن تصنيفها إلى:

1. التحديات التقنية:

تتمثل أبرز العقبات التقنية في:

- تكامل الأنظمة: صعوبة تحقيق التكامل السلس بين أنظمة الصيانة الذكية الجديدة والأنظمة المعلوماتية القائمة في المنشأة (مثل أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة CMMS، أنظمة معلومات المستشفيات HIS، أنظمة إدارة المباني BMS)، مما يعيق تدفق البيانات وتبادل المعلومات بفعالية.
- جودة البيانات: التحديات المتعلقة بجمع بيانات دقيقة، وشاملة، ومتسقة، وحديثة، خاصة من المعدات القديمة التي قد لا تدعم الاتصال الرقمي، بالإضافة إلى مشكلات توحيد صيغ البيانات وتنقيتها من الأخطاء والضوضاء.
- أمن البيانات والخصوصية: المخاوف المتعلقة بضمان أمن الكم الهائل من البيانات التي تجمعها وتعالجها هذه الأنظمة، وحمايتها من الاختراقات والوصول غير المصرح به، والامتثال للتشريعات الصارمة المتعلقة بخصوصية البيانات الصحية.
- قابلية التوسع: الحاجة إلى تصميم بنى تحتية وأنظمة قادرة على التوسع لاستيعاب النمو المستمر في حجم البيانات وعدد الأجهزة المتصلة دون التأثير على الأداء.
- الموثوقية والدقة: ضمان موثوقية ودقة التنبؤات والتوصيات الصادرة عن نماذج الذكاء الاصطناعي، خاصة في التطبيقات الحرجة التي تمس سلامة المرضى أو استمرارية الخدمات الحيوية.

2. التحديات التنظيمية:

لا تقل التحديات التنظيمية أهمية عن نظيرتها التقنية، وتشمل:

- مقاومة التغيير: قد يبدي بعض العاملين مقاومة لتبني التقنيات الجديدة، إما بسبب الخوف من تأثيرها على أدوارهم الوظيفية، أو لصعوبة التكيف مع أساليب العمل الجديدة، أو لمجرد التمسك بالممارسات المألوفة.
- فجوة المهارات: الحاجة الماسة لكفاءات متخصصة في مجالات مثل الذكاء الاصطناعي، وتحليل البيانات، وإدارة الأنظمة المعقدة، وصعوبة استقطاب هذه الكفاءات والاحتفاظ بها في ظل المنافسة مع قطاعات أخرى.

- التكاليف الاستثمارية: تتطلب هذه الأنظمة استثمارات أولية كبيرة في البنية التحتية، والبرمجيات، وتدريب الكوادر، والاستشارات المتخصصة، مما قد يشكل عبئاً مالياً على المنشآت الصحية، خاصة ذات الميزانيات المحدودة.
- إدارة التغيير: ضرورة وجود استراتيجية فعالة لإدارة عملية التحول، تشمل إعادة تصميم العمليات والإجراءات التنظيمية لتتوافق مع المتطلبات الجديدة، والتواصل الفعال مع جميع الأطراف المعنية.
- قياس العائد على الاستثمار (ROI): صعوبة تحديد وقياس العائد المالي المباشر لهذه الاستثمارات بدقة، خاصة في المراحل الأولى من التطبيق، مما قد يؤثر على قرارات الاستثمار المستقبلية.

3. التحديات القانونية والأخلاقية:

يُضاف إلى ما سبق مجموعة من الاعتبارات القانونية والأخلاقية التي لا يمكن تجاهلها:

- خصوصية البيانات: الالتزام الصارم بالتشريعات المتعلقة بحماية خصوصية البيانات الصحية، وضمان عدم استخدام البيانات التي تجمعها الأنظمة إلا للأغراض المحددة، والحصول على الموافقات اللازمة عند الاقتضاء.
- المسؤولية القانونية: تحديد المسؤولية بوضوح في حال وقوع أخطاء أو أضرار ناجمة عن قرارات أو توصيات الأنظمة الذكية (مثل التنبؤات الخاطئة أو الإجراءات غير المناسبة)، وهو أمر لا يزال يكتنفه بعض الغموض القانوني.
- الملكية الفكرية: حماية حقوق الملكية الفكرية المتعلقة بالخوارزميات والنماذج المطورة، سواء كانت مملوكة للمنشأة أو لطرف ثالث.
- الشفافية وقابلية التفسير (Explainability): صعوبة فهم وتفسير آلية عمل بعض نماذج الذكاء الاصطناعي المعقدة (خاصة التعلم العميق)، مما يثير تساؤلات حول شفافية القرارات المتخذة بناءً عليها ومدى إمكانية تبريرها.

- العدالة والإنصاف: ضمان عدم وجود تحيزات (Bias) في البيانات المستخدمة لتدريب النماذج أو في تصميم الخوارزميات نفسها، والتي قد تؤدي إلى نتائج غير عادلة أو تمييزية ضد فئات معينة.

منهجية مقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية

بناءً على مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة، وتحليل تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجال الصيانة، والعوامل الوسيطة المؤثرة على نجاح تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، والتحديات التي تواجه هذا التطبيق، يقترح الباحث منهجية متكاملة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية، تتكون من خمس مراحل رئيسية:

المرحلة الأولى: التقييم والتخطيط

تهدف هذه المرحلة إلى تقييم الوضع الحالي للصيانة في المنشأة الصحية، وتحديد الاحتياجات والأهداف، ووضع خطة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. وتتضمن هذه المرحلة الخطوات التالية:

1. تقييم الوضع الحالي: تقييم استراتيجيات وعمليات الصيانة الحالية، وتحديد نقاط القوة والضعف، وتحديد الفرص والتحديات.
2. تحديد الاحتياجات والأهداف: تحديد احتياجات المنشأة الصحية من أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، وتحديد الأهداف المرجوة من تطبيق هذه الأنظمة، مثل تقليل تكاليف الصيانة، وزيادة توافر المعدات، وتحسين جودة الصيانة.
3. تحديد نطاق التطبيق: تحديد المعدات والأجهزة والأنظمة التي سيتم تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي عليها، وتحديد أولويات التطبيق بناءً على أهمية المعدات وتأثيرها على الخدمات الصحية.

4. تقييم جاهزية المنشأة: تقييم جاهزية المنشأة الصحية لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، من حيث البنية التحتية التكنولوجية، والكفاءات البشرية، والثقافة التنظيمية، وجودة البيانات وتوافرها.

5. وضع خطة التطبيق: وضع خطة شاملة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، تتضمن الأهداف، والنطاق، والجدول الزمني، والميزانية، والموارد اللازمة، ومؤشرات الأداء، وإدارة المخاطر.

المرحلة الثانية: تهيئة البيئة المناسبة

تهدف هذه المرحلة إلى تهيئة البيئة المناسبة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، من خلال توفير البنية التحتية التكنولوجية، وتطوير الكفاءات البشرية، وتحسين جودة البيانات، وتعزيز الثقافة التنظيمية الداعمة. وتتضمن هذه المرحلة الخطوات التالية:

1. توفير البنية التحتية التكنولوجية: توفير البنية التحتية التكنولوجية اللازمة لأنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، مثل أجهزة الحاسوب والخوادم، وشبكات الاتصال، وأنظمة التخزين، وأجهزة الاستشعار وإنترنت الأشياء، وأنظمة إدارة الصيانة المحوسبة.

2. تطوير الكفاءات البشرية: تطوير الكفاءات البشرية اللازمة لتطبيق واستخدام أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، من خلال التدريب والتوظيف، وبناء فرق متعددة التخصصات تجمع بين خبراء الصيانة وخبراء الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات.

3. تحسين جودة البيانات: تحسين جودة البيانات وتوافرها، من خلال توحيد صيغ البيانات، وتكامل مصادر البيانات، وتطبيق ممارسات إدارة البيانات الجيدة، وتوفير أدوات جمع وتنظيف وتحليل البيانات.

4. تعزيز الثقافة التنظيمية الداعمة: تعزيز الثقافة التنظيمية الداعمة للابتكار والتعلم المستمر وتقبل التغيير، من خلال التوعية والتثقيف، وإشراك الموظفين في عملية التغيير، وتوفير الحوافز والمكافآت، وتبني نماذج القيادة الداعمة للابتكار.

5. ضمان دعم الإدارة العليا: ضمان دعم الإدارة العليا لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، من خلال توضيح الفوائد والعائد على الاستثمار، وإشراك الإدارة العليا في عملية التخطيط واتخاذ القرارات، وتوفير الموارد اللازمة.

المرحلة الثالثة: تطوير وتنفيذ النظام

تهدف هذه المرحلة إلى تطوير وتنفيذ أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، من خلال اختيار الحلول المناسبة، وتطوير النماذج والخوارزميات، وتكامل الأنظمة، واختبار النظام، والتنفيذ التدريجي. وتتضمن هذه المرحلة الخطوات التالية:

1. اختيار الحلول المناسبة: اختيار الحلول المناسبة لأنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، سواء كانت حلولاً جاهزة من مزودي الخدمات، أو حلولاً مخصصة يتم تطويرها داخلياً، أو مزيجاً من الاثنين، بناءً على احتياجات وقدرات المنشأة الصحية.

2. تطوير النماذج والخوارزميات: تطوير النماذج والخوارزميات اللازمة لأنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، مثل نماذج التنبؤ بالأعطال، ونماذج تحليل البيانات الضخمة، ونماذج تحسين جدولة أعمال الصيانة، ونماذج تحسين إدارة قطع الغيار والمخزون.

3. تكامل الأنظمة: تكامل أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي مع الأنظمة القائمة، مثل أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة وأنظمة إدارة المستشفيات وأنظمة إدارة المباني، لضمان تدفق البيانات وتبادل المعلومات بين الأنظمة المختلفة.

4. اختبار النظام: اختبار أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي للتأكد من دقتها وفعاليتها وكفاءتها، من خلال اختبار الوحدات، واختبار التكامل، واختبار النظام، واختبار القبول.

5. التنفيذ التدريجي: تنفيذ أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي بشكل تدريجي، بدءاً من مشاريع تجريبية صغيرة، ثم التوسع التدريجي بناءً على نتائج المشاريع التجريبية، لتقليل المخاطر وضمان النجاح.

المرحلة الرابعة: المتابعة والتقييم

تهدف هذه المرحلة إلى متابعة وتقييم أداء أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، وتحديد فرص التحسين، واتخاذ الإجراءات التصحيحية. وتتضمن هذه المرحلة الخطوات التالية:

1. تحديد مؤشرات الأداء: تحديد مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) لقياس أداء أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، مثل معدل توافر المعدات، ومتوسط الوقت بين الأعطال، ومتوسط وقت الإصلاح، وتكاليف الصيانة، وجودة الصيانة، ورضا المستخدمين.

2. جمع وتحليل البيانات: جمع وتحليل البيانات المتعلقة بأداء أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، ومقارنتها بالأهداف والمعايير المحددة، وتحديد الانحرافات والاتجاهات.

3. تقييم الأداء: تقييم أداء أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي بناءً على البيانات والمؤشرات، وتحديد نقاط القوة والضعف، وتحديد فرص التحسين.

4. اتخاذ الإجراءات التصحيحية: اتخاذ الإجراءات التصحيحية لمعالجة المشكلات وتحسين أداء أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، مثل تعديل النماذج والخوارزميات، وتحسين جودة البيانات، وتطوير الكفاءات البشرية، وتعزيز الثقافة التنظيمية.

5. التحسين المستمر: تبني نهج التحسين المستمر لأنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، من خلال التعلم من التجارب والخبرات، وتطبيق أفضل الممارسات، ومواكبة التطورات التكنولوجية.

المرحلة الخامسة: التوسع والتطوير

تهدف هذه المرحلة إلى توسيع نطاق تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، وتطوير قدراتها وإمكانياتها، وتعزيز التكامل مع الأنظمة الأخرى. وتتضمن هذه المرحلة الخطوات التالية:

1. توسيع نطاق التطبيق: توسيع نطاق تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ليشمل المزيد من المعدات والأجهزة والأنظمة، وتوسيع نطاق الوظائف والقدرات، مثل إضافة وظائف التنبؤ بالأعطال، وتحسين جدولة أعمال الصيانة، وتحسين إدارة قطع الغيار والمخزون.
2. تطوير القدرات والإمكانيات: تطوير قدرات وإمكانيات أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، من خلال تطبيق تقنيات متقدمة مثل التعلم العميق والرؤية الحاسوبية ومعالجة اللغة الطبيعية، وتحسين دقة وفعالية النماذج والخوارزميات.
3. تعزيز التكامل مع الأنظمة الأخرى: تعزيز تكامل أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي مع الأنظمة الأخرى، مثل أنظمة إدارة المستشفيات، وأنظمة إدارة المباني، وأنظمة إدارة الموارد البشرية، وأنظمة إدارة المخزون، لتحقيق التكامل والتنسيق بين مختلف الأنظمة والعمليات.
4. تبني التقنيات الناشئة: تبني التقنيات الناشئة في مجال الذكاء الاصطناعي والصيانة، مثل إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT)، والحوسبة السحابية، والحوسبة الطرفية، والواقع المعزز، والتوأمة الرقمي، لتعزيز قدرات وإمكانيات أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.
5. المشاركة في مجتمعات الممارسة: المشاركة في مجتمعات الممارسة والمبادرات والمؤتمرات المتعلقة بالذكاء الاصطناعي والصيانة، لتبادل الخبرات والمعرفة، والتعرف على أفضل الممارسات، ومواكبة التطورات التكنولوجية.

نموذج مقترح لتطبيق الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية

بناءً على المنهجية المقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية، يقترح الباحث نموذجاً متكاملًا لتطبيق الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية.



الشكل رقم 01: نموذج مقترح لتطبيق الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية

يتكون النموذج المقترح من أربعة مكونات رئيسية:

1. المدخلات (Inputs): وتشمل البيانات المتعلقة بالمعدات والأجهزة والبنية التحتية، مثل بيانات أجهزة الاستشعار، وبيانات التشغيل، وبيانات الصيانة السابقة، وبيانات البيئة المحيطة.

2. المعالجة (Processing): وتشمل تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتحليلية، مثل أنظمة التنبؤ بالأعطال، وتحليل البيانات التاريخية للصيانة، ومراقبة حالة المعدات والأجهزة في الوقت الفعلي، وتحسين جدولة أعمال الصيانة،

وتحليل البيانات الضخمة لعمليات الصيانة، وتحسين إدارة قطع الغيار والمخزون، وتحليل تكاليف الصيانة وتحسين الميزانية.

3. المخرجات (Outputs): وتشمل مؤشرات كفاءة الصيانة، مثل معدل توافر المعدات والأجهزة، ومتوسط الوقت بين الأعطال، ومتوسط وقت الإصلاح، وتكاليف الصيانة، وجودة الصيانة، ورضا المستخدمين.

4. العوامل الوسيطة (Mediating Factors): وتشمل العوامل التي تؤثر على العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة، مثل جودة البيانات وتوافرها، والبنية التحتية التكنولوجية، والكفاءات البشرية والتدريب، والثقافة التنظيمية ودعم الإدارة العليا.

5. ويقترح النموذج آلية عمل متكاملة لتطبيق الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة، تبدأ بجمع البيانات من مصادر متعددة، ثم معالجة هذه البيانات باستخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتحليلية، وصولاً إلى تحسين مؤشرات كفاءة الصيانة، مع مراعاة تأثير العوامل الوسيطة على هذه العملية.

فرضيات الدراسة

بناءً على مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة، ونموذج الدراسة المقترح، يمكن صياغة الفرضيات التالية:

1. الفرضية الأولى: توجد علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ومؤشرات كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية.

2. الفرضية الثانية: تؤثر جودة البيانات وتوافرها بشكل إيجابي على العلاقة بين تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ومؤشرات كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية.

3. الفرضية الثالثة: تؤثر البنية التحتية التكنولوجية بشكل إيجابي على العلاقة بين تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ومؤشرات كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية.
4. الفرضية الرابعة: تؤثر الكفاءات البشرية والتدريب بشكل إيجابي على العلاقة بين تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ومؤشرات كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية.
5. الفرضية الخامسة: تؤثر الثقافة التنظيمية ودعم الإدارة العليا بشكل إيجابي على العلاقة بين تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ومؤشرات كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية.

النتائج

- من خلال مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة، وتحليل تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجال الصيانة، والعوامل الوسيطة المؤثرة على نجاح تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، والتحديات التي تواجه هذا التطبيق، توصلت الدراسة إلى النتائج التالية:
1. تسهم أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي بشكل كبير في تحسين كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية، من خلال التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، وتحسين جدولة أعمال الصيانة، وتحليل البيانات الضخمة لعمليات الصيانة، وتحسين إدارة قطع الغيار والمخزون، وتحليل تكاليف الصيانة وتحسين الميزانية.
 2. تؤثر العوامل الوسيطة مثل جودة البيانات وتوافرها، والبنية التحتية التكنولوجية، والكفاءات البشرية والتدريب، والثقافة التنظيمية ودعم الإدارة العليا، بشكل كبير على نجاح تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.
 3. تواجه المنشآت الصحية العديد من التحديات عند تطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، منها التحديات التقنية مثل تكامل الأنظمة وجودة البيانات وأمن البيانات، والتحديات التنظيمية مثل مقاومة التغيير ونقص الكفاءات

والتكاليف المرتفعة، والتحديات القانونية والأخلاقية مثل خصوصية البيانات والمسؤولية القانونية والشفافية والتفسير.

4. يمكن تطوير منهجية متكاملة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية، تتكون من خمس مراحل رئيسية: التقييم والتخطيط، وتهيئة البيئة المناسبة، وتطوير وتنفيذ النظام، والمتابعة والتقييم، والتوسع والتطوير.

5. يمكن تطوير نموذج متكامل لتطبيق الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية، يتكون من أربعة مكونات رئيسية: المدخلات، والمعالجة، والمخرجات، والعوامل الوسيطة.

التوصيات

بناءً على نتائج الدراسة، يقدم الباحث التوصيات التالية:

توصيات للمنشآت الصحية

1. تبني المنهجية المقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، والتي تتكون من خمس مراحل رئيسية: التقييم والتخطيط، وتهيئة البيئة المناسبة، وتطوير وتنفيذ النظام، والمتابعة والتقييم، والتوسع والتطوير.

2. الاستثمار في البنية التحتية التكنولوجية اللازمة لأنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، مثل أجهزة الاستشعار وإنترنت الأشياء وأنظمة التخزين والمعالجة.

3. تحسين جودة البيانات وتوافرها، من خلال توحيد صيغ البيانات، وتكامل مصادر البيانات، وتطبيق ممارسات إدارة البيانات الجيدة.

4. تطوير الكفاءات البشرية من خلال التدريب والتوظيف، وبناء فرق متعددة التخصصات تجمع بين خبراء الصيانة وخبراء الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات.

5. تعزيز الثقافة التنظيمية الداعمة للابتكار والتعلم المستمر، وضمان دعم الإدارة العليا لمبادرات الذكاء الاصطناعي.

6. البدء بمشاريع تجريبية صغيرة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، وتقييم نتائجها قبل التوسع في التطبيق.
7. التعاون مع الشركات المتخصصة في مجال الذكاء الاصطناعي والصيانة، للاستفادة من خبراتها وتقنياتها.

توصيات للباحثين

1. إجراء دراسات تجريبية لقياس تأثير أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي على مؤشرات كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية.
2. دراسة تأثير العوامل الوسيطة على العلاقة بين أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة، وتحديد أهمية كل عامل.
3. تطوير نماذج وأطر عمل لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، تناسب خصوصية المنشآت الصحية.
4. دراسة التحديات القانونية والأخلاقية لأنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية، واقتراح حلول لها.
5. تطوير مقاييس وأدوات لتقييم جاهزية المنشآت الصحية لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

الدراسات المستقبلية المقترحة

1. دراسة تجريبية لقياس تأثير أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي على مؤشرات كفاءة الصيانة في المنشآت الصحية السعودية.
2. دراسة مقارنة بين المنشآت الصحية التي تطبق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي والمنشآت التي تعتمد على الأساليب التقليدية.
3. دراسة تأثير العوامل الوسيطة على العلاقة بين أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة، وتحديد الأهمية النسبية لكل عامل.

4. دراسة التحديات القانونية والأخلاقية لأنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية، واقتراح إطار تنظيمي لها.
5. تطوير نموذج لقياس جاهزية المنشآت الصحية لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

الخاتمة

تناولت هذه الدراسة بالتحليل المعمق قضية حيوية تتمثل في كيفية الاستفادة من الإمكانيات الهائلة للذكاء الاصطناعي لتطوير ممارسات الصيانة في المنشآت الصحية، وذلك في محاولة لتجاوز قصور المقاربات التقليدية ومواجهة التحديات المتزايدة في هذا القطاع. وقد سعت الدراسة إلى بلورة منهجية مقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، مع تسليط الضوء على الفرص الواعدة والتحديات المحتملة التي تكتنف هذا التحول، وقد خلصت الدراسة إلى أن التحول نحو الصيانة الذكية، سواء التنبؤية منها أو التحليلية، لم يعد ترفاً فكرياً بل ضرورة استراتيجية للمنشآت الصحية الساعية لتعزيز كفاءتها التشغيلية، وترشيد نفقاتها، وضمان استمرارية خدماتها الحيوية بأعلى معايير الجودة والسلامة. وتم استعراض أبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي القابلة للتطبيق في هذا المجال، كال تعلم الآلي والتعلم العميق ومعالجة اللغات الطبيعية والرؤية الحاسوبية، مع بيان الفروقات الجوهرية بين المقاربات الذكية والتقليدية للصيانة، كما أكدت الدراسة على أن نجاح تطبيق هذه الأنظمة لا يتوقف فقط على التطور التقني، بل يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمجموعة من العوامل الوسيطة الحاسمة، تشمل جودة البيانات المتاحة وجاهزية البنية التحتية التكنولوجية، بالإضافة إلى تأهيل الكوادر البشرية ووجود ثقافة تنظيمية داعمة للتغيير والابتكار. وقد تم تحديد أبرز التحديات التي قد تعترض هذا المسار، سواء كانت تقنية تتعلق بتكامل الأنظمة وأمن البيانات، أو تنظيمية ترتبط بإدارة التغيير ومقاومته، أو قانونية وأخلاقية تتعلق بالخصوصية والمسؤولية.

قائمة المراجع:

المراجع العربية

1. البشائر, س. (2024). دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة الإنفاق في مرافق المنظمات التعليمية (دراسة نوعية). Preprint. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/378992817_dwr_aldhka_alastnay_fy_tzyz_kfat_alanfaq_fy_mrafq_almnzmast_altlymyt_drast_nwyt
2. البورومبالي, ح. (2023). الصيانة الشاملة. غير متوفر مصدر أكاديمي موثوق، يبدو أنه محتوى عام أو كتاب غير منشور أكاديمياً.
3. عليوي, م. ق. (2023، 10 أغسطس). الذكاء الاصطناعي: تطوره.. تطبيقاته.. تحدياته. مركز الجزيرة للدراسات. <https://studies.aljazeera.net/ar/article/5613>
4. مرهج, ش. (2010). تقييم إدارة صيانة أبنية مستشفيات في محافظة بابل. رسالة ماجستير غير منشورة. جامعة بابل. لم يتم العثور على رابط وصول مباشر، قد تكون متاحة في مستودع الجامعة.

المراجع الإنجليزية

1. Aguacil Moreno, S., Loup, M., Lebre, M., Deschamps, L., Bacher, J. P., & Duque Mahecha, S. (2024). Virtual tours as effective complement to building information models in computer-aided facility management using Internet of Things. *Journal of Building Engineering*, 83, 108401. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108401>
2. Ehab, A., Mahdi, M. A., & El-Helloty, A. (2024). BIM maintenance system with IoT integration: Enhancing building performance and facility management. *Civil Engineering Journal*, 10(6), 15. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-06-015>
3. Surucu, O., Gadsden, S. A., & Yawney, J. (2023). Condition Monitoring using Machine Learning: A Review of Theory, Applications, and Recent Advances. *Expert Systems with Applications*, 229, 119738. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119738>
4. Jeyaswamidoss, J. E., & Azariya, D. S. (2024, April). Deep Learning-based Predictive Maintenance for Industrial IoT Applications. In *2024 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)* (pp. 1019-1024). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICT60155.2024.10544377>
5. Lee, W. J., Han, H., Park, J., & Sutherland, J. W. (2019). Predictive Maintenance of Machine Tool Systems Using Artificial Intelligence Techniques Applied to Machine Condition Data. *Procedia CIRP*, 86, 301-306. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.042>

6. LK, M. (2024). AI-Driven Predictive Maintenance in Asset Management. ResearchGate. Preprint. https://www.researchgate.net/publication/387070341_AI-Driven_Predictive_Maintenance_in_Asset_Management
7. Mgbemena, C. E., & Okeagu, F. N. (2023). Development of an IoT-based real-time remote monitoring device for the maintenance of injection moulding machines in plastic industries. UNIZIK Journal of Engineering and Applied Sciences, 2(1), 260-278. <https://journals.unizik.edu.ng/ujeas/article/view/2212>