

جامعة ميدأوشن

كلية الإدارة

أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية على كفاءة صيانة المباني الطبية: دراسة
على مستشفيات السعودية مع الدور الوسيط لجودة البيانات

إعداد:

فيصل محمد البازعي

المملكة العربية السعودية

رسالة مقدمة لجامعة ميدأوشن لاستكمال متطلبات نيل درجة الدكتوراة

في

الإدارة

1448هـ / 2027م

فيصل محمد البازعي

1447هـ / 2025م



Midocean University

College of Management

**The Impact of Analytical and Predictive Artificial
Intelligence Applications on Medical Building
Maintenance Efficiency: A Study on Saudi Hospitals with
the Mediating Role of Data Quality"**

By:

FAISAL MOHAMMED AL BAZIE

Kingdom of Saudi Arabia

**Submitted to Midocean University in partial fulfillment of the requirements for the
degree of Doctor of Philosophy
in**

Administration

2027 / 1448

Faisal Mohammed Al-Bazie

2025 / 1447

الفصل الأول

الاطار المنهجي للدراس

- المقدمة
- مشكلة الدراسة
- تساؤلات الدراسة
- أهمية الدراسة
- أهداف الدراسة
- فروض الدراسة
- مفاهيم الدراسة
- حدود الدراسة
- إجراءات ومنهجية الدراسة
- نموذج الدراسة

الفصل الأول: الاطار المنهجي للدراسة

المقدمة

تعد المباني الطبية من المرافق الأساسية المهمة في أي دولة نظرا لطبيعة عملها في استقبال العديد من الحالات المرضية يوميا، حيث أصبحت المباني الطبية اليوم أكثر تعقيدا في مكوناتها وتجهيزاتها وانظمتها المتكاملة التي تقدم كمية هائلة من المعلومات والبيانات التي تتطلب تحسين في عملية جمعها وإدارتها لمواجهة التحديات المتزايدة المرتبطة بتنظيم أعمال الصيانة لهذه المباني والوصول إلى صيانة مخططة ومبرمجة تضمن استمرار عمل المرافق وتقديم الخدمات الصحية فيها بجودة عالية.

لذا فإن ضمان استمرار تقديم الخدمات وعمل المرافق في المباني الطبية بكفاءة تشغيلية وجودة عالية يتطلب التحكم في التوقفات الغير مخطط لها ومعدل استجابة فرق الصيانة والتقليل تكاليف الصيانة التصحيحية وهذا لن يتم الا من خلال الاستفادة من التحولات الرقمية المتسارعة التي يشهدها العالم، والتي برز الذكاء الاصطناعي (AI) كأحد الركائز الأساسية في تطوير الأنظمة من خلال العديد من التطبيقات وتحديداً، تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتحليلية التي أصبحت أدوات استراتيجية في دعم اتخاذ القرار، من خلال قدرتها على تحليل كميات ضخمة من البيانات، واستخلاص الأنماط، والتنبؤ بالأحداث المستقبلية بدقة وفعالية، ولقد قامت عدت دراسات هدفها دراسة أثر استخدام الذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة الصيانة منها الدراسة الذي قام بها (Almairan, 2024) التي تبحث في الآثار المهمة لتقنية الذكاء الاصطناعي (AI) على تحسين دقة الصيانة التنبؤية وأدائها وسلطت هذه الدراسة الضوء على الدور الحاسم الذي يلعبه الذكاء الاصطناعي (AI) في صياغة خطط الصيانة مستقبلاً، كما أظهرت كيف يتمتع الذكاء الاصطناعي بالقدرة على تغيير أساليب الصيانة من تفاعلية إلى استباقية، مع تحسين كفاءة وقت التوقف ومن جانب آخر ناقشت الدراسة الصعوبات المتعلقة بمشاكل جودة البيانات (Almairan, 2024).

أما بالنسبة لتغلب على التحديات التي تواجه إدارة الصيانة لتعزيز كفاءتها وتمثل بنقص المعلومات وحجم البيانات المخزنة في الأنظمة و مؤهلات العاملين للتعامل مع هذه البيانات فقد تناولها الباحثان مينا السادات ومحمد لطفي (Oroojee & Latifi, 2021) في بحثهم مراجعة لتضمين الذكاء الاصطناعي في إنترنت الأشياء ونمذجة معلومات البناء لإدارة صيانة مرافق الرعاية الصحية وكان من ضمن الدراسات التي تم مراجعتها دراسة تشنغ وآخرون (Cheng et al, 2020) في إطار عمل للصيانة التنبؤية قائم على البيانات والذي يعتمد على إنترنت الأشياء وخوارزميات التعلم الآلي ونمذجة معلومات المباني، وذكروا أنه ينبغي تطوير إطار عمل لتخطيط الصيانة التنبؤية القائم على البيانات والذي يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء ونمذجة

معلومات المباني للإدارة المالية والذي يتكون من طبقات التطبيق والمعلومات من أجل توفير استراتيجية صيانة أفضل لمرافق المباني (Cheng, Chen, Chen, & Wang, 2020).

وفي هذا السياق، تبرز جودة البيانات كعامل حاسم في نجاح هذه التطبيقات فالنماذج التنبؤية والتحليلية تعتمد بشكل جوهري على دقة واكتمال واتساق البيانات المدخلة. ولذلك تأتي هذه الدراسة لتبسيط الضوء على مدى تأثير تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتحليلية على كفاءة صيانة المباني الطبية، مع التركيز على جودة البيانات فيما يتعلق بالتوقعات الغير مخطط لها وارتفاع تكاليف الصيانة التصحيحية ومعدل استجابة فرق الصيانة والوقت التشغيلي للمعدات ، وتسهم في سد الفجوة البحثية في دراسة أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتحليلية على كفاءة الصيانة في المباني الطبية، خاصة في البيئة السعودية. كما توفر نتائجها رؤى قيمة للمسؤولين في القطاع الصحي وشركات الصيانة، مما يمكنهم من اتخاذ قرارات مستنيرة تعزز من كفاءة العمليات وجودة الخدمات المقدمة.

مشكلة الدراسة

تعد صيانة المباني الطبية ركيزة أساسية لضمان استمرارية وكفاءة الخدمات الصحية، حيث تؤثر بشكل مباشر على سلامة المرضى، جودة الرعاية، وفعالية التكاليف التشغيلية للمنشآت الصحية (Kinnear, 2025). في ظل التطورات المتسارعة في مجال الذكاء الاصطناعي (AI)، برزت تطبيقاته التحليلية والتنبؤية كأدوات واعدة لإحداث نقلة نوعية في إدارة الصيانة، من خلال تمكين التنبؤ بالأعطال المحتملة، وتحسين جداول الصيانة الوقائية، وتقليل التوقفات غير المخطط لها للمعدات والأنظمة الحيوية (Jackley, 2024). ومع ذلك، فإن تحقيق الاستفادة القصوى من هذه التقنيات في سياق المباني الطبية، وخاصة في بيئة المستشفيات السعودية، لا يزال يواجه تحديات جوهرية تستدعي البحث والتحليل.

وعلى الرغم من الاهتمام المتزايد بتوظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق، إلا أن هناك فجوة معرفية واضحة تتعلق بالفهم الشامل والدقيق للتأثير المباشر وغير المباشر لتطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية على مؤشرات الأداء الرئيسية لكفاءة الصيانة في المباني الطبية، فالدراسات المتاحة غالباً ما تركز على الجوانب التقنية للذكاء الاصطناعي أو تطبيقاته في قطاعات صناعية مختلفة، دون التعمق الكافي في خصوصية البيئة الطبية ومتطلباتها الفريدة من حيث الحساسية التشغيلية ومعايير السلامة الصارمة (Petersson et al., 2022). كما أن هناك نقصاً في الدراسات التي تستكشف بعمق كيفية تأثير جودة البيانات كمتغير وسيط على العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة في هذا السياق الحيوي، مما يترك

تساؤلات حول الآليات التي يمكن من خلالها للبيانات غير الدقيقة أو غير المكتملة أن تعيق فعالية هذه التطبيقات (Lawrence, 2024).

وتتجلى الفجوة الأدبية في محدودية الأبحاث التي تجمع بين جميع المتغيرات محل الدراسة في إطار تحليلي متكامل، فبينما توجد دراسات تناول الذكاء الاصطناعي في الصيانة بشكل عام (Oye et al., 2024)، وأخرى تركز على صيانة المباني الطبية (Yousefli et al., 2017)، إلا أن هناك ندرة ملحوظة في الدراسات التي تستكشف الأثر المشترك لتطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية على أبعاد محددة لكفاءة الصيانة (مثل التوقفات غير المخطط لها، تكاليف الصيانة التصحيحية، معدل استجابة فرق الصيانة، والعمر التشغيلي للمعدات) ضمن المباني الطبية في المستشفيات والأهم من ذلك، تفتقر الأدبيات إلى دراسات تطبيقية كافية تركز على السياق الجغرافي للمستشفيات السعودية، مما يحد من إمكانية تعميم النتائج المستخلصة من بيئات أخرى، ويبرز الحاجة إلى بحث يعالج التحديات والفرص المحلية الفريدة (Brown & Davis, 2025).

أما على الصعيد العملي، فتظهر الفجوة التطبيقية في التحديات التي يواجهها مدراء المرافق ومهندسو الصيانة في المستشفيات السعودية عند محاولة تبني وتطبيق حلول الذكاء الاصطناعي فبالرغم من الإمكانيات النظرية الكبيرة للذكاء الاصطناعي في تحسين الصيانة، إلا أن الواقع يشير إلى وجود عوائق عملية تحول دون تحقيق هذه الإمكانيات، مثل نقص البيانات عالية الجودة، وعدم وجود بنية تحتية متكاملة لجمع البيانات وتحليلها، ومحدودية المهارات البشرية اللازمة لتطوير وتطبيق وتحليل مخرجات نماذج الذكاء الاصطناعي (Kunchev, 2024). هذه الفجوة بين المعرفة النظرية والتطبيق الفعلي تؤدي إلى عدم الاستفادة المثلى من الاستثمارات في تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتعيق تحقيق التحسينات المرجوة في كفاءة الصيانة.

وبناءً على ما سبق، تبرز الحاجة الملحة لإجراء دراسة معمقة تسد هذه الفجوات المعرفية والأدبية والتطبيقية، وتوفر فهماً شاملاً لأثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية على كفاءة صيانة المباني الطبية في المستشفيات السعودية، مع إيلاء اهتمام خاص للدور الوسيط لجودة البيانات. وعليه، تسعى هذه الدراسة للإجابة على السؤال الرئيسي التالي:

ما أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية على كفاءة الصيانة في المباني الطبية في المستشفيات السعودية، مع الأخذ في الاعتبار الدور الوسيط لجودة البيانات؟

ويتفرع من هذا السؤال الرئيسي التساؤلات الفرعية التالية:

1. إلى أي مدى تؤثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية على التوقعات غير المخطط لها في المباني الطبية بالمستشفيات

السعودية؟

2. إلى أي مدى تؤثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية على تكاليف الصيانة التصحيحية في المباني الطبية بالمستشفيات

السعودية؟

3. إلى أي مدى تؤثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية على معدل استجابة فرق الصيانة في المباني الطبية بالمستشفيات

السعودية؟

4. إلى أي مدى تؤثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية على العمر التشغيلي للمعدات في المباني الطبية بالمستشفيات

السعودية؟

5. إلى أي مدى تؤثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية على التوقعات غير المخطط لها في المباني الطبية بالمستشفيات

السعودية؟

6. إلى أي مدى تؤثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية على تكاليف الصيانة التصحيحية في المباني الطبية بالمستشفيات

السعودية؟

7. إلى أي مدى تؤثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية على معدل استجابة فرق الصيانة في المباني الطبية بالمستشفيات

السعودية؟

8. إلى أي مدى تؤثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية على العمر التشغيلي للمعدات في المباني الطبية بالمستشفيات السعودية؟

9. ما الدور الوسيط الذي تلعبه جودة البيانات في العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية وكفاءة صيانة المباني

الطبية في المستشفيات السعودية؟

10. ما الدور الوسيط الذي تلعبه جودة البيانات في العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية وكفاءة صيانة المباني الطبية

في المستشفيات السعودية؟

أهمية الدراسة

ترتبط أهمية هذه الدراسة نتيجة للتطور المتسارع في التكنولوجيا وأدوات الذكاء الاصطناعي وللاهتمام المتزايد من قبل العديد من المنشآت الطبية في المملكة العربية السعودية في اعتمادها منهج الصيانة التنبؤية والتحليلية بالاستفادة من تطبيقات الذكاء الاصطناعي بسبب المؤشرات الكبيرة التي تحققها في تلك المنشآت منها خفض تكاليف الصيانة وتقليل وقت التوقف، وتتفرع أهمية الدراسة الى:

1. الأهمية النظرية:

على الرغم من وجود العديد من الأبحاث والدراسات التي تناولت موضوع الصيانة التنبؤية والتحليلية في المرافق الصناعية والمباني الطبية الا انها لم تتناول بشكل دقيق اثر استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة التنبؤية والتحليلية خاصة في البيئة السعودية. لذلك، تسهم هذه الدراسة في تعزيز الفهم النظري لدور الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة إدارة الصيانة، خاصة في المباني الطبية، تسد الفجوة البحثية المهمة من خلال استكشاف أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة في هذا النوع من المباني. (West et al. (2024,

بالإضافة إلى ذلك، تسهم هذه الدراسة في تعزيز النظريات المتعلقة بإدارة الصيانة الحديثة، مثل الصيانة التنبؤية والصيانة الوقائية من خلال تقديم أدلة تجريبية على فعالية الذكاء الاصطناعي في تحسين هذه العمليات، كما تسهم في توسيع نطاق نظريات الذكاء الاصطناعي من خلال تطبيقها في مجال إدارة الصيانة في المباني الطبية، مما يفتح آفاقاً جديدة للبحث في هذا المجال (إلبورومبالي، 2023).

وتقدم هذه الدراسة إطاراً نظرياً متكاملاً يوضح العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي وكفاءة صيانة المباني، مع الأخذ في الاعتبار الدور الوسيطة لجودة البيانات، مما يسهم في تطوير النماذج النظرية في هذا المجال (Exactcomms, 2025).

2. الأهمية التطبيقية:

على المستوى التطبيقي، ستساهم هذه الدراسة على تقديم إجابات عملية واضحة حول تأثير تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتحليلية على كفاءة الصيانة في المباني الطبية مع توضيح أهمية الدور الكبير الذي البيانات

كعامل وسيط في تحسين الكفاءة وتقليل وقت التوقف هذا سينعكس من خلال تقديم رؤى قيمة للمسؤولين في القطاع الصحي وشركات الصيانة، مما يمكنهم من اتخاذ قرارات مستنيرة تعزز من كفاءة العمليات وجودة الخدمات المقدمة. حيث ستساعد نتائج هذه الدراسة على توضيح قدرة تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتحليلية على تقليل وقت التوقف الناتج عن الأعطال المفاجئة في البنى التحتية للمباني الطبية مما يساعد المستشفيات على تحسين الخطط تشغيلية وتجنب تعطيل الخدمات الحيوية بالإضافة الى ذلك، ستساهم هذه الدراسة بالتحقق من إمكانية خفض النفقات الناتجة عن الإصلاحات الطارئة من خلال استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتحليلية مما يساعد المؤسسات والمباني الطبية في تخصيص الموارد المالية بكفاءة أكبر. كما يمكن أن توفر رؤى حول التحديات التي قد تواجه تطبيق هذه التقنيات، مثل نقص الخبرة الفنية، وارتفاع التكاليف الأولية، ومقاومة التغيير من قبل العاملين (James, 2025).

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تسهم نتائج الدراسة في تحسين كفاءة إدارة الصيانة التنبؤية والتحليلية في المباني الطبية من خلال تقليل التكاليف، وتحسين وقت الاستجابة، وزيادة عمر الأصول. هذا يمكن أن يؤدي إلى تحسين جودة الخدمات الصحية المقدمة، وتقليل وقت التوقف عن العمل، وزيادة رضا المرضى والعاملين في القطاع الصحي.

أهداف الدراسة:

الاهداف الرئيسية للدراسة تتمثل بالاتي:

الهدف الرئيسي الأول:

- دراسة أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية على كفاءة الصيانة في المباني الطبية.

ويتفرع من الاهداف الفرعية التالية:

1. دراسة أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية في تقليل التوقفات غير المخطط لها.

2. قياس أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية على تكاليف الصيانة التصحيحية.

3. تحليل أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية على معدل استجابة فرق الصيانة.

4. تقييم أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية على العمر التشغيلي للمعدات.

5. التعرف على أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية على التوقفات غير المخطط لها.

6. دراسة أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية على تكاليف الصيانة التصحيحية.

7. تحليل أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية على معدل استجابة فرق الصيانة.

8. تقييم أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية على العمر التشغيلي للمعدات.

الهدف الرئيسي الثاني:

- اختبار الدور الوسيط لجودة البيانات في العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة.

ويتفرع منه الأهداف الفرعية التالية:

1. اختبار الدور الوسيط لجودة البيانات في العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية وكفاءة الصيانة.

2. اختبار الدور الوسيط لجودة البيانات في العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية وكفاءة الصيانة.

فرضيات الدراسة:

الفرضية الرئيسية الاولى:

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي (التحليلية والتنبؤية) وكفاءة الصيانة.

ويتفرع منه الفرضيات الفرعية التالية:

H1.1: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتوقفات غير المخطط لها.

H1.2: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية وتكاليف الصيانة التصحيحية.

H1.3: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية ومعدل استجابة فرق الصيانة.

H1.4: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والعمر التشغيلي للمعدات.

H1.5: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والتوقعات غير المخطط لها.

H1.6: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية وتكاليف الصيانة التصحيحية.

H1.7: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية ومعدل استجابة فرق الصيانة.

H1.8: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية والعمر التشغيلي للمعدات.

الفرضية الرئيسية الثانية

يوجد تأثير وسيط لجودة البيانات في العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي (التحليلية والتنبؤية) وكفاءة الصيانة.

ويتفرع منه الفرضيات الفرعية التالية:

الفرضيات الفرعية:

H2.1: جودة البيانات تتوسط العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية وكفاءة الصيانة.

H2.2: جودة البيانات تتوسط العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي التنبؤية وكفاءة الصيانة.

مفاهيم الدراسة:

تتناول هذه الدراسة المصطلحات الأساسية المرتبطة بمتغيرات الدراسة، بحيث يتم تعريف المصطلحات وتوضيحها، وتشمل:

أولاً: المفاهيم الاصطلاحية

1. الذكاء الاصطناعي التحليلي:

عرف (Asare et al (2024) الذكاء الاصطناعي التحليلي بأنه الأساليب المتقدمة للذكاء الاصطناعي التي

تستخدم لتحليل كميات هائلة من البيانات التشغيلية للمباني، مثل بيانات أجهزة الاستشعار وأنظمة إدارة المباني، لتحديد

الأنماط، والكشف عن الحالات الشاذة، وتحسين الأداء العام للمبنى، بما في ذلك أنظمة الصيانة (Asare et al., 2024).

2. الذكاء الاصطناعي التنبؤي:

عرف (Abdelalim et al (2025) الذكاء الاصطناعي التنبؤي بأنه القدرة على تحليل البيانات في الوقت الفعلي من أجهزة الاستشعار و نمذجة معلومات البناء للتنبؤ بالأعطال المحتملة للمعدات والأنظمة، مما يتيح الانتقال من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة الاستباقية، وبالتالي تقليل التكاليف وتحسين الكفاءة التشغيلية للمرافق (Abdelalim et al., 2025).

3. كفاءة الصيانة:

عرف (Zhou et al (2024) كفاءة الصيانة بأنها القدرة على تقليل تكرار ومدة الأعطال غير المتوقعة للمعدات الحيوية، مثل أجهزة التصوير المقطعي، وتحسين عملية اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة، مما يساهم في توفير رعاية صحية عالية الجودة وفي الوقت المناسب (Zhou et al., 2024).

4. المباني الطبية (Medical Buildings):

عرف (Wong et al (2021) المباني الطبية في سياق الصيانة بأنها المنشآت التي تؤدي وظائف أساسية تتعلق بحياة الإنسان وصحته ورفاهيته، وتعتبر صيانتها تحديًا نظرًا لأنظمتها الهندسية المعقدة، وتخضع لمعايير عالية ولوائح صارمة لضمان بيئة آمنة وفعالة لتقديم الرعاية الصحية (Wong et al., 2021).

5. جودة البيانات:

عرف (Madnick et al (2023) جودة البيانات بأنها مدى ملاءمة البيانات للاستخدام المقصود، وتتضمن خصائص مثل الدقة، الاكتمال، الاتساق، التوقيت، والصلاحية (Madnick et al., 2023)، كما يشير (2024) Precisely إلى أن البيانات عالية الجودة ضرورية لضمان موثوقية التحليلات والتنبؤات التي تعتمد عليها أنظمة الذكاء الاصطناعي، وتعد عنصرًا حاسمًا في اتخاذ القرارات الفعالة (Precisely, 2024).

ثانياً: المفاهيم الإجرائية

1. الذكاء الاصطناعي التحليلي:

يُقصد به إجرائياً في هذه الدراسة مدى استخدام المستشفيات الحكومية في الرياض لأنظمة برمجية تعتمد على خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات التشغيلية للمباني الطبية (مثل بيانات أجهزة الاستشعار، أنظمة إدارة المباني، سجلات الصيانة التاريخية للمرافق والأنظمة الإنشائية والميكانيكية والكهربائية) بهدف تحديد الأنماط، والكشف عن الحالات الشاذة، وتحسين الأداء العام للمبنى، بما في ذلك أنظمة الصيانة، ويتم قياسه من خلال استبيان يحدد أنواع أدوات التحليل المستخدمة ، وتكرار استخدامها ومدى الاعتماد عليها في اتخاذ قرارات صيانة المباني.

2. الذكاء الاصطناعي التنبؤي:

يُقصد به إجرائياً في هذه الدراسة مدى استخدام المستشفيات الحكومية في الرياض لأنظمة برمجية تعتمد على نماذج تنبؤية (مثل تحليل السلاسل الزمنية، الشبكات العصبية، الانحدار اللوجستي) للتنبؤ بالأعطال المستقبلية للمرافق والأنظمة الإنشائية والميكانيكية والكهربائية في المباني الطبية، وتحديد العمر المتبقي للأصول، والتنبؤ باحتياجات الصيانة وقطع الغيار ويتم قياسه من خلال استبيان يحدد أنواع النماذج التنبؤية المطبقة ، ومصادر البيانات المستخدمة للتنبؤ ، ومدى دقة التنبؤات المحققة.

3. كفاءة الصيانة:

تُقصد إجرائياً في هذه الدراسة بأنها مستوى الأداء المحقق في عمليات صيانة المباني والمعدات الطبية في المستشفيات الحكومية بالرياض، ويتم قياسها من خلال أربعة أبعاد رئيسية وهي:

أ. التوقفات غير المخطط لها: تُقاس بمدى تكرار ومدة التوقفات المفاجئة للأنظمة الحيوية والمعدات في المباني الطبية

(مثل أنظمة التكييف، أنظمة الكهرباء، المصاعد، أجهزة التصوير الطبي)، والتي تعطل سير العمليات التشغيلية وتقديم

الرعاية الصحية.

ب. تكاليف الصيانة التصحيحية : تُقاس بمدى ارتفاع التكاليف المالية المتكبدة لإصلاح الأعطال التي تحدث بشكل مفاجئ وغير متوقع في المباني والمعدات الطبية (مثل تكاليف قطع الغيار الطارئة، أجور العمالة الإضافية، تكاليف الاستعانة بمصادر خارجية لإصلاح أعطال المباني).

ج. معدل استجابة فرق الصيانة: يُقاس بمدى سرعة استجابة فرق الصيانة للأعطال المبلغ عنها في المباني والمعدات الطبية وبدء العمل على الإصلاح، ومدى كفاءة التنسيق بين الفرق المختلفة.

د. العمر التشغيلي للمرافق والمعدات: يُقاس بمدى قدرة الأنظمة الرئيسية في المباني الطبية والمعدات على العمل بكفاءة لفترة أطول من عمرها الافتراضي المتوقع، ومدى تحسن أدائها التشغيلي.

4. المباني الطبية:

يُقصد بها إجرائياً في هذه الدراسة جميع المنشآت والمرافق التابعة للمستشفيات الحكومية في الرياض، والتي تشمل المباني نفسها (مثل الأقسام، الغرف، الممرات، أنظمة التكييف والتهوية، أنظمة الإضاءة، أنظمة السلامة من الحريق، أنظمة إمدادات المياه والكهرباء) بالإضافة إلى المعدات الموجودة داخل هذه المباني والتي تتطلب صيانة دورية.

5. جودة البيانات:

يُقصد بها إجرائياً في هذه الدراسة بأنها مستوى جودة البيانات المستخدمة في أنظمة الصيانة بالذكاء الاصطناعي في المستشفيات الحكومية بالرياض، ويتم قياسها من خلال تقييم خصائص البيانات المستخدمة في أنظمة الصيانة مع التركيز على الأبعاد التالية:

أ. الدقة : مدى خلو البيانات من الأخطاء والتناقضات. يتم قياسها بعبارات مثل: البيانات التي نجمعها عن الصيانة دقيقة وخالية من الأخطاء، نتحقق بانتظام من دقة البيانات المدخلة في النظام، البيانات المستخدمة في اتخاذ قرارات الصيانة موثوقة ودقيقة.

ب. الاكتمال : مدى توفر جميع البيانات المطلوبة دون نقص. يتم قياسها بعبارات مثل: جميع البيانات اللازمة لعمليات الصيانة متوفرة وكاملة، لا نواجه مشكلة في نقص البيانات المطلوبة للتحليل، تتوفر لدينا بيانات شاملة عن جميع المعدات والأنظمة.

ج. الاتساق: مدى تطابق البيانات عبر الأنظمة المختلفة وفي أوقات مختلفة. يتم قياسها بعبارات مثل: تتطابق بيانات الصيانة عبر جميع الأنظمة المستخدمة، البيانات متسقة ولا تتضارب مع بعضها البعض، يوجد توحيد في طريقة جمع وتسجيل البيانات.

د. التوقيت: مدى حداثة البيانات وتوفرها في الوقت المناسب للاستخدام. يتم قياسها بعبارات مثل: يتم تحديث بيانات الصيانة بشكل فوري ومستمر، البيانات متاحة في الوقت المناسب لاتخاذ القرارات، نحصل على البيانات المطلوبة دون تأخير.

هـ. الصلاحية: مدى توافق البيانات مع القواعد والقيود المحددة. يتم قياسها بعبارات مثل: تتوافق بيانات الصيانة مع المعايير والقواعد المحددة، البيانات المجمعة تلي متطلبات الجودة المطلوبة، يتم التحقق من صحة البيانات قبل استخدامها في النظام.

حدود الدراسة:

الحدود المكانية والزمانية

تقتصر هذه الدراسة على المستشفيات الحكومية التابعة لوزارة الصحة في مدينة الرياض بالمملكة العربية السعودية وتم اختيار المستشفيات الحكومية لضمان تجانس بيئة الدراسة من حيث السياسات والإجراءات، ولتجنب التعقيدات التي قد تنشأ عن الاختلافات في الهياكل الإدارية والتشغيلية بين القطاعين الحكومي والخاص، حيث أن هذا التركيز يضمن عمق التحليل وعدم تشتيت الجهود البحثية في مقارنات قد لا تخدم الأهداف الرئيسية للدراسة، كما أن التركيز على مدينة الرياض يعود إلى كونها العاصمة وأكبر المدن في المملكة، وتحتضن عدداً كبيراً من المستشفيات الحكومية التي تخدم شريحة واسعة من السكان، مما يوفر قاعدة بيانات غنية وممثلة للظاهرة المدروسة.

أما الحدود الزمانية للدراسة، فشملت الفترة من مارس 2025 إلى ديسمبر 2026، وذلك لضمان جمع بيانات حديثة وذات صلة تعكس التطورات الأخيرة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة.

الحدود الموضوعية:

تحدد هذه الدراسة أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي بنوعيهما التحليلي والتنبؤي على كفاءة صيانة المباني الطبية، مع التركيز على جودة البيانات كمتغير وسيط ويقتصر نطاق البحث على هذه المتغيرات تحديداً، ولا يتناول أنواعاً أخرى من تطبيقات الذكاء الاصطناعي (مثل الذكاء الاصطناعي التوليدي) أو جوانب أخرى من إدارة المرافق الطبية (مثل إدارة المخزون أو الموارد البشرية) وتم هذا التحديد لضمان عمق التحليل وتركيزه على تحقيق الأهداف الرئيسية للدراسة.

الحدود البشرية:

تقتصر عينة الدراسة على مدراء الصيانة، مهندسي الصيانة، والفنيين العاملين في المستشفيات الحكومية بمدينة الرياض وتم اختيار هذه الفئة البشرية لخبرتها المباشرة ومعرفتها العميقة بأنظمة الصيانة وتطبيقات الذكاء الاصطناعي المستخدمة. وبالتالي، فإن نتائج هذه الدراسة قد لا تكون قابلة للتعميم بشكل مباشر على فئات أخرى من الموظفين في القطاع الصحي (مثل الكادر الطبي أو الإداري) أو العاملين في المستشفيات الخاصة التي قد تختلف في هياكلها التنظيمية ومواردها.

إجراءات ومنهجية الدراسة:

منهج الدراسة:

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الكمي الوصفي التحليلي، والذي يهدف إلى وصف وتحليل الظواهر والعلاقات بين المتغيرات كما هي موجودة في الواقع وهذا المنهج مناسب لطبيعة الدراسة التي تسعى إلى قياس أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية على كفاءة صيانة المباني الطبية، ودور جودة البيانات كمتغير وسيط. تم جمع البيانات الكمية لتحليل العلاقات بين المتغيرات.

مجتمع وعينة الدراسة:

مجتمع الدراسة

يتكون مجتمع هذه الدراسة من جميع المستشفيات الحكومية التابعة لوزارة الصحة في مدينة الرياض ووفقاً لأحدث الإحصائيات الرسمية الصادرة عن الهيئة العامة للإحصاء ووزارة الصحة، بلغ إجمالي عدد المستشفيات في المملكة العربية السعودية 499 مستشفى وفي منطقة الرياض 109 مستشفيات في عام 2023 (الهيئة العامة للإحصاء، 2023). من هذه المستشفيات، تشكل المستشفيات الحكومية التابعة لوزارة الصحة النسبة الأكبر على وجه التحديد، تشير بيانات وزارة الصحة لعام 2022 إلى وجود 65 مستشفى تابعاً لها ولجهات حكومية أخرى في منطقة الرياض (وزارة الصحة، 2022). هذه المستشفيات تقدم خدمات رعاية صحية شاملة وتعد بيئة خصبة لتطبيق ودراسة تأثيرات الذكاء الاصطناعي على عمليات الصيانة.

عينة الدراسة

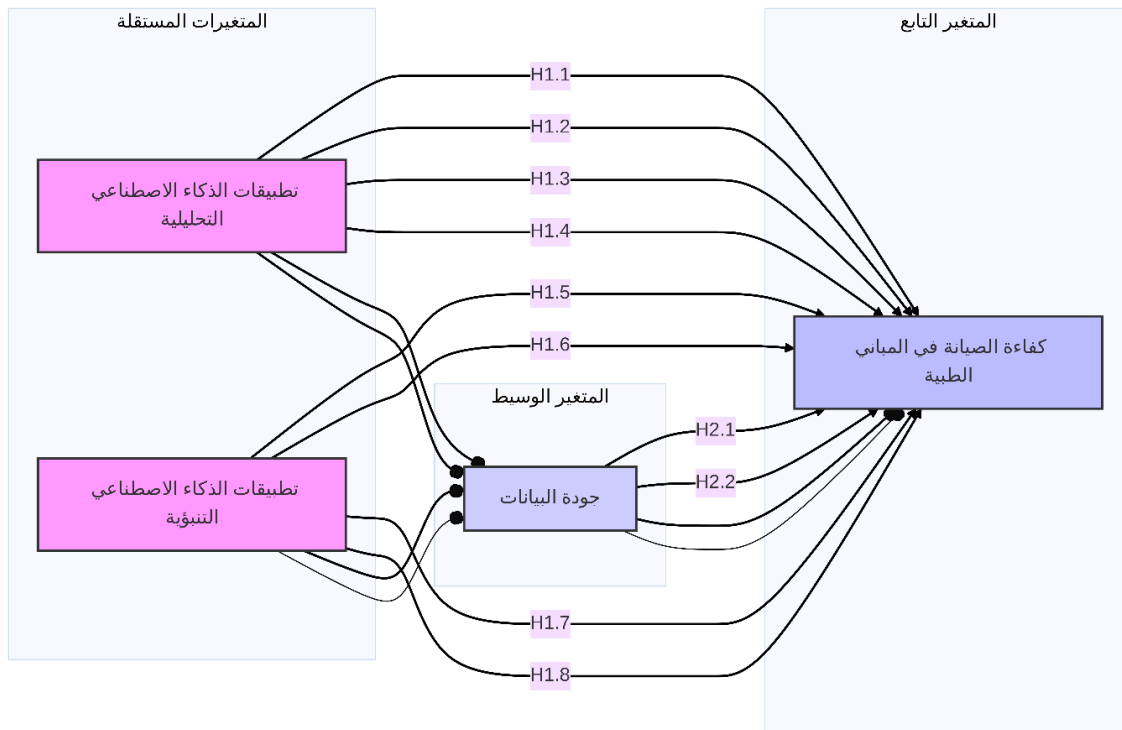
نظراً لحجم مجتمع الدراسة (65 مستشفى حكومي تابع لوزارة الصحة وجهات حكومية أخرى في الرياض)، تم اختيار عينة ممثلة لضمان صلاحية النتائج وقابليتها للتعميم حيث تم استخدام العينة العشوائية البسيطة لضمان تكافؤ الفرص لجميع المستشفيات في المجتمع للدخول ضمن العينة، مما يعزز من تمثيلية العينة لمجتمع الدراسة ولتحديد حجم العينة المناسب، تم استخدام جداول كريجسي ومورغان، مع الأخذ في الاعتبار مستوى الثقة ليلعب حجم العينة المناسب 39 مستشفى من أصل 65 مستشفى في المجتمع الأصلي وتم جمع البيانات من مدراء الصيانة في المستشفيات المختارة، بالإضافة إلى مهندسي الصيانة والفنيين الذين لديهم خبرة مباشرة في أنظمة الصيانة وتطبيقات الذكاء الاصطناعي من خلال استخدام استبيان مصمم خصيصاً لجمع البيانات الكمية للحصول على معلومات دقيقة وشاملة حول أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي على كفاءة الصيانة وجودة البيانات.

نموذج الدراسة

بناءً على الإطار النظري والدراسات السابقة، تم تطوير نموذج الدراسة الحالي لتوضيح العلاقات المفترضة بين المتغيرات المستقلة (تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية)، والمتغير الوسيط (جودة البيانات)، والمتغير التابع (كفاءة الصيانة بأبعادها المختلفة) يهدف هذا النموذج إلى توجيه التحليل الإحصائي للدراسة والإجابة على تساؤلاتها.

الشكل (1) يوضح نموذج الدراسة العلاقة بين المتغيرات المستقلة (تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية) والمتغيرات التابعة (كفاءة

الصيانة) مع الدور الوسيط لجودة البيانات



تم بناء هذا النموذج بالاعتماد على دراسة Chianumba et al., 2021 التي قدمت إطاراً مفاهيمياً للذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة في تعزيز تقديم الرعاية الصحية، مع تكييفه ليناسب متغيرات الدراسة الحالية والتركيز على كفاءة الصيانة في المباني الطبية ودور جودة البيانات كوسيط. كما تم الاستفادة من الإطار العام للنماذج السببية في الدراسات السابقة التي تناولت تأثير التكنولوجيا على الأداء التنظيمي.

الفصل الثاني

الاطار النظري والدراسات السابقة

– الاطار النظري

– الدراسات السابقة

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

تمهيد

يُعد هذا الفصل بمثابة الركيزة المعرفية والمنهجية التي يقوم عليها البحث، حيث يتناول الإطار النظري المتعمق للمتغيرات الأساسية للدراسة، بالإضافة إلى مراجعة وتحليل نقدي للدراسات السابقة ذات الصلة ويهدف الفصل إلى بناء أساس نظري متين يربط بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي (المتغير المستقل) وكفاءة صيانة المباني الطبية (المتغير التابع)، مع إبراز الدور الوسيط لجودة البيانات.

أولاً: الاطار النظري

أولاً: تطبيقات الذكاء الاصطناعي في صيانة المباني الطبية (المتغير المستقل)

1. مفهوم الذكاء الاصطناعي في الصيانة

يعرف الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence – AI) بأنه مجموعة من التقنيات والخوارزميات التي تمكن الأنظمة الحاسوبية من محاكاة القدرات المعرفية البشرية، مثل التعلم، والاستدلال، وحل المشكلات، وتطبيقها لتحسين عمليات إدارة المرافق فلا يقتصر دور الذكاء الاصطناعي على أتمتة المهام الروتينية، بل يمتد ليشمل تحليل البيانات المعقدة التي تتجاوز قدرة التحليل البشري، بهدف اتخاذ قرارات صيانة استباقية ومحسوبة، وهذا التحول الجذري يهدف إلى الانتقال من نموذج الصيانة التفاعلية التي تحدث بعد العطل أو الصيانة الوقائية القائمة على الجداول الزمنية الثابتة، إلى نموذج الصيانة الذكية القائمة على الحالة والتنبؤ بالفشل حيث إن تطبيق الذكاء الاصطناعي يضمن أن تكون جهود الصيانة موجهة بدقة نحو المعدات التي تحتاج إليها فعلاً، مما يعظم الكفاءة التشغيلية ويقلل من الهدر في الموارد، وهو ما يمثل نقلة نوعية في إدارة الأصول الحيوية للمستشفيات (Almaiman,2024).

وتعتمد تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الصيانة على دمج مجموعة واسعة من التقنيات، أبرزها التعلم الآلي (Machine Learning) والتعلم العميق (Deep Learning)، والتي تستخدم لتدريب النماذج على التعرف على الأنماط التي تسبق الأعطال حيث يتم تغذية هذه النماذج ببيانات ضخمة (Big Data) يتم جمعها من أجهزة الاستشعار المتصلة (Internet

(of Things)، وسجلات الصيانة التاريخية، وأنظمة إدارة المباني (Building Management System) و يشير Owen & Oye (2025) إلى أن الذكاء الاصطناعي التحليلي يركز على فهم البيانات التاريخية والآنية للكشف عن الأنماط والاتجاهات التي قد تؤدي إلى الأعطال وإن الهدف الأساسي من هذا الدمج التكنولوجي هو بناء نظام صيانة متكامل وذكي، قادر على المراقبة المستمرة لأداء المعدات، وتحديد الانحرافات الطفيفة عن الأداء الأمثل، مما يتيح لمديري المرافق التخطيط لعمليات الصيانة في اللحظة المثلى (Owen & Oye, 2025)

2. الذكاء الاصطناعي التحليلي (Analytical AI)

يمثل الذكاء الاصطناعي التحليلي الركيزة الأساسية التي تستند إليها تطبيقات الصيانة المتقدمة، حيث يركز على فهم البيانات التاريخية والآنية للكشف عن الأنماط والاتجاهات التي قد تؤدي إلى الأعطال. يعتمد هذا النوع من الذكاء الاصطناعي على تحليل كميات هائلة من البيانات التي يتم جمعها من مختلف أجهزة الاستشعار والمعدات داخل المبنى، مثل أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC)، والمصاعد، وأنظمة الإضاءة، والمعدات الطبية الحيوية ومن خلال تطبيق خوارزميات متقدمة، يمكن للذكاء الاصطناعي التحليلي تحديد العلاقات المترابطة بين المتغيرات المختلفة، مثل درجة الحرارة، والرطوبة، واستهلاك الطاقة، وساعات التشغيل، وتأثيرها على أداء المعدات فيمكن للنظام تحليل بيانات أداء نظام التكييف وتحديد الانحرافات الطفيفة في استهلاك الطاقة التي قد تشير إلى بداية تدهور في أداء الضاغط أو وجود تسريب في نظام التبريد، مما يسمح لفرق الصيانة بالتدخل قبل حدوث عطل كامل حيث تتجلى أهمية الذكاء الاصطناعي التحليلي في قدرته على تحويل البيانات الأولية إلى رؤى قابلة للتنفيذ، وهو ما يعتبر نقلة نوعية في مجال إدارة صيانة المرافق الطبية بدلاً من الاعتماد على جداول الصيانة الوقائية الثابتة التي قد تكون غير فعالة أو مكلفة، يوفر الذكاء الاصطناعي التحليلي أساساً علمياً لاتخاذ قرارات الصيانة (Owen & Oye, 2025).

ويشير Almainan (2024) إلى أن استخدام أدوات التشخيص القائمة على الذكاء الاصطناعي يمكن من تحديد موقع العطل وأسبابه بدقة، مما يقلل من الوقت اللازم للتشخيص والإصلاح فعلى سبيل المثال، عند حدوث عطل في نظام معقد مثل نظام إدارة المباني (Building Management System)، يمكن للذكاء الاصطناعي التحليلي مراجعة سجلات الأحداث

والإنذارات من مختلف الأنظمة الفرعية لتحديد السبب الجذري للمشكلة بسرعة، بدلاً من الاعتماد على التخمين أو التجربة والخطأ.

علاوة على ذلك، يمكن لهذه الأنظمة إنشاء تقارير تحليلية مفصلة حول أداء المعدات، وتحديد المعدات الأكثر عرضة للأعطال، وتقديم توصيات حول أولويات الصيانة، مما يساعد مديري المرافق على تخصيص الموارد بشكل أكثر كفاءة وفعالية (Owen & Oye, 2025).

ب. أهمية الذكاء الاصطناعي التحليلي

يمتد دور الذكاء الاصطناعي التحليلي إلى ما هو أبعد من مجرد اكتشاف الأعطال، ليشمل تحسين استراتيجيات الصيانة بشكل شامل فمن خلال تحليل البيانات التاريخية حول أداء المعدات ومعدلات الأعطال، يمكن لهذه الأنظمة تحديد الأسباب الجذرية للمشاكل المتكررة، مما يسمح للمؤسسات بتطوير حلول دائمة بدلاً من الحلول المؤقتة على سبيل المثال، إذا أظهر التحليل أن نوعاً معيناً من المضخات في نظام التبريد يتعطل بشكل متكرر بسبب ارتفاع درجة الحرارة، يمكن للنظام أن يوصي ليس فقط باستبدال المضخة، بل أيضاً بتقييم تصميم نظام التهوية المحيط بها أو زيادة وتيرة تنظيف المرشحات وهذا النهج القائم على البيانات، كما يساهم في الانتقال من الصيانة الوقائية القائمة على الجداول الزمنية إلى صيانة أكثر استهدافاً وفعالية، حيث يتم توجيه الموارد إلى المعدات التي هي في أمس الحاجة إليها، مما يقلل من هدر الموارد ويزيد من الكفاءة التشغيلية (Owen & Oye, 2025).

وتتطلب البيئة المعقدة للمباني الطبية التي تضم مجموعة واسعة من الأنظمة المترابطة، نهجاً تحليلياً متطوراً لضمان التشغيل السلس والأمن إذ يوفر الذكاء الاصطناعي التحليلي الأدوات اللازمة لتحليل التفاعلات المعقدة بين هذه الأنظمة، والتي قد لا تكون واضحة للمراقب البشري مثلاً يمكن أن يؤثر تغيير في إعدادات نظام إدارة المبنى (Building Management System) على استهلاك الطاقة، والذي بدوره قد يؤثر على درجة حرارة غرف المعدات، مما قد يؤدي إلى زيادة احتمالية حدوث أعطال لذلك يمكن لنماذج الذكاء الاصطناعي التحليلي محاكاة هذه السيناريوهات وتحليل تأثير التغييرات المقترحة قبل تنفيذها، مما يمنع حدوث مشاكل غير متوقعة إلا إن استخدام النماذج القائمة على الذكاء الاصطناعي لإنشاء محاكاة للنظام يمكن أن يكون فعالاً للغاية في تشخيص الأعطال وتحديد أسبابها و القدرة على فهم الديناميكيات المعقدة للنظام ككل، بدلاً من التركيز على المكونات

الفردية، تسمح بإدارة استباقية للمرافق، حيث يتم تحديد المخاطر المحتملة وتجنبها قبل أن تتصاعد إلى مشاكل كبيرة، مما يضمن بيئة آمنة ومستقرة للمرضى والموظفين على حد سواء (Almaiman,2024).

ج. تطبيقات متقدمة للذكاء الاصطناعي التحليلي

إن أحد الجوانب الحاسمة للذكاء الاصطناعي التحليلي في صيانة المباني الطبية هو قدرته على التعامل مع البيانات غير المهيكلة، مثل تقارير الصيانة النصية وملاحظات الفنيين وغالباً ما تحتوي هذه المصادر على معلومات قيمة حول طبيعة الأعطال والإجراءات التي تم اتخاذها لإصلاحها، ولكن من الصعب تحليلها باستخدام الطرق التقليدية فمع استخدام تقنيات معالجة اللغة الطبيعية (Natural Language Processing)، يمكن لأنظمة الذكاء الاصطناعي استخلاص المعلومات الرئيسية من هذه النصوص، وتصنيف أنواع الأعطال، وتحديد الاتجاهات التي قد لا تكون واضحة في البيانات الرقمية وحدها فعلى سبيل المثال، يمكن للنظام تحليل آلاف تقارير الصيانة لتحديد ما إذا كان هناك ارتباط بين شكاوى الموظفين من ضوضاء معينة وحدوث أعطال في نظام التهوية وهذه القدرة على دمج وتحليل مصادر البيانات المتنوعة، كما يوضح ، تعزز بشكل كبير من دقة نماذج الصيانة وتوفر رؤية شاملة لحالة المبنى (Almaiman,2024).

ويُسهم الذكاء الاصطناعي التحليلي بدور محوري في تحسين كفاءة الطاقة في المباني الطبية، والتي تعتبر من أكثر أنواع المباني استهلاكاً للطاقة فمن خلال التحليل المستمر لبيانات استهلاك الطاقة من مختلف الأنظمة، مثل الإضاءة والتدفئة والتبريد، يمكن للذكاء الاصطناعي تحديد الأنماط غير الفعالة وتقديم توصيات لترشيد الاستهلاك دون المساس براحة المرضى أو سلامة العمليات الطبية فيمكن للنظام أن يكتشف أن نظام الإضاءة في منطقة معينة من المستشفى يظل قيد التشغيل بكامل طاقته حتى في الأوقات التي تكون فيها الإشغال منخفضاً، ويوصي بتركيب أجهزة استشعار للحركة أو ضبط جداول الإضاءة كما يمكنه تحليل أداء وحدات التكييف وتحديد ما إذا كانت تعمل بكفاءة مثلى، أو ما إذا كانت هناك حاجة لتنظيف المرشحات أو إجراء تعديلات أخرى ويعتبر أن خفض تكاليف التشغيل هو أحد الفوائد الرئيسية لتطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة المباني

(Owen & Oye, 2025).

إضافة الى ذلك يعد الذكاء الاصطناعي التحليلي أداة لا غنى عنها في عملية تقييم المخاطر وتصنيفها داخل بيئة المباني الطبية، حيث تختلف أهمية المعدات والأنظمة بناء على تأثيرها المحتمل على سلامة المرضى واستمرارية العمليات الحرجة فمن خلال تحليل

البيانات التشغيلية والتاريخية، يمكن للنظام تحديد المعدات التي يشكل تعطيلها خطراً عالياً، مثل أجهزة التعقيم في غرف العمليات أو أنظمة إمداد الطاقة الاحتياطية وهذا التحليل يسمح بتطبيق نهج صيانة قائم على المخاطر (Risk-Based Maintenance)، حيث يتم تخصيص موارد الصيانة والتدخلات الوقائية بشكل متناسب مع مستوى الخطر الذي تمثله كل قطعة من المعدات فنجد إن النظام قد يحدد أن نظام التهوية في وحدة العناية المركزة يتطلب مراقبة وتحليلاً أكثر دقة من نظام التدفئة في المكاتب الإدارية، نظراً للفارق الكبير في العواقب المترتبة على أي عطل محتمل حيث إن القدرة على التمييز وتحديد الأولويات بناءً على تحليل دقيق للمخاطر حيث أن جهود الصيانة تركز على النقاط الأكثر حساسية وحرارة في البنية التحتية للمستشفى (Owen & Oye, 2025).

علاوة على ذلك، يساهم الذكاء الاصطناعي التحليلي في تحسين عملية إدارة المخزون وقطع الغيار اللازمة لعمليات الصيانة، وهي عملية حيوية لضمان سرعة الاستجابة للأعطال وتقليل زمن التوقف فمن خلال تحليل أنماط الأعطال التاريخية ومعدلات استهلاك قطع الغيار لكل نوع من المعدات، يمكن للنظام التنبؤ بالاحتياجات المستقبلية بدقة عالية وهذا التنبؤ القائم على البيانات يقلل من مخاطر نقص المخزون (Out-of-Stock) للقطع الحيوية، والذي قد يؤدي إلى تأخيرات مكلفة في الإصلاحات، كما يقلل من تكاليف الاحتفاظ بالمخزون الزائد (Overstocking) الذي يمثل رأسمال معطلاً حيث يمكن للنظام أيضاً أن يأخذ في الاعتبار عوامل مثل مهل التوريد (Lead Time) وتكاليف الشراء لتحديد الكمية المثلى من المخزون التي يجب الاحتفاظ بها (Almaiman, 2024).

3. الذكاء الاصطناعي التنبؤي (Predictive AI)

يأخذ الذكاء الاصطناعي التنبؤي مفهوم الصيانة إلى مستوى أكثر تقدماً، حيث لا يكتفي بتحليل البيانات للكشف عن المشاكل الحالية، بل يسعى إلى التنبؤ بالأعطال المستقبلية قبل وقوعها ويعتمد هذا النهج على بناء نماذج رياضية وإحصائية معقدة، مثل الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks) وخوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning)، التي يتم تدريبها على كميات ضخمة من البيانات التاريخية والآنية ومن خلال تحليل هذه البيانات، تتعلم النماذج الأنماط التي تسبق حدوث الأعطال، مما يمكنها من إصدار تحذيرات مبكرة عندما تكتشف سلوكاً مشابهاً في البيانات الجديدة حيث يمكن لنظام الصيانة التنبؤية تحليل بيانات الاهتزاز ودرجة الحرارة لمحرك كهربائي، والتنبؤ باحتمالية حدوث عطل في المحمل خلال

الأسابيع القليلة القادمة، مما يتيح لفرق الصيانة جدولة عملية الاستبدال في وقت مناسب دون التأثير على تشغيل المستشفى (Villa et al., 2024).

تُعد الخوارزميات التنبؤية في صيانة المباني الطبية متقدمة للغاية، حيث تستخدم مزيجاً من تقنيات التعلم العميق (Deep Learning)، مثل الشبكات العصبية الالتفافية والشبكات العصبية المتكررة، لتحليل البيانات المعقدة متعددة الأبعاد وهذه الخوارزميات قادرة على معالجة ليس فقط البيانات الرقمية من أجهزة الاستشعار، ولكن أيضاً البيانات المرئية من كاميرات المراقبة الحرارية والصوتية من ميكروفونات المراقبة، لتحديد علامات التدهور التي قد لا تكون واضحة بالعين المجردة أو من خلال القراءات الرقمية البسيطة. يمكن لنموذج تعلم عميق تحليل الصور الحرارية للمعدات الكهربائية لتحديد النقاط الساخنة (Hot Spots) التي تشير إلى زيادة المقاومة الكهربائية وفشل وشيك لذلك إن استخدام تقنيات التعلم الآلي في بيئة الرعاية الصحية يساهم في تحسين كفاءة التشخيص والتنبؤ من خلال دمج المصادر المتنوعة للبيانات فإنه يعزز من دقة التنبؤات بشكل كبير، مما يتيح لفرق الصيانة اتخاذ إجراءات تصحيحية دقيقة وموجهة (Jangoan et al., 2024).

أهمية الذكاء الاصطناعي التنبؤي

تعتبر الصيانة التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي أداة حيوية لضمان استمرارية عمل الأنظمة الحرجة في المباني الطبية، حيث أن أي انقطاع في الخدمة يمكن أن يكون له عواقب وخيمة وإن إنشاء نظام صيانة مؤتمت يعتمد على نماذج تنبؤية يمكن أن يقلل من الأخطاء البشرية ويضمن الاتساق في تنفيذ عمليات الصيانة ففي بيئة المستشفى يمكن تطبيق ذلك على أنظمة دعم الحياة، مثل أنظمة التهوية في غرف العمليات أو وحدات العناية المركزة، حيث يمكن لأي عطل أن يعرض حياة المرضى للخطر ومن خلال المراقبة المستمرة للبيانات التشغيلية لهذه الأنظمة، يمكن للذكاء الاصطناعي التنبؤي تحديد أي انحرافات قد تشير إلى مشكلة وشيكة، وإرسال تنبيهات فورية إلى فريق الصيانة علاوة على ذلك، يمكن لهذه النماذج التنبؤية أن تتطور وتحسن بمرور الوقت من خلال التعلم المستمر من البيانات الجديدة، مما يزيد من دقة تنبؤاتها (Jangoan et al., 2024).

تُمكن تقنيات الذكاء الاصطناعي التنبؤي من تحديد العمر المتبقي المفيد (Remaining Useful Life - RUL) للمعدات بدقة غير مسبوقة، وهو مؤشر حيوي للتخطيط الاستراتيجي لعمليات الصيانة والاستبدال فمن خلال استخدام خوارزميات الانحدار (Regression Algorithms) والشبكات العصبية المتكررة (Recurrent Neural Networks)، يمكن للنماذج

التنبؤية تتبع تدهور أداء المعدة بمرور الوقت وتقدير النقطة التي من المحتمل أن يحدث فيها الفشل وهذه القدرة على التنبؤ الدقيق تتيح لمديري المرافق جدولة الصيانة في اللحظة المثلى، أي قبل حدوث الفشل بوقت كافٍ لتجنب التوقف غير المخطط له، ولكن ليس قبل الأوان لتجنب إهدار العمر المتبقي للمعدة (Villa et al., 2024).

مزايا الذكاء الاصطناعي التنبؤي

إن أحد المزايا الاستراتيجية للذكاء الاصطناعي التنبؤي هو قدرته على تحسين تخصيص الموارد البشرية لفرق الصيانة. بدلاً من إرسال الفنيين بشكل روتيني لفحص المعدات التي قد تكون في حالة جيدة، أو الاستجابة لحالات الطوارئ غير المخطط لها، يمكن للنظام التنبؤي توجيه جهودهم نحو المعدات التي من المرجح أن تفشل في المستقبل القريب وهذا التوجيه الذكي يضمن أن الفنيين يقضون وقتهم في العمل الأكثر أهمية وتأثيراً، مما يزيد من إنتاجيتهم ويقلل من وقت السفر والتحقق غير الضروري كما يمكن للنظام التنبؤي أن يحدد نوع العطل المتوقع، مما يسمح لمدير الصيانة بإرسال الفني المناسب الذي يمتلك المهارات المطلوبة وقطع الغيار اللازمة، مما يقلل من الحاجة إلى زيارات متعددة للموقع. يؤكد على أن التغلب على الحواجز التي تعيق تطبيق الذكاء الاصطناعي سيحقق فوائد كبيرة في ممارسات الصيانة (Owen & Oye, 2025).

أخيراً، يساهم الذكاء الاصطناعي التنبؤي في تحقيق وفورات مالية كبيرة للمؤسسات الطبية من خلال تقليل تكاليف الصيانة الإجمالية. يتم ذلك عن طريق تجنب التكاليف الباهظة المرتبطة بالأعطال الكبرى غير المخطط لها، مثل تكلفة الإصلاحات الطارئة، وتكلفة استبدال المعدات التالفة بالكامل، وتكلفة التوقف عن العمل (Downtime) التي قد تؤدي إلى خسارة في الإيرادات أو تأخير في تقديم الرعاية. من خلال التنبؤ بالفشل قبل حدوثه، يمكن لفرق الصيانة إجراء إصلاحات صغيرة ومجدولة بتكلفة أقل بكثير. كما أن التنبؤ الدقيق يطيل من العمر الافتراضي للمعدات، مما يؤخر الحاجة إلى استبدالها وتمثل التطبيقات الناجحة للذكاء الاصطناعي في الصيانة هي الأكثر انتشاراً ونجاحاً فإن القدرة على تحويل الصيانة من مركز تكلفة غير متوقع إلى عملية مخططة ومحسوبة تساهم بشكل مباشر في تحسين الأداء المالي للمستشفى (Almaiman, 2024).

بالإضافة إلى الجوانب الفنية والمالية، يساهم الذكاء الاصطناعي التنبؤي في تعزيز ثقافة السلامة داخل المباني الطبية فمن خلال التنبؤ بالأعطال في الأنظمة الحيوية، مثل أنظمة مكافحة الحرائق، أو أنظمة التهوية في مناطق العزل، أو أنظمة إمداد الطاقة، يمكن تجنب الحوادث التي قد تعرض حياة المرضى والموظفين للخطر. إن الانتقال من نهج رد الفعل إلى نهج استباقي في الصيانة

يعني أن فرق الصيانة تعمل في بيئة أكثر أماناً، حيث يتم التعامل مع المشاكل المحتملة قبل أن تتفاقم وتصبح حالات طوارئ خطيرة، إذ أن الأنظمة المؤتمتة تضمن الاتساق وتقلل من الأخطاء البشرية، مما يعزز من موثوقية العمليات.

(Ehab et al., 2023).

ثانياً: جودة البيانات كمتغير وسيط في صيانة المباني الطبية (المتغير الوسيط)

1. مفهوم وأهمية جودة البيانات

تُعد جودة البيانات (Data Quality) حجر الزاوية الذي يقوم عليه نجاح تطبيقات الذكاء الاصطناعي في صيانة المباني الطبية، لا سيما في سياق الصيانة التنبؤية والتحليلية ففي بيئة تعتمد بشكل متزايد على البيانات المستشعرة (Sensor Data) والسجلات التاريخية المعقدة، يصبح الارتباط بين جودة البيانات ودقة التنبؤات وكفاءة القرارات أمراً حتمياً، وتشير جودة البيانات إلى مدى ملاءمة البيانات للاستخدام المقصود، وتُقاس عادةً بمجموعة من الأبعاد التي تعكس خصائصها الأساسية حيث تكون المخاطر عالية وتتطلب القرارات دقة متناهية، فإن أي قصور في جودة البيانات يمكن أن يؤدي إلى تنبؤات خاطئة، أو إنذارات كاذبة، أو ما هو أسوأ، فشل غير متوقع في المعدات الحيوية ويعتمد الذكاء الاصطناعي بشكل مكثف على البيانات، ويتطلب بيانات تاريخية وآنية من أنظمة وأجهزة استشعار مختلفة بصيغة رقمية (Almaiman,2024).

أن العلاقة بين المتغير المستقل (تطبيقات الذكاء الاصطناعي) والمتغير التابع (كفاءة الصيانة) ليست علاقة مباشرة، بل يتم تفعيلها وتعديلها من خلال جودة البيانات فإذا كانت جودة البيانات منخفضة، فإن تأثير الذكاء الاصطناعي على كفاءة الصيانة سيكون ضعيفاً أو سلبياً، بغض النظر عن نوع أو تعقيد التطبيق المستخدم وبالتالي، فإن أي دراسة تسعى لتقييم تأثير الذكاء الاصطناعي على الصيانة يجب أن تأخذ في الاعتبار الدور الوسيط لجودة البيانات.

2. أبعاد جودة البيانات

تعدد أبعاد جودة البيانات، ولكن في سياق تطبيقات الذكاء الاصطناعي في صيانة المباني الطبية، تبرز خمسة أبعاد رئيسية كعناصر حاسمة لنجاح النماذج التنبؤية والتحليلية وهي متمثلة في الدقة (Accuracy)، والاكتمال (Completeness)، والاتساق (Consistency)، والتوقيت (Timeliness)، والموثوقية (Reliability).

إن معالجة هذه الأبعاد بشكل منهجي تضمن أن البيانات المستخدمة في تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي وفي اتخاذ القرارات التشغيلية تعكس الواقع الفعلي لحالة المعدات والبنية التحتية وأي خلل في أحد هذه الأبعاد يمكن أن يقلل بشكل كبير من قيمة التحليلات، ويؤدي إلى نتائج مضللة، مما يقوض الثقة في النظام بأكمله.

أ. الدقة (Accuracy)

تُعنى الدقة بمدى تمثيل البيانات للقيمة الحقيقية أو الصحيحة للخاصية التي تصفها فالدقة أن قراءات أجهزة الاستشعار، مثل درجة الحرارة أو الاهتزاز أو الضغط، يجب أن تكون مطابقة للقيمة الفعلية المقاسة كما تشمل دقة البيانات الوصفية، مثل دقة تسجيل نوع العطل أو تاريخ الصيانة حيث أن نظام الإنذار بالصيانة يعتمد على بيانات مستشعرات دقيقة لثلاثة سرعات وثلاثة تيارات ودرجة حرارة فإذا كانت قراءات هذه المستشعرات غير دقيقة بسبب معايرة خاطئة أو عطل في الجهاز، فإن نموذج الذكاء الاصطناعي الذي يعتمد عليها سيتعلم أنماطاً خاطئة، مما يؤدي إلى تنبؤات غير صحيحة أو تشخيصات غير دقيقة. إن ضمان دقة البيانات يتطلب عمليات معايرة دورية لأجهزة الاستشعار، واستخدام بروتوكولات صارمة لإدخال البيانات يدوياً، والتحقق المتقاطع من البيانات من مصادر متعددة لضمان صحتها (Villa et al., 2024).

وتتطلب الدقة عند صيانة المباني الطبية مستوى عالياً من العناية في جمع البيانات، حيث أن الخطأ في قراءة واحدة يمكن أن يغير مسار التنبؤ بالكامل مثلاً قد يؤدي خطأ في قراءة درجة حرارة محرك إلى إصدار إنذار كاذب (False Positive) يتطلب تدخلاً غير ضروري، أو ما هو أسوأ، قد يؤدي إلى عدم إصدار إنذار عند وجود مشكلة حقيقية (False Negative)، مما يعرض المعدة للفشل ولضمان الدقة، يجب أن تكون جميع أجهزة الاستشعار المستخدمة في نظام المراقبة ذات جودة عالية ومعايرة بشكل منتظم وفقاً للمعايير الصناعية بالإضافة إلى ذلك، يجب تطبيق خوارزميات للتحقق من صحة البيانات (Data Validation) للكشف عن القيم الشاذة (Outliers) أو القراءات المستحيلة التي قد تشير إلى عطل في المستشعر نفسه (Almaiman, 2024).

ب. الاكتمال (Completeness)

يشير الاكتمال إلى مدى توفر جميع البيانات المطلوبة لغرض معين ويعني ذلك أن جميع المتغيرات التي يحتاجها نموذج الذكاء الاصطناعي للتنبؤ يجب أن تكون موجودة دون فجوات فعلى سبيل المثال، إذا كان النموذج يتطلب بيانات درجة الحرارة والاهتزاز وساعات التشغيل للتنبؤ بفشل محرك، فإن فقدان أي من هذه البيانات لفترة زمنية معينة يقلل من قدرة النموذج على العمل بفعالية خلال تلك الفترة.

ويمثل التعامل مع البيانات المفقودة أمر ضروري، حيث أن وجود قيم مفقودة لبعض الميزات قد يؤدي إلى إزالة السجلات من مجموعة البيانات ففي بيئة المباني الطبية، قد ينجم عدم الاكتمال عن انقطاع في اتصال أجهزة الاستشعار، أو فشل في تسجيل البيانات، أو إهمال في توثيق إجراءات الصيانة وإن معالجة هذا البعد تتطلب آليات قوية لجمع البيانات تضمن استمراريتها، بالإضافة إلى استخدام تقنيات متقدمة للتعامل مع البيانات المفقودة، مثل الاستيفاء (Imputation)، لضمان أن النماذج التنبؤية تعمل على أساس بيانات شاملة قدر الإمكان.

ويُعد الاكتمال تحدياً كبيراً في بيئات التشغيل المعقدة للمباني الطبية، حيث يمكن أن تتوقف أجهزة الاستشعار عن العمل أو تنقطع الاتصالات بشكل مؤقت وإن التعامل مع البيانات المفقودة ليس مجرد مسألة تقنية، بل هو مسألة تؤثر على سلامة التنبؤ فإذا كان جزء كبير من البيانات مفقوداً، فإن نموذج الذكاء الاصطناعي قد يتخذ قرارات بناءً على صورة جزئية وغير كاملة لحالة المعدة على سبيل المثال، قد يؤدي فقدان بيانات الاهتزاز إلى عدم اكتشاف تدهور ميكانيكي وشيك. لمعالجة هذا، يجب على المؤسسات وضع بروتوكولات صارمة لتوثيق أسباب فقدان البيانات، واستخدام تقنيات متقدمة لملاءم الفجوات (Imputation) بطرق إحصائية أو باستخدام نماذج تعلم آلي أخرى (Jangoan et al., 2024).

ج. الاتساق (Consistency)

يعني الاتساق أن البيانات يجب أن تكون موحدة وغير متناقضة عبر مختلف الأنظمة ومصادر البيانات ففي بيئة المباني الطبية، قد يتم جمع البيانات من نظام إدارة المباني (Building Management System)، ونظام إدارة الصيانة المحوسب، وأنظمة إنترنت الأشياء المختلفة ويجب أن تكون المصطلحات والوحدات والتنسيقات المستخدمة لتسجيل البيانات متطابقة في جميع هذه الأنظمة مثلاً يجب أن يتم تسجيل درجة الحرارة بنفس الوحدة (سيلسيوس أو فهرنهايت) في جميع السجلات، ويجب

أن يكون اسم المعدة موحداً بإنشاء نظام صيانة مؤتمت يضمن الاتساق في تنفيذ عمليات الصيانة فإذا كانت البيانات غير متسقة، فإن دمجها وتحليلها بواسطة الذكاء الاصطناعي يصبح تحدياً كبيراً، وقد يؤدي إلى نتائج متضاربة لذلك إن تحقيق الاتساق يتطلب وضع معايير واضحة لنمذجة البيانات، وتطبيق قواعد التحقق من الصحة (Validation Rules) عند إدخال البيانات، واستخدام أدوات تحويل البيانات لتوحيد البيانات من المصادر المختلفة قبل تغذيتها لنماذج الذكاء الاصطناعي (Ehab et al., 2023).

ويتجاوز الاتساق مجرد توحيد الوحدات والتنسيقات، ليشمل الاتساق الدلالي (Semantic Consistency)، أي أن يكون للبيانات نفس المعنى عبر جميع الأنظمة لذا يجب أن يكون تعريف العطل الحرج متطابقاً في نظام إدارة المباني ونظام إدارة الصيانة فإذا كانت هناك تناقضات في التعريفات أو التصنيفات، فإن دمج البيانات من مصادر مختلفة سيؤدي إلى نتائج تحليلية غير موثوقة إن الأنظمة المؤتمتة تساهم في تقليل الأخطاء البشرية، وهذا يشمل أخطاء عدم الاتساق في إدخال البيانات ويتطلب تحقيق الاتساق إنشاء قاموس بيانات مركزي (Central Data Dictionary) يحدد بوضوح جميع المصطلحات والمتغيرات المستخدمة في نظام الصيانة، وتدريب الموظفين على الالتزام بهذه المعايير (Ehab et al., 2023).

د. التوقيت (Timeliness)

يشير التوقيت إلى مدى حداثة البيانات وتوفرها في الوقت المناسب لاتخاذ القرار وتكون البيانات الآنية (Real-Time Data) متاحة بسرعة كافية لتمكين نموذج الذكاء الاصطناعي من إصدار تنبؤات وتحذيرات مبكرة تسمح باتخاذ إجراءات تصحيحية قبل حدوث الفشل فإذا كانت البيانات تصل متأخرة، فإن التنبؤ قد يأتي بعد فوات الأوان. على سبيل المثال، يجب أن تصل قراءات الاهتزاز التي تشير إلى تدهور وشيك في محرك حيوي في غضون ثوانٍ، وليس ساعات إضافة إلى ذلك إن البيانات عالية الجودة ضرورية لتحسين جودة اتخاذ القرارات. إن التوقيت أمر بالغ الأهمية بشكل خاص في المباني الطبية حيث تتطلب الأنظمة الحرجة مراقبة مستمرة ويتطلب ضمان التوقيت الاستثمار في بنية تحتية قوية للإنترنت الأشياء وشبكات اتصال عالية السرعة، بالإضافة إلى استخدام منصات تحليل بيانات قادرة على معالجة البيانات المتدفقة (Streaming Data) بشكل فوري (Almaiman, 2024).

وفي الصيانة التنبؤية، يعتبر التوقيت عاملاً مهم يحدد الفرق بين التنبؤ الناجح والفشل الكارثي لذلك يجب أن تكون البيانات متاحة للتحليل في الوقت المناسب لاتخاذ الإجراءات التصحيحية فإذا كان التنبؤ يشير إلى أن معدة ستفشل خلال 48 ساعة، فإن البيانات يجب أن تكون متاحة قبل ذلك بوقت كافٍ لجدولة الصيانة وتنفيذها إلا أن التغلب على تحديات البيانات هو مفتاح لتحقيق الفوائد الكاملة للذكاء الاصطناعي ويتطلب ضمان التوقيت الاستثمار في بنية تحتية لجمع البيانات ونقلها ذات زمن انتقال منخفض (Low Latency)، واستخدام تقنيات الحوسبة الطرفية (Edge Computing) لمعالجة البيانات بالقرب من مصدرها قبل إرسالها إلى السحابة (Oye & Owen, 2025).

هـ. الموثوقية (Reliability)

تتعلق الموثوقية بمصدر البيانات ومدى الثقة به ومن المهم ان تكون البيانات صادرة عن مصادر موثوقة، سواء كانت أجهزة استشعار معتمدة، أو أنظمة تسجيل بيانات موثوقة، أو فنيين مدربين ومحولين بإدخال البيانات. تشمل الموثوقية أيضاً سلامة البيانات (Data Integrity)، أي التأكد من أن البيانات لم يتم التلاعب بها أو تغييرها بطريقة غير مصرح بها أثناء النقل أو التخزين فأن التغلب على الحواجز التي تعيق تطبيق الذكاء الاصطناعي يتطلب معالجة تحديات البيانات لذلك إن بناء الثقة في البيانات هو أمر أساسي لضمان أن مديري المرافق وفرق الصيانة يثقون في التنبؤات والتحليلات التي يقدمها نظام الذكاء الاصطناعي ويتطلب ضمان الموثوقية تطبيق إجراءات أمنية صارمة لحماية البيانات، واستخدام تقنيات التشفير والتحقق من المصدر، بالإضافة إلى تدريب الموظفين على أهمية إدخال البيانات بدقة ومسؤولية (Oye & Owen, 2025).

وتتعلق الموثوقية بضمان أن البيانات لم يتم تحريفها أو تزويرها، وهي مسألة ذات أهمية قصوى في بيئة الرعاية الصحية حيث الثقة والمساءلة أمران حيويان فيجب أن تكون هناك مسارات تدقيق واضحة (Audit Trails) لجميع البيانات، توضح من قام بجمعها، ومتى، وكيف تم معالجته ويمثل دمج بيانات إنترنت الأشياء مع نماذج معلومات البناء يعزز من الصيانة، وهذا الدمج يجب أن يتم بطريقة موثوقة لضمان الموثوقية وتطبيق تقنيات أمن البيانات المتقدمة، مثل التشفير والتحكم في الوصول، واستخدام تقنيات مثل سلسلة الكتل (Blockchain) في بعض الحالات لضمان عدم قابلية البيانات للتغيير.

(Villa et al., 2024).

3. التحديات ودور جودة البيانات في اتخاذ القرار

أن تحديات البيانات هي أحد الحواجز الرئيسية أمام تبني الذكاء الاصطناعي حيث تواجه المباني الطبية تحديات فريدة في الحفاظ على جودة البيانات، نظراً لتنوع وتعقيد الأنظمة الموجودة فيها وتشمل هذه التحديات تباين أجهزة الاستشعار والبروتوكولات، والحاجة إلى دمج البيانات من أنظمة تكنولوجية قديمة (Legacy Systems) مع الأنظمة الحديثة، والقيود المفروضة على خصوصية بيانات المرضى (HIPAA/GDPR) التي قد تعيق استخدام بعض البيانات لأغراض الصيانة ولكي يتم التغلب على هذه التحديات يتطلب استراتيجية شاملة لإدارة البيانات (Data Governance) لتشمل جميع أصحاب المصلحة، من مديري المرافق إلى فنيي الصيانة وخبراء تكنولوجيا المعلومات ويجب أن تركز هذه الاستراتيجية على إنشاء بنية تحتية موحدة للبيانات، وتطبيق معايير جودة صارمة، وتوفير التدريب اللازم للموظفين (Oye & Owen, 2025).

وتترجم جودة البيانات إلى جودة في اتخاذ القرار ففي بيئة الصيانة التنبؤية، يتم اتخاذ قرارات حاسمة، مثل متى يتم إيقاف تشغيل معدة حيوية للصيانة، أو متى يتم طلب قطع غيار مكلفة فإذا كانت هذه القرارات مبنية على بيانات ذات جودة منخفضة، فإنها قد تؤدي إلى إهدار الموارد أو تعريض سلامة العمليات لذلك إن جودة البيانات تضمن أن التنبؤات التي يقدمها الذكاء الاصطناعي موثوقة وقابلة للتنفيذ، مما يمكن مديري المرافق من اتخاذ قرارات مستنيرة ومبررة فإن الاستثمار في جودة البيانات هو استثمار في القدرة على اتخاذ قرارات صيانة استباقية وفعالة، مما يعزز من الكفاءة العامة للمبنى الطبي ويضمن استمرارية الخدمات الحيوية (Ehab et al., 2023).

ثالثاً: كفاءة صيانة المباني الطبية كمتغير تابع (المتغير التابع)

1. مفهوم كفاءة صيانة المباني الطبية

تُعرف كفاءة صيانة المباني الطبية (Medical Building Maintenance Efficiency) بأنها قدرة نظام الصيانة على تحقيق أهدافه بأقل قدر ممكن من الموارد (الوقت، التكلفة، الجهد)، مع ضمان أعلى مستويات الموثوقية التشغيلية والسلامة ففي بيئة المستشفيات، لا تُقاس الكفاءة بالمعايير الاقتصادية وحدها، بل ترتبط ارتباطاً وثيقاً بجودة الرعاية المقدمة وسلامة المرضى والموظفين إن تطبيق الذكاء الاصطناعي، مدعوماً بجودة بيانات عالية، يهدف بشكل أساسي إلى تحويل الصيانة من عملية

تفاعلية ومكلفة إلى عملية استباقية ومحسوبة، مما يعزز الكفاءة بشكل جذري وتُقاس هذه الكفاءة من خلال أربعة مؤشرات رئيسية تعكس الأهداف الاستراتيجية لإدارة المرافق الطبية: تقليل زمن التوقف (Reducing Downtime)، خفض التكاليف (Cost Reduction)، إطالة العمر الافتراضي للمعدات (Extending Lifespan)، وزيادة الموثوقية (Increasing Reliability).

2. مؤشرات قياس الكفاءة

أ. تقليل زمن التوقف (Reducing Downtime)

يُعد زمن التوقف (Downtime) أحد أهم المؤشرات السلبية لكفاءة الصيانة، خاصة في المباني الطبية حيث يمكن أن يؤدي توقف المعدات الحيوية إلى عواقب وخيمة إن تقليل زمن التوقف إلى قدرة نظام الصيانة على ضمان استمرارية العمليات التشغيلية دون انقطاع. يساهم الذكاء الاصطناعي التنبؤي بشكل مباشر في هذا المؤشر من خلال تحديد الأعطال المحتملة قبل وقوعها، مما يسمح بجدولة الصيانة في أوقات مناسبة وغير حرجية. يؤكد على أن الصيانة الوقائية ضرورية لتقليل زمن التوقف وضمان أن أنظمة المبنى تعمل بسلاسة وكفاءة وإن الانتقال من الصيانة التفاعلية (التي تحدث بعد العطل) إلى الصيانة التنبؤية (التي تحدث قبل العطل) يقلل بشكل كبير من التوقف غير المخطط له، والذي غالباً ما يكون أطول وأكثر تكلفة من التوقف المخطط له. إن كل دقيقة يتم توفيرها من زمن التوقف في نظام حيوي، مثل نظام التهوية في غرف العمليات، تترجم مباشرة إلى زيادة في الكفاءة التشغيلية والقدرة على تقديم الرعاية (Oye, & Owen, 2025).

ب. خفض التكاليف (Cost Reduction)

يشمل خفض التكاليف جميع النفقات المرتبطة بعمليات الصيانة، بما في ذلك تكاليف العمالة، وقطع الغيار، وتكاليف الطوارئ، وتكاليف الطاقة يساهم الذكاء الاصطناعي في خفض التكاليف من خلال عدة آليات ممثلة بالآتي:

1. يقلل من الحاجة إلى الصيانة الوقائية الروتينية غير الضرورية، مما يوفر في تكاليف العمالة وقطع الغيار.

2. يمنع الأعطال الكبرى والمفاجئة التي تتطلب إصلاحات طارئة باهظة الثمن.

3. يحسن من كفاءة الطاقة من خلال التحليل المستمر لأنماط الاستهلاك.

إن الكفاءة في التكلفة تتحقق من خلال منع أعطال المعدات وتجنب الإصلاحات الطارئة المكلفة. كما أن التنبؤ الدقيق بالاحتياجات المستقبلية لقطع الغيار، كما تم مناقشته في المتغير الوسيط، يقلل من تكاليف الاحتفاظ بالمخزون الزائد لذلك إن التحول إلى الصيانة القائمة على الحالة (Condition-Based Maintenance) التي يتيحها الذكاء الاصطناعي يضمن أن يتم إنفاق كل دولار من ميزانية الصيانة في الوقت والمكان الأكثر فعالية، مما يعظم العائد على الاستثمار (Oye, & Owen, 2025)

ج. إطالة العمر الافتراضي للمعدات (Extending Lifespan)

تُعد إطالة العمر الافتراضي للمعدات مؤشراً حيوياً لكفاءة الصيانة، حيث تؤدي إلى تأخير النفقات الرأسمالية الكبيرة لاستبدال الأصول. يساهم الذكاء الاصطناعي في هذا المؤشر من خلال ضمان أن المعدات تعمل دائماً ضمن ظروف التشغيل المثلى فمن خلال المراقبة المستمرة وتحديد الانحرافات الطفيفة في الأداء، يمكن لنظام الذكاء الاصطناعي التوصية بتدخلات تصحيحية صغيرة تمنع التدهور التدريجي الذي يؤدي إلى الفشل المبكر فعلى سبيل المثال، يمكن للنظام أن يكتشف ارتفاعاً طفيفاً في درجة حرارة محمل، ويوصي بتزييته قبل أن يتسبب الاحتكاك الزائد في تلف دائم إن الصيانة الاستباقية والموجهة التي يوفرها الذكاء الاصطناعي تضمن أن المعدات تعمل بكفاءة قصوى طوال فترة خدمتها، مما يطيل من عمرها الافتراضي ويؤجل الحاجة إلى الاستبدال (Villa et al., 2024).

د. زيادة الموثوقية (Increasing Reliability)

تُعرف الموثوقية بأنها احتمالية أن تعمل المعدة أو النظام دون فشل لفترة زمنية محددة وفي ظل ظروف تشغيل معينة. في المباني الطبية، الموثوقية هي مرادف للسلامة والجودة. يساهم الذكاء الاصطناعي في زيادة الموثوقية من خلال تحسين دقة التنبؤات وتقليل حالات الفشل غير المتوقعة. عندما يتمكن نظام الصيانة من التنبؤ بالأعطال وتجنبها باستمرار، تزداد ثقة المستخدمين (الأطباء والمرضى والإدارة) في البنية التحتية للمبنى إن الأنظمة المؤتمتة تهدف إلى ضمان استمرارية الخدمات. إن زيادة الموثوقية لا تعني فقط تقليل الأعطال، بل تعني أيضاً تحسين جودة الأداء، حيث يضمن الذكاء الاصطناعي أن المعدات تعمل دائماً بأقصى

كفاءة ممكنة. هذا المستوى العالي من الموثوقية هو أمر بالغ الأهمية لضمان أن الخدمات الطبية الحيوية، مثل أنظمة دعم الحياة أو غرف العمليات، تكون متاحة وجاهزة للعمل في أي وقت (Ehab et al., 2023).

3. الأهمية الاستراتيجية لكفاءة الصيانة

تتجاوز كفاءة الصيانة المؤشرات الأربعة المذكورة لتشمل الكفاءة التشغيلية الشاملة للمبنى الطبي. فمن خلال تحسين الصيانة، يساهم الذكاء الاصطناعي في تحسين بيئة العمل للموظفين، وتقليل الإزعاج للمرضى، وتحسين استهلاك الطاقة فإن التطبيقات الناجحة للذكاء الاصطناعي في الصيانة هي الأكثر انتشاراً ونجاحاً وتعتبر الكفاءة هي نتاج للتكامل بين التكنولوجيا والعمليات والموارد البشرية فعندما يتم تقليل الأعطال، يمكن لفرق الصيانة التركيز على الأنشطة ذات القيمة المضافة بدلاً من إطفاء الحرائق. كما أن البيانات الدقيقة التي يوفرها الذكاء الاصطناعي تمكن الإدارة من اتخاذ قرارات استراتيجية لتحسين العمليات بشكل مستمر، ففي الرعاية الصحية، ترتبط الكفاءة ارتباطاً وثيقاً بالجودة فالمبنى الذي يتمتع بكفاءة صيانة عالية هو مبنى يوفر بيئة آمنة وموثوقة لتقديم رعاية صحية عالية الجودة. إن تقليل زمن التوقف وزيادة الموثوقية يضمنان أن المعدات الطبية الحيوية، مثل أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي أو أجهزة التنفس الصناعي، تكون متاحة للعمل عند الحاجة إليها إلا أن الصيانة الاستباقية تساهم في بيئة أكثر أماناً وبالتالي، فإن كفاءة صيانة المباني الطبية ليست مجرد هدف إداري، بل هي شرط أساسي لضمان جودة الرعاية الصحية. إن الذكاء الاصطناعي، من خلال تحسين مؤشرات الكفاءة، يساهم بشكل غير مباشر في تحسين جودة الخدمات الصحية المقدمة (Oye & Owen, 2025).

لا يقتصر دور الذكاء الاصطناعي على تحسين الكفاءة فحسب، بل يمتد ليشمل قياسها وتتبعها بدقة فمن خلال تحليل البيانات التشغيلية، يمكن لنظام الذكاء الاصطناعي حساب مؤشرات الأداء الرئيسية المتعلقة بالصيانة، مثل متوسط الوقت بين الأعطال، ومتوسط وقت الإصلاح، وتكلفة الصيانة كنسبة مئوية من قيمة الاستبدال. هذه القدرة على القياس الدقيق والمستمر تمكن مديري المرافق من تقييم أداء نظام الصيانة بشكل موضوعي وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين (Ehab et al., 2023).

1. الدراسات التي تناولت المتغير المستقل (تطبيقات الذكاء الاصطناعي)

قام الخلايلة (2021) بإجراء دراسة بعنوان "أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي على جودة الرعاية الصحية: دراسة تطبيقية على مستشفيات وزارة الصحة الأردنية" وهدفت هذه الدراسة الكمية إلى التعرف على أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي على جودة الرعاية الصحية و تحديد أبرز التحديات التي تواجه تطبيقها حيث اعتمدت الدراسة على منهجية كمية مسحية، وتم تطبيقها على عينة من العاملين في مستشفيات وزارة الصحة الأردنية وأكدت النتائج على أن تطبيقات الذكاء الاصطناعي تساهم في تحسين جودة الرعاية الصحية و هناك تحديات تتعلق بالبنية التحتية للبيانات وتعد هذه الدراسة كمية وفي سياق المستشفيات، ولكنها لم تفصل في تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الصيانة ولم تختبر الدور الوسيط لجودة البيانات، مما يترك فجوة في فهم الآلية التي يتم بها هذا التأثير في سياق صيانة المباني.

كما أجرى الباحثون الظفيري وآخرون (2024) دراسة بعنوان: "دور استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتأثيرها على جودة الخدمات الصحية ومخرجاتها في محافظة حفر الباطن" وهدفت هذه الدراسة إلى تحديد دور استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات الصحية و تحليل تأثيرها على مخرجات الرعاية الصحية واعتمدت الدراسة على منهجية تحليلية، وتم تطبيقها على عينة من الأطباء والإداريين في المراكز الطبية وأكدت النتائج على أن الذكاء الاصطناعي يساهم في تحسين جودة الرعاية الصحية بشكل عام و وجود علاقة قوية بين البرامج الذكية وتقنيات الذكاء الاصطناعي وعمل الموظفين بكفاءة وفعالية، وإسهام الذكاء الاصطناعي في حل الكثير من المشكلات ولكنها لم تتناول تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الصيانة بشكل خاص، كما أنها لم تختبر الدور الوسيط لجودة البيانات في هذه العلاقة، مما يبرر الحاجة إلى دراسة تركز على صيانة المباني الطبية وتفصيل دور جودة البيانات.

وقام الباحث البستنجي (2024) بإجراء دراسة بعنوان "الهندسة الرقمية ودورها في تطوير إدارة المشاريع في البلديات " وهدفت هذه الدراسة إلى تناول دور الهندسة الرقمية في تطوير إدارة المشاريع واستعراض مساهمة الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي ، وتم تطبيقها على مشاريع البنية التحتية في القطاع العام. أكدت النتائج على أن تستفيد من البيانات والتكنولوجيا لتطوير الحلول والمنصات من خلال تطبيق مبادئ هندسة منتجات البرمجيات لتمكين تجارب ونتائج أفضل للمستخدم ويمكن للهندسة الرقمية أن تساعد المهندسين على تصميم أنظمة أكثر كفاءة وموثوقية وقابلة للتطوير وأكدت ان البيانات الدقيقة هي المحرك الرئيسي للتحويل الرقمي إلا أن الدراسة كانت عامة في سياق إدارة المشاريع ولم تركز على خصوصية المباني الطبية أو تفصيل الدور الوسيط لجودة البيانات بأبعادها الخمسة، مما يترك فجوة في فهم الآلية التي يتم بها هذا التأثير في سياق الدراسة الحالية.

2. الدراسات التي تناولت المتغير الوسيط (جودة البيانات)

عمل الباحثين المليبي والضحوي (2023) دراسة بعنوان " نضج إدارة البيانات الرئيسية في المؤسسات الحكومية: دراسة حالة لوزارة النقل والخدمات اللوجستية " وهدفت هذه الدراسة الى التعرف على الابعاد التي تؤثر في نج إدارة البيانات الرئيسية في المؤسسات الحكومية ورصد تأثير البعد التكنولوجي في نضج إدارة البيانات الرئيسية في وزارة النقل اعتمدت الدراسة على منهج تحليل المحتوى لتحليل الإنتاج الفكري المنشور، كما اعتمدت الدراسة على منهج دراسة الحالة بغرض الوصول إلى فهم أعمق عن مدى نضج إدارة البيانات الرئيسية في وزارة النقل والخدمات اللوجستية في المملكة العربية السعودية. أكدت النتائج على أن جودة البيانات ركيزة أساسية في اتخاذ القرارات و البعد التنظيمي والإداري مهم لتحسين جودة البيانات وتعد هذه الدراسة مهمة في تأكيد أهمية جودة البيانات، ولكن سياقها (المؤسسات الحكومية) يختلف عن سياق الدراسة الحالية، ولم تتناول تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الصيانة، مما يجعلها تدعم المتغير الوسيط نظرياً دون ربطه بالمتغير المستقل والتابع للدراسة الحالية.

وقام الباحث العوضي (2025) بدراسة بعنوان "الدور والتأثير للذكاء الاصطناعي في مجالات الهندسة الميكانيكية: تحليل للتطبيقات والتحديات" وهدفت الدراسة الى تقديم تحليل نظري لتأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي على مجالات الهندسة الميكانيكية، مع التركيز على التطبيقات في التصميم والإنتاج والصيانة و تسليط الضوء على الفرص والتحديات الناشئة عن دمج الذكاء الاصطناعي في العمليات الصناعية، وتقديم توصيات أكاديمية ومهنية لتعزيز هذا الدمج واعتمدت الدراسة على منهجية مراجعة الأدبيات النظامية ، حيث تم تحليل وتلخيص 40 دراسة سابقة منشورة في مجالات علمية محكمة خلال الفترة من 2018 إلى 2024. ركّز التحليل على المجالات الرئيسية للهندسة الميكانيكية مثل التصنيع الذكي، جودة التصنيع، وأنظمة الصيانة التنبؤية وتوصلت الدراسة الى ان دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي (خاصة التعلم الآلي والرؤية الحاسوبية) في عمليات الصيانة التنبؤية أمراً ضرورياً وليس اختياريًا، حيث أظهرت الدراسات قدرة هذه التقنيات على تقليل تكاليف الصيانة، وزيادة موثوقية المعدات، ومنع الأعطال غير المخطط لها من خلال تحليل بيانات المستشعرات والتنبؤ بالأعطال بدقة عالية ومن النتائج أيضا ان جودة البيانات دوراً محورياً في نجاح تطبيقات الذكاء الاصطناعي، حيث أن فعالية خوارزميات التعلم الآلي والصيانة التنبؤية تعتمد بشكل مباشر على مدى دقة وشمولية وموثوقية البيانات المدخلة، مما يجعل تحسين جودة البيانات شرطاً

أساسياً لتحقيق الكفاءة التشغيلية. وتتفق هذه الدراسة مع الدراسة الحالية في توفر إطاراً نظرياً قوياً يؤكد على الجدوى والفعالية التقنية للذكاء الاصطناعي في مجال الصيانة الصناعية، وهو ما يمكن تعميمه على البنية التحتية للمباني الطبية كما أن إبرازها لدور جودة البيانات كعامل نجاح حاسم ينسجم تماماً مع فرضية الدراسة الحالية حول الدور الوسيط لجودة البيانات ومع ذلك، تبقى نقطة اختلاف رئيسية وهي أن الدراسة تركز على البيئة الصناعية والمعدات الميكانيكية، بينما تركز الدراسة الحالية على البيئة المعمارية والبنية التحتية للمباني الطبية، مما يستدعي تعميق التحليل لاستكشاف الخصوصيات التشغيلية والفنية لهذا النوع من المنشآت.

وفي دراسة أجراها بنجر وآخرون (2025) بعنوان "أثر استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات اللوجستية خلال موسم الحج"، هدفت إلى تحليل العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وجودة الخدمات اللوجستية وتحديد التحديات المرتبطة بتطبيقه. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي وشملت عينة مكونة من 202 فرداً من العاملين في القطاع اللوجستي والحجاج والخبراء. وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية للذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات، حيث ساهم في تفسير 59.2% من التباين في الجودة، كما سلطت الضوء على فعالية تقنيات مثل المراقبة الذكية والتنبيه بالازدحام، في مواجهة تحديات التكامل بين الأنظمة الذكية والتقليدية. وتتفق هذه الدراسة مع الدراسة الحالية على أن تحقيق الكفاءة التشغيلية - سواء في الخدمات اللوجستية للحج أو في صيانة المباني الطبية - يعتمد بشكل جوهري على جودة البيانات وقدرة الأنظمة على التكامل والدعم التنبؤي الفعال.

3. الدراسات التي تناولت المتغير التابع (كفاءة صيانة المباني الطبية)

وقام الحفناوى (2025) بعمل دراسة بعنوان "تحسين كفاءة عمليات التشغيل والصيانة بمباني المستشفيات باستخدام نظم إدارة الصيانة المحوسبة ونمذجة معلومات البناء" وهدفت هذه الدراسة إلى تحسين كفاءة عمليات التشغيل والصيانة بمباني المستشفيات و تحليل دور نظم إدارة الصيانة المحوسبة ونمذجة معلومات البناء في رفع الموثوقية واعتمدت الدراسة على منهجية تحليلية، وتم تطبيقها على مباني مستشفيات حكومية في مصر حيث أكدت النتائج على أن دمج هذه التقنيات يرفع من موثوقية المباني و يطيل عمرها الافتراضي وتعد هذه الدراسة قريبة من الدراسة الحالية (مباني المستشفيات) وتدعم المتغير التابع (كفاءة الصيانة)، إلا أنها ركزت على نظم إدارة الصيانة المحوسبة ونمذجة معلومات البناء ولم تفصل في تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية أو الدور الوسيط لجودة البيانات بأبعادها الخمسة، مما يقلل من قدرتها على تفسير العلاقة الوسيطة بشكل كامل.

وقام الباحث Albeshir (2025) بإجراء دراسة بعنوان "دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة الإنفاق في المرافق التعليمية: دراسة نوعية" وهدفت هذه الدراسة إلى استكشاف دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة الإنفاق في المرافق التعليمية واكتشاف تصورات المعنيين في مجال التعليم حول إمكانية الذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة الإنفاق على المرافق التابعة لمؤسسات التعليم العام والعالي في المملكة العربية السعودية وقد اعتمدت الدراسة على المنهج النوعي وحددت عينة الدراسة بـ 19 خبير في مجال التعليم ، حيث ركزت على الجانب النظري والتطبيقي للذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق التعليمية وقد توصلت الدراسة إلى ان المشاركين لديهم إيمان كبير بقدرات الذكاء الاصطناعي في ترشيد النفقات من خلال المساعدة في اتخاذ القرارات وعمليات التخطيط وتنفيذ المرافق التعليمية الجديدة بما في ذلك تصميم المرافق واختيار المواد المستخدمة في البناء والتشطيبات ووجدت النتائج أيضا ان الذكاء الاصطناعي يساعد من تعزيز السلامة والامن في المرافق التعليمية وهذه الدراسة تتفق مع الدراسة الحالية بان الذكاء الاصطناعي يمكن أن يلعب دورًا مهمًا في تحسين كفاءة الإنفاق في المرافق التعليمية من خلال تحسين عمليات الصيانة وإدارة الطاقة وتخصيص الموارد بشكل أكثر فعالية، مما يؤدي إلى توفير التكاليف وزيادة الكفاءة التشغيلية.

ونفذ الباحثين المطيري والغانم (2025) دراسة بعنوان: "أثر استخدام الذكاء الاصطناعي في تصميم وتنفيذ المباني" وهدفت هذه الدراسة إلى التعرف على أثر استخدام الذكاء الاصطناعي في مجالي تصميم المباني وتنفيذها، وتحديد الفرص والتحديات المرتبطة بهذا الاستخدام أيضا تحليل إمكانيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة عملية التصميم المعماري، وتقييم دوره في تعزيز السلامة والإدارة بمشاريع البناء واعتمدت الدراسة على منهج المراجعة الوصفية للأدبيات والدراسات السابقة ذات الصلة، دون تحديد عينة ميدانية محددة، حيث مثلت الأبحاث المنشورة في المجال مصدر البيانات الرئيسي و توصلت الدراسة إلى نتيجتين رئيسيتين هما يوفر الذكاء الاصطناعي حلول تصميمية مبتكرة تعزز الاستدامة وتوفر الوقت والموارد، فضلاً عن تحسينه لكفاءة تنفيذ المشاريع من خلال التنبؤ بالمخاطر وتحسين إدارة المواقع وتعد دراسة المطيري والغانم أساساً نظري لدراسة الذكاء الاصطناعي في صيانة المباني الطبية، حيث إنها تؤكد على دور الذكاء الاصطناعي في التحليل والتنبؤ وتحسين الكفاءة التشغيلية - وهي جوانب حيوية في إدارة المرافق الطبية. ومع ذلك، فإن دراسة المطيري والغانم لم تتناول بشكل مباشر دور جودة البيانات كعامل بسيط، وهو محور رئيسي في دراسة الصيانة الطبية. كما أن تركيزها على التصميم والتنفيذ يمثل إطاراً أوسع، بينما دراسة الصيانة الطبية تتطلب تعمقاً أكبر في الجوانب التحليلية والتنبؤية المتخصصة في بيئة الرعاية الصحية، مما يبرز الحاجة لبحوث مكملية تركز على هذا التخصص الدقيق.

وتُعد دراسة الجواني (2025) بعنوان "الدكاء الاصطناعي وجودة المرافق العامة في المملكة العربية السعودية: الفرص والتحديات" التي تهدف إلى تسليط الضوء على دور الذكاء الاصطناعي وتأثيره على جودة الخدمات والمرافق العامة التي تقدمها الدولة، بالإضافة إلى استكشاف الفرص التي يحققها والاستفادة منها، فضلاً عن تحديد التحديات القانونية والتنظيمية التي تواجه تطبيقه واعتمدت الدراسة وتعتمد الدراسة في منهجها الرئيسي على المنهج الاستقرائي التحليلي، من خلال تحديد ماهية الذكاء الاصطناعي وعلاقته بجودة الخدمات الإدارية والمرافق العمومية واستقراء الفرص والمخاطر التي يشكلها الذكاء الاصطناعي على هذه المرافق وأشارت نتائج الدراسة إلى أن توظيف الذكاء الاصطناعي يمكن أن يرفع كفاءة الخدمات الإدارية من خلال اتخاذ قرارات دقيقة مبنية على تحليل البيانات، كما أكدت على أهمية بناء أنظمة ذكاء اصطناعي تعتمد على بيانات عالية الجودة لتحقيق الكفاءة التشغيلية. ويمكن التعقيب على هذه الدراسة بالقول إنها تُعد دعامة نظرية قوية تدعم أهمية الموضوع، إلا أنها تركز بشكل عام على البيئة الصناعية والمعدات الميكانيكية، مما يستدعي تعميق التحليل لملاءمة سياق البحث الحالي، الذي ينصب على البنية التحتية للمباني الطبية، واستكشاف خصوصيات هذا النوع من المنشآت.

في دراسة الرقية (2024) بعنوان "دور الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة العمليات الإدارية"، هدفت إلى تحليل تأثير الذكاء الاصطناعي على كفاءة العمليات الإدارية واستكشاف تطبيقاته العملية في مختلف المجالات واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي من خلال تحليل المصادر الثانوية مثل الأدبيات ودراسات الحالة لشركات ك Siemens و Unilever. وأظهرت النتائج أن الذكاء الاصطناعي ساهم في رفع الكفاءة التشغيلية بنسبة تصل إلى 30%، كما أدى إلى خفض التكاليف وتحسين دعم اتخاذ القرار عبر التحليلات التنبؤية وتتفق هذه الدراسة مع الدراسة الحالية على أن التحليلات القائمة على البيانات سواء في العمليات الإدارية العامة أو في صيانة المباني الطبية المتخصصة تعد حجر الزاوية لتحقيق الكفاءة التشغيلية، كما تبرز أهمية جودة البيانات كشرط أساسي لضمان فعالية هذه الحلول الذكية وموثوقية نتائجها.

الدراسات الأجنبية

1. الدراسات التي تناولت المتغير المستقل (تطبيقات الذكاء الاصطناعي)

قام الباحثان Orooje & Latifi (2021) بإجراء دراسة بعنوان "مراجعة لتضمين الذكاء الاصطناعي

في إنترنت الأشياء وغدجة معلومات البناء لإدارة صيانة مرافق الرعاية الصحية". هدفت هذه الدراسة إلى تقديم مراجعة

لدمج الذكاء الاصطناعي (AI) في تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) وإنترنت الأشياء (IoT) لعملية إدارة صيانة مرافق الرعاية الصحية (FMM) للتغلب على التحديات الحالية. كانت عينة الدراسة عبارة عن مراجعة للأدبيات العلمية الموجودة في قواعد البيانات مثل Science Direct و ASCE Library و Google Scholar و IEEE Xplore حول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء ونمذجة معلومات البناء وتم استخدام منهجية المراجعة المنهجية، حيث تم تحليل وتصنيف الدراسات الحالية حول تكامل الذكاء الاصطناعي ونمذجة معلومات البناء وإنترنت الأشياء لإدارة صيانة مرافق الرعاية الصحية وقد توصلت الدراسة إلى أن هناك حاجة إلى مزيد من البحث لمواجهة تحديات تصور وإدارة البيانات المكتسبة ليس فقط خلال مرحلة واحدة، ولكن أيضاً خلال دورة حياة المنشأة بأكملها كما أشارت الدراسة إلى أن نماذج معلومات البناء التي تحتوي على بيانات كافية ستكون حاسمة لدعم مراقبة المرافق بشكل كامل.

في دراسة للباحثين (Villa et al. (2021 بعنوان "هندسة إنترنت الأشياء مفتوحة المصدر لصيانة مرافق المباني"، هدفت إلى تطوير إطار عمل رقمي متكامل يجمع بين إنترنت الأشياء ونمذجة معلومات البناء لمراقبة حالة مرافق المباني خلال المرحلة التشغيلية، وتحقيق صيانة تنبؤية فعالة من خلال كشف الأعطال في أنظمة التكييف والتهوية واعتمدت الدراسة على المنهج التطبيقي التجريبي من خلال بناء منصة مفتوحة المصدر تعتمد على أجهزة استشعار IoT متصلة بشبكة لاسلكية، ودمج بياناتها مع نموذج BIM باستخدام منصة Autodesk Forge. طبقت الدراسة على عينة حقيقية تمثل ملفات تبريد وتدفئة (Fan Coils) في مختبر بجامعة تورينو بإيطاليا. وأظهرت النتائج نجاح النظام في رصد حالات التشغيل غير الطبيعية وإرسال إنذارات فورية للمسؤولين، كما حقق دمج بيانات المستشعرات مع النموذج ثلاثي الأبعاد تمثيلاً مرئياً حياً لحالة المنشأة عبر خريطة حرارية تفاعلية وتتفق هذه الدراسة مع الدراسة الحالية حيث تؤكد على أهمية البنية التحتية للبيانات في تمكين الصيانة التنبؤية مع الإشارة إلى أن دراسة Villa et al. ركزت على التكامل التقني بين IoT و BIM كأساس للبيانات في الزمن الحقيقي.

ونفذ الباحثون Ehab et al., (2024) دراسة بعنوان "نظام صيانة يعتمد على نمذجة معلومات البناء مع تكامل إنترنت الأشياء: تعزيز أداء المباني وإدارة المرافق"، هدفت إلى تصميم سير عمل متكامل بين نمذجة معلومات البناء وإنترنت الأشياء واستكشاف أثره على تحسين كفاءة الصيانة وإدارة المرافق واعتمدت الدراسة على منهج دراسة حالة تطبيقية مع استخدام استبيان شمل 143 من الخبراء والمختصين في قطاع البناء، وتم تطوير نموذج عملي باستخدام Python و Revit. وكشفت النتائج عن أن النظام المقترح ساهم في خفض تكاليف الصيانة بشكل ملحوظ وتحسين صنع القرار عبر الاعتماد على البيانات في الوقت الفعلي. وتتفق هذه الدراسة مع

بحثك حول تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية في صيانة المباني الطبية، حيث تؤكد معاً على أن نجاح هذه التطبيقات يعتمد بشكل أساسي على جودة البيانات كعامل وسيط محوري، كما تبرز أهمية التكامل بين الأنظمة الذكية مثل BIM و IoT لتحقيق كفاءة تشغيلية عالية سواء في المباني الطبية أو غيرها من المنشآت.

وقام الباحثون (Moreno et al. (2024 بدراسة بعنوان "الجولات الافتراضية كمكمل فعال لنماذج معلومات البناء في إدارة المرافق باستخدام إنترنت الأشياء"، هدفت إلى سد الفجوة في التكامل بين الجولات الافتراضية ونماذج معلومات البناء (BIM)، واستكشف إمكانية استخدام الجولات الافتراضية كواجهة بديهية تربط بيانات إنترنت الأشياء بنماذج البناء. اعتمدت الدراسة على منهجية دراسة حالة تطبيقية باستخدام منصة تجريبية تم تطويرها خصيصاً، وطبقت على عينة متمثلة في المنشأة البحثية "CELLS" ومبنى مكاتب يتضمن 34 مكتباً. وأظهرت النتائج نجاح النظام في تمكين المستخدمين من الوصول إلى بيانات المستشعرات والتحكم في الأجهزة عن بُعد مباشرة عبر الواجهة البصرية، كما حقق النظام ربطاً فعالاً بين العناصر في الجولة الافتراضية ونظيرتها في نماذج BIM. وتتفق هذه الدراسة مع بحثك حول دور تطبيقات الذكاء الاصطناعي في صيانة المباني الطبية، حيث تؤكد معاً على أهمية التكامل التقني كأساس لتغذية نماذج الذكاء الاصطناعي بالبيانات - مع ملاحظة أن دراسة Moreno et al. ركزت على البنية التحتية للبيانات والربط التقني، بينما تذهب دراسة الذكاء الاصطناعي إلى أبعد من ذلك لتحويل هذه البيانات إلى تنبؤات استباقية، حيث تشكل جودة البيانات المتكاملة - التي تؤكد عليها دراسة Moreno - عاملاً وسيطاً حاسماً في دقة النماذج التنبؤية، كما توضح الدراسة التحديات العملية في التوسع والنشر الفعلي لهذه الحلول التقنية المتكاملة

وأجرى الباحث (Owen (2025 دراسة بعنوان "دمج الصيانة التنبؤية ومراجعة حالة المباني: نهج قائم على البيانات لتعزيز طول عمر الأصول وتقليل الغموض التشغيلي في المباني التجارية"، هدفت إلى استكشاف كيفية دمج استراتيجيات الصيانة التنبؤية ضمن عمليات مراجعة حالة المباني (BCA) لتقييم شامل ومستمر للأصول، وتطوير إطار عمل موحد يدمج التحليلات التنبؤية مع التدقيق لتحسين كفاءة الصيانة وموثوقية المراجعات. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال استعراض الأدبيات وتحليل دراسات الحالة من المباني التجارية في أستراليا، حيث تم تطبيق حلول الصيانة التنبؤية القائمة على إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي. وأظهرت النتائج تحقيق المباني المطبقة لهذا النموذج انخفاضاً في تكاليف الصيانة بنسبة 50-30٪، وانخفاضاً في أعطال المعدات بنسبة 40٪، بالإضافة إلى تحسينات ملحوظة في كفاءة الطاقة وعمر الأصول. وتتفق هذه

الدراسة مع بحثك حول دور تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية في تعزيز كفاءة صيانة المباني الطبية، حيث تؤكد معاً على الحاجة إلى تبني نماذج صيانة استباقية تعتمد على البيانات - مع الإشارة إلى أن دراسة Owen ركزت على الإطار التكاملي بين الصيانة التنبؤية والمراجعة، بينما تبرز دراسة الذكاء الاصطناعي الدور الوسيط الحاسم لجودة البيانات في ضمان دقة المخرجات التحليلية والتنبؤية، خاصة في البيئات الحساسة مثل المنشآت الطبية التي تتطلب مستويات أعلى من الدقة والموثوقية.

2. الدراسات التي تناولت المتغير الوسيط (جودة البيانات)

وقام الباحثون (Talawar et al (2023) بدراسة بعنوان "الصيانة التنبؤية في إنترنت الأشياء الصحي: نهج قائم على التعلم الآلي"، هدفت إلى تطوير نماذج تنبؤية باستخدام بيانات أجهزة الاستشعار في الوقت الفعلي للتنبؤ بأعطال الأجهزة الطبية واستكشاف تقنيات تعلم الآلة المختلفة لتحسين دقة التنبؤ بالصيانة. اعتمدت الدراسة على منهج التعلم الآلي باستخدام خوارزميات SVM و KNN ، وطبقت على عينة من 143 متخصصاً في القطاع الصحي. وأظهرت النتائج أن النماذج المقترحة حققت دقة تنبؤ بلغت 42.95% في الكشف عن الأعطال، كما ساهمت في تخفيض زمن التصنيف بنسبة ملحوظة. وتتفق هذه الدراسة مع بحثك حول تطبيقات الذكاء الاصطناعي التحليلية والتنبؤية في صيانة المباني الطبية، حيث تؤكد معاً على التحديات التي تواجه النماذج التنبؤية في البيئات الواقعية، خاصة فيما يتعلق بجودة البيانات التي تعتبر عاملاً وسيطاً حاسماً في دقة التنبؤات - حيث أظهرت الدراسة انخفاض الأداء بسبب مشاكل الضوضاء والقيم المفقودة في البيانات، مما يعزز أهمية معالجة البيانات وتحسين جودتها لضمان فعالية التطبيقات التنبؤية في المجال الطبي.

في دراسة اجراها الباحثين (Kasali & Oladapo (2025 بعنوان "استخدام التحليلات التنبؤية لتحسين الوصول إلى الرعاية الصحية في الولايات المتحدة"، والتي هدفت إلى استكشاف كيفية تطبيق النماذج التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات لتحسين إتاحة الخدمات الصحية، واقتراح أطر سياسية وتنظيمية لضمان تطبيق أخلاقي وعادل لهذه التقنيات. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات وتحليل البيانات الثانوية من الأنظمة الصحية الأمريكية، مع التركيز على برامج Medicare و Medicaid والتجارب الواقعية في مؤسسات مثل Kaiser Permanente. وأظهرت النتائج أن النماذج التنبؤية ساهمت في خفض معدلات إعادة دخول المستشفى بنسبة 15%، وتقصيل مدة الإقامة بمعدل 0.67 يوم،

وتوفير مدخرات مالية سنوية تتراوح بين 55-72 مليون دولار .وتتفق هذه الدراسة مع الدراسة الحالية على الأهمية المحورية لجودة البيانات وموثوقيتها كشرط أساسي لضمان دقة النماذج التنبؤية .

وقام الباحث (Samson (2025 بدراسة بعنوان "تجاوز تحديات جودة البيانات في النماذج التنبؤية الصحية"، هدفت إلى تحليل تأثير مشكلات جودة البيانات مثل القيم المفقودة والتحيز وعدم الاتساق على أداء النماذج التنبؤية في المجال الصحي، واقترح إطار عمل متعدد المستويات لتحسين جودة البيانات باستخدام تقنيات المعالجة المسبقة والتعويض وتخفيف التحيز. اعتمدت الدراسة على منهج كمي تجريبي باستخدام بيانات من قاعدة MIMIC-III و eICU، مع تطبيق تقنيات متقدمة للتعامل مع البيانات المفقودة مثل MICE و KNN، وتدريب نماذج متنوعة مثل الانحدار اللوجستي والغابات العشوائية وأظهرت النتائج أن تحسين جودة البيانات رفع دقة نموذج الغابات العشوائية من 68% إلى 84%، كما تفوقت تقنية MICE في الحفاظ على دقة النموذج حتى مع ارتفاع نسبة البيانات المفقودة. وتتفق هذه الدراسة مع الدراسة الحالية على أن جودة البيانات تمثل عاملاً مهماً لضمان موثوقية ودقة النماذج التنبؤية مع الإشارة إلى أن دراسة Samson ركزت على تحسين جودة البيانات في التشخيص الطبي والرعاية الصحية، بينما تركز الدراسة الحالية على تعزيز كفاءة الصيانة التشغيلية للمرافق الطبية، حيث تشكل جودة البيانات في كلا المجالين الركيزة الأساسية لتحقيق نتائج تنبؤية دقيقة وآمنة.

3. الدراسات التي تناولت المتغير التابع (كفاءة صيانة المباني الطبية)

وقام الباحث (Zhou (2024 بدراسة بعنوان "نموذج جديد مدفوع بالبيانات للتنبؤ بشذوذ المعدات في المستشفيات": هدفت هذه الدراسة إلى اقتراح نموذج جديد مدفوع بالبيانات للتنبؤ بشذوذ المعدات في المستشفيات و تقييم مدى اعتماد النموذج على جودة البيانات. اعتمدت الدراسة على منهجية نمذجة البيانات، وتم تطبيقها على بيانات أجهزة التصوير الطبي في مستشفى صيني. أكدت النتائج على أن نجاح النموذج يعتمد على دقة وموثوقية البيانات المدخلة و التنبؤ بالشذوذ يقلل من وقت التوقف غير المخطط له. تُعد هذه الدراسة تطبيقية متقدمة في سياق المستشفيات، ولكنها ركزت على مؤشرين فقط من أبعاد جودة البيانات (الدقة والموثوقية) ولم تختبر النموذج الوسيط الشامل، مما يبرر الحاجة إلى نموذج أكثر شمولية يغطي جميع الأبعاد الخمسة.

وأجرى الباحث Scaife (2024) دراسة بعنوان "دور الذكاء الاصطناعي في تحسين الصيانة التنبؤية":

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم دور الذكاء الاصطناعي في تحسين الصيانة التنبؤية و قياس تأثيره على تكاليف التشغيل والصيانة. اعتمدت الدراسة على منهجية كمية مسحية، وتم تطبيقها على عينة من مديري الصيانة في قطاع الصناعة. أكدت النتائج على أن الذكاء الاصطناعي يقلل تكاليف التشغيل والصيانة بنسبة 15% و يزيد من كفاءة الاستجابة لطلبات العمل. تدعم هذه الدراسة العلاقة بين AI وكفاءة الصيانة، ولكنها لم تتناول الدور الوسيط لجودة البيانات بأبعادها الخمسة، مما يترك فجوة في فهم الآلية التي يتم بها هذا التأثير.

وأجرى الباحثين Nassou & Moukadem (2025) دراسة بعنوان "الذكاء الاصطناعي والرقابة

الإدارية في المستشفيات: مراجعة نقدية وتكامل مفاهيمي" والتي هدفت إلى تقديم مراجعة نقدية لأدبيات دمج الذكاء الاصطناعي في أنظمة الرقابة الإدارية بالمستشفيات، وتحليل التطبيقات الواعدة مثل التحليلات التنبؤية للتدفقات المرضية والنماذج الرقمية الثنائية لتحسين الموارد، واقتراح نموذج مفاهيمي يربط قدرات الذكاء الاصطناعي بأطر الرقابة الإدارية مع التركيز على الحوكمة كعامل وسيط واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات المنشورة بين 2020 و 2025، مع تحليل التطبيقات في سياقات إدارة التكاليف وتحسين الأداء. وأظهرت النتائج أن الذكاء الاصطناعي يحسن دقة التنبؤ بالاحتياج للموارد ويوفر بيانات تكلفة أكثر دقة عند دمجها مع نظام TDABC، لكن التكامل الفعلي مع أنظمة الرقابة المالية والحوكمة لا يزال محدودًا. وتتفق هذه الدراسة مع الدراسة الحالية حيث تؤكد معًا على أن نجاح هذه التطبيقات يعتمد بشكل جوهري على جودة البيانات وقدرة الأنظمة على دمج المخرجات التنبؤية في عمليات الرقابة واتخاذ القرار.

التعقيب على الدراسات السابقة

أولت الدراسات السابقة العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والصيانة من زوايا مختلفة. ففي دراسة Almainan (2024)، تم التأكيد على دور الذكاء الاصطناعي في تحسين دقة الصيانة والتحول من الصيانة التفاعلية إلى الوقائية، مع إبراز تحدي جودة البيانات أما Latifi & Orooje (2021)، فقد ركزت على مراجعة أدبية لدمج الذكاء الاصطناعي وغذجة معلومات المباني (BIM) وإنترنت الأشياء في إدارة صيانة المرافق، بما في ذلك الرعاية الصحية. وقدمت دراسة Cheng et al (2020) إطار عمل نظري لتخطيط الصيانة التنبؤية القائمة على البيانات وخوارزميات التعلم الآلي وغذجة معلومات المباني.

على الصعيد العربي، أجرت دراسة الخالدي (2021) دراسة كمية على مستشفيات وزارة الصحة الأردنية، أظهرت أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي على جودة الرعاية الصحية، لكنها لم تتناول كفاءة صيانة المباني بشكل مباشر. وفي تحليل نظري ومراجعة أدبية، أكد العوضي (2025) على حتمية دمج الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية لتقليل التكاليف وزيادة الكفاءة في البيئات الصناعية.

من الناحية التطبيقية، حققت دراسة Zhang et al (2024)، التي طبقت نماذج التعلم الآلي (SVM, KNN) على صيانة المعدات في القطاع الصحي، دقة تنبؤ عالية (92.95%) في الكشف عن الأعطال، مشيرة إلى أن جودة البيانات عامل وسيط حاسم يؤثر على دقة التنبؤات وفي المقابل، أشارت مراجعة Petersson et al (2022) إلى أن الدراسات غالبًا ما تركز على الجوانب التقنية للذكاء الاصطناعي دون التعمق في خصوصية البيئة الطبية ومعايير السلامة.

أوجه الاتفاق

تتفق الدراسات السابقة، سواء العربية أو الأجنبية، على عدة محاور أساسية تشكل القاعدة النظرية للبحث الحالي:

1. هناك إجماع من قبل (Almaiman, 2024؛ العوضي، 2025) على أن تطبيقات الذكاء الاصطناعي (التحليلي والتنبؤي) تمثل نقلة نوعية من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة الوقائية/التنبؤية، مما يساهم في تحسين كفاءة الصيانة بشكل

عام

2. تتفق دراسات (Cheng et al., 2020؛ العوضي، 2025) على أن استخدام الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى خفض كبير في التكاليف المرتبطة بالصيانة التصحيحية غير المخطط لها وتقليل زمن التوقف (Downtime)

للمعدات الحيوية

3. جودة البيانات كعامل حاسم: تبرز جودة البيانات (من حيث الدقة، والاكتمال، والاتساق) كعامل أساسي ومحدد

لنجاح تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الصيانة. تشير دراسات مثل Zhang et al (2024) و Almaiman

(2024) إلى أن المشاكل المتعلقة بجودة البيانات (مثل الضوضاء أو النقص) تؤدي إلى انخفاض في دقة التنبؤات.

4. هناك اعتراف ضمني بأهمية السياق الصحي، حيث تشير دراسات مثل الخالدي (2021) إلى أثر الذكاء الاصطناعي على جودة الرعاية الصحية، وتؤكد دراسات أخرى على ضرورة التركيز على الأنظمة الحيوية في المباني الطبية (مثل أنظمة التهوية في غرف العمليات) نظراً لحساسيتها القصوى.

أوجه الاختلاف

تظهر أوجه الاختلاف بين الدراسات بشكل رئيسي في النطاق، والمنهجية، والتركيز على المتغيرات الوسيطة، والسياق الجغرافي:

1. يكمن الاختلاف الجوهرى في نطاق التطبيق، حيث تركز معظم الدراسات (مثل العوضي، 2025؛ Cheng et al., 2020) على البيئات الصناعية أو الميكانيكية العامة. هذا التركيز يحد من إمكانية تعميم النتائج على المباني الطبية المتخصصة التي تتطلب معايير سلامة وتشغيل مختلفة جذرياً (مثل أنظمة العزل والتحكم في العدوى)، وهو ما أشارت إليه دراسة Petersson et al (2022).

2. هناك تباين واضح بين الدراسات التي اعتمدت على التحليل النظري والمراجعة الأدبية لتقديم إطار عام (مثل العوضي، 2025؛ Latifi, 2021 & Orooje)، وتلك التي قدمت تطبيقاً عملياً بنتائج محددة (مثل دقة التنبؤ 92.95% في Zhang et al., 2024). هذا التباين يخلق فجوة بين الطرح النظري والتحقق الإحصائي المباشر.

3. التركيز على المتغير الوسيط فعلى الرغم من اتفاق الدراسات على أهمية جودة البيانات (Almaiman, 2024؛ Zhang et al., 2024)، إلا أن بعضها يشتت التركيز عن دورها الوسيط الحصري من خلال دمجها مع تقنيات أخرى كمتغيرات مستقلة أو وسيطة (مثل BIM و IoT في دراسات Latifi, 2021 & Orooje و Cheng et al., 2020).

4. تفتقر الدراسات المتاحة إلى التركيز على السياق السعودي/الخليجي، حيث أن معظمها عالمي أو يركز على سياقات عربية أخرى (مثل الخالدي، 2021). هذا النقص يجعل النتائج غير قابلة للتعميم بسبب اختلاف اللوائح، والبنية التحتية، وثقافة الصيانة المحلية (Davis, 2025 & Brown).

الفجوة البحثية

تتلخص الفجوة البحثية في عدم وجود دراسة تطبيقية كمية متكاملة، في السياق السعودي، تختبر الأثر المزدوج لتطبيقات الذكاء الاصطناعي (التحليلي والتنبؤي) على كفاءة صيانة المباني الطبية، مع التحقق الإحصائي من الدور الوسيط لجودة البيانات في هذه العلاقة.

1. لم تفحص الدراسات السابقة الأثر المباشر وغير المباشر لتطبيقات الذكاء الاصطناعي على كفاءة صيانة المباني الطبية كمنظومة حرجة، بل ركزت على القطاع الصناعي أو صيانة المعدات بشكل منفصل.
2. لم تختبر الدراسات السابقة بشكل إحصائي مباشر الدور الوسيط لجودة البيانات في العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة، مما يترك آلية عمل هذا التأثير غير واضحة.
3. لا توجد دراسات تطبيقية كمية كافية تركز على المستشفيات السعودية، مما يمنع من فهم وتعميم النتائج في ضوء الخصوصية التنظيمية والتشغيلية والبنية التحتية المحلية.
4. لم تتناول الدراسات السابقة بشكل متكامل الأبعاد الأربعة لكفاءة الصيانة (تقليل الأعطال غير المخطط لها، خفض التكاليف، سرعة الاستجابة، إطالة العمر التشغيلي) في نموذج واحد.

المراجع:

المراجع العربية

1. إلبورومبالي، حسام(2023). "الصيانة الإنتاجية الشاملة.
2. الهيئة العامة للإحصاء. (2023). نشرة إحصاءات المنشآت والقوى العاملة الصحية لعام 2023 م.
<https://stats.gov.sa/documents/20117/2435273/Healthcare+Establishments+and+Workforce+Statistics+2023AR.pdf>
3. وزارة الصحة. (2022). المؤشرات الصحية في المملكة العربية السعودية 2022.
<https://www.moh.gov.sa/en/Ministry/Statistics/book/Documents/Statistical-Yearbook-2022.pdf>
4. المليبي، أ.، والضحوي، هـ. (2023). نضج إدارة البيانات الرئيسية في المؤسسات الحكومية: دراسة حالة لوزارة النقل والخدمات اللوجستية. مجلة البحوث والدراسات المتقدمة، 1(3)، 3-18.
5. الظفيري، س. (2024). دور استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتأثيرها على جودة الخدمات الصحية ومخرجاتها في محافظة حفر الباطن. المجلة الدولية للعلوم الإدارية والمالية، 8(1)، 15-30.
6. الحفناوي، م. (2025). تحسين كفاءة عمليات التشغيل والصيانة بمباني المستشفيات باستخدام نظم إدارة الصيانة الحوسبة ونمذجة معلومات البناء. مجلة العلوم الهندسية، 53(1)، 1-15.
7. البستنجي، ص. م. (2024). الهندسة الرقمية ودورها في تطوير إدارة المشاريع في البلديات. مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية، 5(1)، 53-65.
8. الخلايلة، ق. م. (2021). *أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي على جودة الرعاية الصحية: دراسة تطبيقية على مستشفيات وزارة الصحة الأردنية* (أطروحة ماجستير غير منشورة). جامعة آل البيت، المفرق، الأردن.
9. الظفيري، ج. هـ.، الظفيري، ع. هـ.، الظفيري، ش. ب.، الظفيري، خ. ب.، الظفيري، ع. هـ.، الظفيري، غ. ت.، والمطيري، ع. س. (2022). دور استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتأثيرها على جودة الخدمات الصحية ومخرجاتها في محافظة حفر الباطن. المجلة الإلكترونية الشاملة متعددة التخصصات، 53.

10. العوضي، م. أ. (2025). دور وتأثير الذكاء الاصطناعي في مجالات الهندسة الميكانيكية: تحليل التطبيقات

والتحديات. المجلة العربية للنشر العلمي، 8(82). تم الاسترداد من <https://www.aisp.net>

11. بنحر، غ. ع.، والصالح، د. ي. (2023). أثر استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات اللوجستية

خلال موسم الحج. المجلة الدولية لنشر البحوث والدراسات، 6(68).

12. المطيري، ج. ج.، والغانم، أ. ع. (2025). أثر استخدام الذكاء الاصطناعي في تصميم وتنفيذ المباني. المجلة

الإلكترونية الشاملة متعددة التخصصات، 8(86).

13. الرقبة، ع. أ. (2024). دور الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة العمليات الإدارية. مجلة العلوم التربوية والإنسانية،

40(40).

14.

المراجع الأجنبية

Abdelalim, A. M., Essawy, A., Sherif, A., Salem, M., Al-Adwani, M., & Abdullah, M. S. (2025). *Optimizing Facilities Management Through Artificial Intelligence and Digital Twin Technology in Mega-Facilities*. Sustainability, 17(5), 1826. <https://doi.org/10.3390/su17051826>

Almaiman, S. (2024). *The impact of AI on maintenance performance and predictions*. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4797461>

Asare, K. A. B., Liu, R., & Anumba, C. J. (2024). *Generative AI for Predictive Maintenance in Buildings*. In The International Conference of the Associated Schools of Construction (pp. 89-98). Springer.

Brown, K. E., & Davis, S. E. (2025, June 27). *Gaps in Artificial Intelligence Research for Rural Health in the United States: A Scoping Review*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2025.06.26.25330361>

Cheng, J. C., Chen, W., Chen, K., & Wang, Q. (2020). *Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms*. Automation in Construction, 112, 103087. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103087>

Chianumba, E. C., Ikhalea, N., Mustapha, A. Y., Forkuo, A. Y., & Osamika, D. (2021). *A Conceptual Framework for Leveraging Big Data and AI in Enhancing Healthcare Delivery and Public Health Policy*. IRE Journals, 5(6), 303-308.

- Exactcomms. (2025). *AI in Facility Management: A Step-by-Step Guide to Getting Started*. Exactcomms.: <https://exactcomms.com/ai-in-facility-management/>
- Jackley, M. (2024, Dec 23). *Using AI in Predictive Maintenance*. Retrieved from Oracle: <https://www.oracle.com/scm/ai-predictive-maintenance/>
- James, Alexandra. (2025). *The Role of Predictive Maintenance in Enhancing Maritime Fleet Reliability*.
- Kinnear, A. (2025, 4 29). *Healthcare Facility Maintenance: A guide to getting it right*. Retrieved from TAMsystems: <https://www.tmasystems.com/resources/healthcare-facility-maintenance-a-guide-to-getting-it-right>
- Kunchev, K. (2024, July 17). *AI implementation in healthcare: 10 challenges and solutions*. ScaleFocus. <https://www.scalefocus.com/blog/ai-implementation-in-healthcare-10-challenges-and-solutions>
- Lawrence, B. (2024). *Data Quality: The Key to Unlocking Effective AI and Predictive Maintenance*. *Inspectioneering Journal*. Retrieved from <https://inspectioneering.com/journal/2024-06-27/11135/data-quality-the-key-to-unlocking-effective-ai-and-predictive-maintenance>
- Orooje, M. S., & Latifi, M. M. (2021). *A Review of Embedding Artificial Intelligence in Internet of Things and Building Information Modelling for Healthcare Facility Maintenance Management*. *Energy and Environment Research*, 11 (2), 31-40. <https://doi.org/10.5539/eer.v11n2p31>.
- Oye, E., Luther, M., & Emerson, S. (2024). *A comprehensive review of AI-driven predictive maintenance strategies in smart manufacturing systems*.
- Petersson, L., Larsson, I., Nygren, J. M., Nilsen, P., & Neher, M. (2022). *Challenges to implementing artificial intelligence in healthcare: A qualitative interview study with healthcare leaders in Sweden*. *BMC Health Services Research*, (221), Article 850. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08215-8>
- Precisely. (2024, February 6). *Data Quality Dimensions: How Do You Measure Up?* . Retrieved from <https://www.precisely.com/blog/data-quality/data-quality-dimensions-measure/>
- West, Jye & Evangelista, Ana & Siddhpura, Milind & Haddad, Assed. (2024). *Asset maintenance in Australian commercial buildings*. *Frontiers in Built Environment*. 10. 10.3389/fbuil.2024.1404934
- Wong, W. F., Olanrewaju, A. L., & Lim, P. I. (2021). *Importance and Performance of Value-Based Maintenance Practices in Hospital Buildings*. *Sustainability*, 13(21), 11908. <https://doi.org/10.3390/su132111908>

- Yousefli, Z., Nasiri, F., & Moselhi, O. (2017). *Healthcare facilities maintenance management: A literature review*. Journal of Facilities Management, 15(1), <https://doi.org/10.1108/JFM-10-2016-0040>
- Zhou, H., Liu, Q., Liu, H., Chen, Z., Li, Z., Zhuo, Y., Li, K., Wang, C., & Huang, J. (2024). *Healthcare facilities management: A novel data-driven model for predictive maintenance of computed tomography equipment*. Artificial Intelligence in Medicine, 149, 102807.
- Scaife, A. D. (2024). *Improve predictive maintenance through the application of AI*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 30(1), 102-110.
- Villa, V., Naticchia, B., Bruno, G., Aliev, K., Piantanida, P., & Antonelli, D. (2021). *IoT open-source architecture for the maintenance of building facilities*. Journal of Building Engineering, 40, 102332. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102332>
- Owen, A. (2025, March). *Integrating predictive maintenance and building condition auditing: A data-driven approach to enhancing asset longevity and reducing operational ambiguity in commercial buildings*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/389913823>
- Kasali, K., & Oladapo, R. (2025). Utilizing predictive analytics to improve healthcare access in the United States (U.S.). World Journal of Advanced Research and Reviews, 25(3), 1465-1470. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.3.0899>
- Samson, O. (2025, July). *Overcoming data quality challenges in healthcare predictive models*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/393849207>
- Nassou, Y., & Moukadem, K. (2025). Artificial intelligence and management control in hospitals: A critical review and conceptual integration. *European Journal of Medical and Health Research*, 3(3), 218-225. [https://doi.org/10.59324/ejmrh.2025.3\(3\).33](https://doi.org/10.59324/ejmrh.2025.3(3).33)
- Scaife, A. D. (2024). *Improve predictive maintenance through the application of artificial intelligence: A systematic review*. Results in Engineering, 21, 101645. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101645>
- Moreno, S. A., Loup, M., Lebre, M., Deschamps, L., Bacher, J.-P., & Mahecha, S. D. (2024). Virtual tours as effective complement to building information models in computer-aided facility management using Internet of Things. *Journal of Building Engineering*, 85, 108742. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108742>