

فاعلية استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق
الصناعية دراسة تطبيقية

اسم الطالب

سلطان محمد الزهراني

SULTAN MOHMMED ALZAHIRANI

222001597

مشروع تخرج - 1

كلية الإدارة - جامعة ميدأوشن

إشراف

د. عبدالرحيم نادر

عضو هيئة التدريس- كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

2025

جدول المحتويات

3.....	1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
4.....	1.1 المقدمة
5.....	1.2 مشكلة الدراسة
6.....	1.2.1 فجوات على المستوى النظري:
6.....	1.2.2 فجوات على المستوى التطبيقي:
7.....	1.3 أهمية الدراسة
7.....	1.3.1 على المستوى النظري:
7.....	1.3.2 على المستوى التطبيقي:
8.....	1.4 أسئلة الدراسة
8.....	1.5 أهداف الدراسة
9.....	1.6 فرضيات الدراسة
10.....	1.7 نموذج الدراسة
11.....	1.8 منهجية الدراسة
12.....	1.9 الدراسة الميدانية
13.....	1.10 مخطط المشروع المقترح
15.....	المراجع:

1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1. المقدمة

تعتبر إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال من العناصر الحيوية في استدامة المرافق الصناعية وضمان استمرارية عمليات الإنتاج بكفاءة عالية. ففي العقود الماضية، اعتمدت المنظمات الصناعية على أنظمة صيانة تقليدية تركز إما على الجداول الزمنية المحددة مسبقاً (الصيانة الوقائية)، أو على التدخل بعد وقوع الأعطال (الصيانة التصحيحية). ورغم أن هذه الأساليب ساعدت جزئياً في تقليل الأعطال، إلا أنها لم تكن كافية لمواجهة التحديات المتزايدة المرتبطة بتعقيد أنظمة الإنتاج، وتنامي حجم البيانات، وارتفاع تكاليف التشغيل. ففي بيئة صناعية تتسم بالتنافسية والضغط المستمر نحو تقليل الفاقد وتحقيق أعلى درجات الكفاءة، أصبح لازماً على المنشآت تبني استراتيجيات صيانة أكثر تطوراً وذكاءً، قادرة على استباق المشكلات الفنية والتعامل معها قبل تفاقمها (Emroozi، 2025).

برزت تقنيات الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence) كأداة استراتيجية واعدة في مجال الصيانة الصناعية، لما لها من قدرة على تحليل كميات ضخمة من البيانات الصناعية، واستخلاص الأنماط السلوكية للمعدات والأنظمة التشغيلية، والتنبؤ بالأعطال المحتملة بدقة زمنية ومكانية عالية. يُمكن الذكاء الاصطناعي المؤسسات الصناعية من الانتقال من النماذج التقليدية إلى نموذج "الصيانة التنبؤية" (Predictive Maintenance)، الذي يركز على رصد الأداء الفعلي للمعدات في الزمن الحقيقي، والاستفادة من البيانات الناتجة عن أجهزة الاستشعار وتقنيات إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT) لبناء خوارزميات قادرة على التنبؤ بالمشكلات الفنية قبل حدوثها فعلياً (Bouabdallaoui، 2021).

إن تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة يفتح آفاقاً جديدة لتحسين الأداء التشغيلي، حيث يُسهم في تقليل فترات التوقف غير المخطط لها، وزيادة الاعتمادية التشغيلية للمعدات، ورفع مستوى السلامة، وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة الطارئة أو استبدال المعدات. وبالإضافة إلى ذلك، فإن هذه التقنية تدعم اتخاذ القرار في المستويات الإدارية العليا من خلال توفير لوحات تحكم متقدمة، وتحليلات تنبؤية دقيقة، تتيح للمسؤولين توجيه الموارد البشرية والمالية نحو الأولويات الفعلية، بدلاً من اعتماد التقديرات أو التجارب السابقة (Murtaza، 2024).

ومن الناحية التقنية، يُعتمد في هذا السياق على مجموعة من أدوات الذكاء الاصطناعي، أبرزها خوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning)، التي تُستخدم لتدريب النماذج على بيانات الأداء السابقة،

من أجل التنبؤ بالأعطال المستقبلية. كما تُستخدم الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks)، ونماذج الغابات العشوائية (Random Forests)، وتقنيات تحليل الانحدار، وغيرها من الخوارزميات الذكية، في استكشاف العلاقات الخفية بين متغيرات الأداء والبيئة التشغيلية للمعدات الصناعية (Molęda، 2023).

تسعى هذه الدراسة التطبيقية إلى تحليل مدى فاعلية استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في بيئة صناعية حقيقية، من خلال استعراض التجربة الفعلية لتطبيق هذه التقنيات ضمن أحد المرافق الصناعية المتقدمة. كما تهدف إلى تقديم إطار نظري وتطبيقي متكامل يعالج المحاور التالية: الفوائد المتحققة من دمج الذكاء الاصطناعي في أنظمة الصيانة، التحديات المرتبطة بتبني هذه التكنولوجيا، المتطلبات التقنية والبشرية اللازمة لضمان نجاح التطبيق، وأثر ذلك على مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) داخل المنشأة (Ibrahim، 2022).

تعتبر هذه الدراسة ذات أهمية خاصة في ظل التحوّل الرقمي الذي يشهده القطاع الصناعي العالمي، حيث تمثل نقلة نوعية في التفكير الإداري والفني، وتسهم في بناء ثقافة جديدة قائمة على التحليل الاستباقي للبيانات واتخاذ القرارات المدعومة بالذكاء الصناعي. كما أنها توفر للممارسين وصنّاع القرار مرجعية علمية يمكن الاستناد إليها في تطوير استراتيجيات صيانة قائمة على تقنيات الجيل الرابع للصناعة (Industry 4.0)، بما يحقق الأهداف التشغيلية والتنموية للمؤسسات الصناعية (Thomas، 2022).

1.2. مشكلة الدراسة

رغم التقدم المتسارع في مجالات الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته الصناعية، لا يزال الجانب النظري في هذا المجال يعاني من عدد من الفجوات البحثية المتعلقة بتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة الصيانة، وخصوصًا في البيئات الصناعية المعقدة. فالدراسات النظرية المتاحة غالبًا ما تركز على الجوانب التقنية الصرفة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي مثل التعلم الآلي أو تحليل البيانات الضخمة، دون الربط الكافي بين هذه التقنيات وبين مفاهيم إدارة الصيانة بمختلف مستوياتها (الوقائية، التصحيحية، التنبؤية). بالإضافة إلى ذلك، يلاحظ وجود نقص في النماذج النظرية الشاملة التي توضح آليات دمج الذكاء الاصطناعي في دورة الصيانة كعملية إدارية متكاملة تشمل التخطيط، التنفيذ، المراقبة، والتقييم. كما أن الإطار المفاهيمي للعلاقة بين الذكاء

الاصطناعي والتحسين المستدام في الأداء التشغيلي والصياني لا يزال غير مكتمل في كثير من الأدبيات، مما يحدّ من إمكانية بناء أطر مرجعية يمكن تعميمها على القطاعات الصناعية المختلفة (Shrivastav، 2022).

1.2.1. فجوات على المستوى النظري:

رغم التقدم المتسارع في مجالات الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته الصناعية، لا يزال الجانب النظري في هذا المجال يعاني من عدد من الفجوات البحثية المتعلقة بتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة الصيانة، وخصوصًا في البيئات الصناعية المعقدة. فالدراسات النظرية المتاحة غالبًا ما تركز على الجوانب التقنية الصرفة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي مثل التعلم الآلي أو تحليل البيانات الضخمة، دون الربط الكافي بين هذه التقنيات وبين مفاهيم إدارة الصيانة بمختلف مستوياتها (الوقائية، التصحيحية، التنبؤية). بالإضافة إلى ذلك، يلاحظ وجود نقص في النماذج النظرية الشاملة التي توضح آليات دمج الذكاء الاصطناعي في دورة الصيانة كعملية إدارية متكاملة تشمل التخطيط، التنفيذ، المراقبة، والتقييم. كما أن الإطار المفاهيمي للعلاقة بين الذكاء الاصطناعي والتحسين المستدام في الأداء التشغيلي والصياني لا يزال غير مكتمل في كثير من الأدبيات، مما يحدّ من إمكانية بناء أطر مرجعية يمكن تعميمها على القطاعات الصناعية المختلفة (Shrivastav، 2022).

1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي:

أما على الصعيد التطبيقي، فإن كثيرًا من المنشآت الصناعية – خاصة في العالم العربي – لم تصل بعد إلى مستوى النضج في استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن عملياتها التشغيلية، وخاصة في مجال الصيانة والتنبؤ بالأعطال. وتُظهر الممارسات الميدانية تفاوتًا كبيرًا في تبني هذه التقنيات، حيث تعتمد معظم المرافق الصناعية على أساليب تقليدية في إدارة الصيانة، دون استغلال الإمكانيات المتقدمة التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي، مثل الصيانة التنبؤية المدعومة بالخوارزميات الذكية وتحليل البيانات الحية من أجهزة الاستشعار. كما أن العديد من الدراسات التطبيقية تفتقر إلى التقييم الكمي الدقيق للأثر الفعلي لتطبيق الذكاء الاصطناعي على مؤشرات الأداء الرئيسية، مثل تقليل الأعطال، تحسين زمن الاستجابة، وخفض التكاليف التشغيلية. وهذا يشير إلى وجود فجوة تطبيقية واضحة تستدعي إجراء دراسات ميدانية تحليلية تقيس بموضوعية أثر هذه التقنيات، وتقدم نماذج واقعية قابلة للتكرار والتطبيق في بيئات صناعية مماثلة (Uçar، 2024).

1.3. أهمية الدراسة

1.3.1. على المستوى النظري:

تساهم هذه الدراسة في سد فجوة معرفية مهمة في الأدبيات العلمية المتعلقة بتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة الصيانة في المرافق الصناعية. فبينما شهدت البحوث العلمية توسعاً ملحوظاً في دراسة تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجالات الإنتاج وسلاسل التوريد، إلا أن التطبيقات النظرية للذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة لا تزال محدودة من حيث النطاق والعمق. تأتي أهمية هذه الدراسة في تقديم إطار نظري يجمع بين مفاهيم الإدارة الصناعية والذكاء الاصطناعي، ويركّز على آليات التنبؤ بالأعطال وتحسين اتخاذ القرار الصياني بناءً على البيانات والتحليلات الذكية. كما تسعى الدراسة إلى إثراء الحقل الأكاديمية ذات الصلة، لا سيما في مجالات الهندسة الصناعية، وإدارة العمليات، وتقنيات Industry 4.0، من خلال تقديم نموذج علمي تطبيقي يمكن البناء عليه في دراسات مستقبلية، سواء للتوسع المفاهيمي أو للمقارنة بين القطاعات (Balasubramanian، 2023).

1.3.2. على المستوى التطبيقي:

تبرز أهمية الدراسة التطبيقية في قدرتها على تقديم حلول عملية وواقعية لمشكلات تواجهها المنشآت الصناعية في بيئات العمل الحقيقية، خصوصاً في ما يتعلق بارتفاع تكاليف الصيانة، وزيادة فترات التوقف المفاجئ، وانخفاض الكفاءة التشغيلية. فمن خلال تحليل تطبيق فعلي لتقنيات الذكاء الاصطناعي داخل أحد المرافق الصناعية، توفر الدراسة دليلاً عملياً حول كيف يمكن للتكنولوجيا الذكية أن تسهم في إحداث تحول جذري في منهجيات الصيانة التقليدية، عبر الانتقال إلى نماذج أكثر دقة وتنبؤاً. كما تساعد نتائج الدراسة أصحاب القرار في المنشآت الصناعية على تبني استراتيجيات صيانة مبنية على البيانات والذكاء الاصطناعي، مما يعزز من موثوقية المعدات، ويطيل عمر الأصول، ويخفض التكاليف المرتبطة بالإصلاحات الطارئة والخسائر الناتجة عن الأعطال. علاوة على ذلك، فإن الدراسة توفر مؤشرات أداء واقعية (KPIs) قابلة للقياس، يمكن استخدامها كمرجعية لتقييم فعالية أي مبادرة مستقبلية تتعلق بتطبيق الذكاء الاصطناعي في مجالات الصيانة والإدارة الفنية (Ekwomadu، 2024).

1.4. أسئلة الدراسة

السؤال الرئيسي:

- ما مدى فاعلية استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال داخل المرافق الصناعية، من حيث تقليل الأعطال، وتحسين الكفاءة التشغيلية، ورفع موثوقية الأصول الصناعية؟

الأسئلة الفرعية:

1. ما أبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة حالياً في مجال إدارة الصيانة الصناعية، وكيف يمكن توظيفها في التنبؤ بالأعطال؟
2. إلى أي مدى يسهم استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين عملية اتخاذ القرار في إدارة الصيانة داخل المرافق الصناعية؟
3. ما أثر تطبيق الذكاء الاصطناعي على تقليل أوقات التوقف المفاجئ وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة الطارئة؟
4. ما التحديات الفنية والإدارية التي تواجه المرافق الصناعية عند تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي؟
5. ما مدى رضا الفرق الفنية والإدارية في المنشأة الصناعية عن فعالية الأنظمة الذكية المستخدمة في مراقبة حالة المعدات والتنبؤ بأعطالها؟

1.5. أهداف الدراسة

الهدف الرئيسي:

- تحديد مدى فاعلية استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، وذلك من خلال تقييم تأثيرها على تحسين الأداء التشغيلي وتقليل الأعطال وتعزيز موثوقية المعدات.

➤ الأهداف الفرعية:

1. تحليل وتقييم التقنيات المختلفة للذكاء الاصطناعي المستخدمة في مجال إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال داخل المرافق الصناعية.
2. دراسة أثر تطبيق الذكاء الاصطناعي على تحسين دقة وكفاءة اتخاذ القرار في عمليات الصيانة.
3. قياس مدى تأثير استخدام الذكاء الاصطناعي في تقليل فترات التوقف المفاجئ وزيادة استمرارية تشغيل المعدات.
4. التعرف على التحديات التي تواجه المنشآت الصناعية عند تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي واقتراح الحلول المناسبة.
5. تقييم مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية عن الأنظمة الذكية المستخدمة في مراقبة حالة المعدات والتنبؤ بالأعطال.

1.6. فرضيات الدراسة

➤ الفرضية الرئيسية

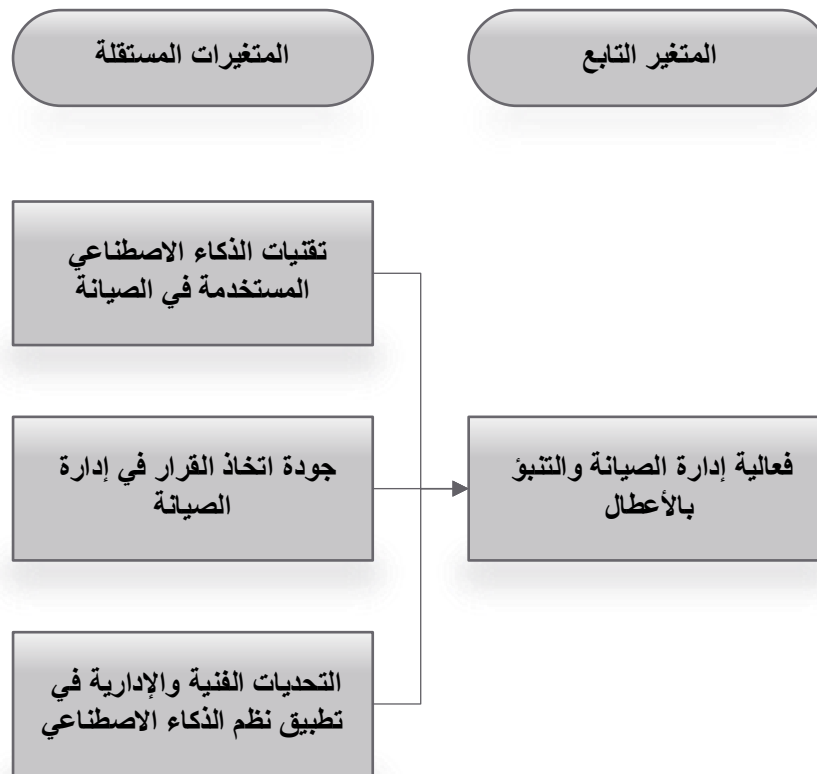
- تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة.

➤ الفرضيات الفرعية:

1. هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.
2. استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية.
3. تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات.
4. التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

5. هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

1.7. نموذج الدراسة



المصدر: إعداد الباحث

1.8. منهجية الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على المنهجية الكمية، التي تركز على جمع وتحليل البيانات الرقمية من خلال أدوات بحث منهجية تهدف إلى قياس وتحليل العلاقات بين المتغيرات المرتبطة بفاعلية استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. وتتميز المنهجية الكمية بقدرتها على تقديم نتائج موضوعية قابلة للقياس، والتحليل الإحصائي، مما يسهم في اختبار الفرضيات العلمية بشكل دقيق. كما تتيح هذه المنهجية تعميم النتائج على مجتمع الدراسة، وتوفر إطاراً منهجياً منظماً لدراسة الظاهرة محل البحث.

- تصميم الدراسة وأسلوب البحث

تم تصميم الدراسة على أساس الدراسة الوصفية التحليلية التي تهدف إلى وصف وتحليل واقع استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في المرافق الصناعية، مع التركيز على قياس مدى تأثيرها في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. يعتمد البحث على الأسلوب الاستقصائي (Survey) من خلال توزيع استبانة منظمة ومقننة على عينة الدراسة، بهدف جمع البيانات الأولية المتعلقة بمتغيرات الدراسة. كما تتضمن الدراسة تحليلاً إحصائياً للعلاقات بين المتغيرات باستخدام تقنيات تحليل البيانات الوصفية والاستدلالية.

- عينة الدراسة

تم اختيار عينة الدراسة بطريقة العينة العشوائية الطبقية لضمان تمثيل شامل لمختلف الأقسام الفنية والإدارية المرتبطة بعمليات الصيانة داخل المرافق الصناعية المختارة. تضم العينة عدداً من المهندسين والفنيين ومديري الصيانة، بالإضافة إلى أعضاء الفرق التقنية المعنيين بتطبيق الذكاء الاصطناعي في المرافق. وقد تم تحديد حجم العينة بناءً على معادلات حسابية تضمن التمثيل الإحصائي المناسب، مع مراعاة نسب الاستجابة المتوقعة لضمان جودة البيانات وتحقيق أهداف الدراسة.

- أدوات جمع البيانات

تم استخدام استبانة بحثية مصممة خصيصاً لهذا الغرض، تتضمن مجموعة من الأسئلة المغلقة المفتوحة التي تغطي أبعاد المتغيرات المستقلة والتابعة. تم تطوير الاستبانة بناءً على مراجعة الأدبيات العلمية والدراسات السابقة، مع اعتماد مقياس ليكرت لخمس درجات لقياس مواقف وآراء أفراد العينة تجاه كل جانب من جوانب الدراسة. قبل توزيعها، خضعت الاستبانة لمرحلة تجريبية لاختبار صلاحيتها وثباتها من خلال حساب معامل ألفا كرونباخ.

- إجراءات جمع البيانات

بدأ جمع البيانات بتنسيق المواعيد مع الجهات المختصة داخل المنشآت الصناعية المعنية، وضمان موافقتها على إجراء البحث. ثم تم توزيع الاستبانة إلكترونياً وورقياً على أفراد العينة المحددة، مع تقديم شرح وافي عن أهداف البحث وأهمية المشاركة لضمان أعلى معدلات استجابة ممكنة. كما تم متابعة عملية الجمع بشكل دوري لضمان استلام البيانات كاملة وصحيحة، مع التأكد من سرية المعلومات وخصوصيتها وفقاً للأخلاقيات البحثية المعتمدة.

- طرق تحليل البيانات

تم تحليل البيانات باستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SPSS) ، حيث أُجري تحليلاً وصفيًا لخصائص العينة وملامح المتغيرات، بالإضافة إلى تحليل استدلالي لاختبار الفرضيات باستخدام اختبارات مثل معامل الارتباط، اختبار (t) ، وتحليل الانحدار المتعدد لتحديد أثر المتغيرات المستقلة على المتغير التابع. كما تم فحص صلاحية وثبات أدوات القياس، والتأكد من تطابق البيانات مع الفرضيات من خلال المؤشرات الإحصائية ذات الدلالة.

1.9. الدراسة الميدانية

تعتبر الدراسة الميدانية حجر الزاوية في هذا البحث، حيث تمثل الوسيلة الأهم لجمع البيانات الواقعية والمباشرة من بيئة العمل الحقيقية في المرافق الصناعية التي تطبق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة والتننبؤ بالأعطال. وتهدف هذه الدراسة إلى التعرف على مدى فعالية هذه التقنيات في تحسين العمليات التشغيلية وتقليل الأعطال، من خلال رصد وتحليل التجربة التطبيقية في منشأة صناعية محددة.

تم اختيار موقع الدراسة بعناية، بحيث يكون نموذجاً تمثيلاً للقطاع الصناعي الذي يشهد تحولاً رقمياً واعتماداً متزايداً على الذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد والمعدات. وقد شملت الدراسة جمع البيانات من مختلف المصادر، مثل سجلات الصيانة، تقارير الأعطال، وأنظمة مراقبة حالة المعدات، بالإضافة إلى استبيانات موجهة إلى الكوادر الفنية والإدارية المعنية بالصيانة. يتيح هذا التنوع في مصادر البيانات توفير رؤية شاملة ومتعددة الأبعاد حول مدى استفادة المنشأة من التقنيات الذكية، كما يسمح بقياس التأثيرات الحقيقية للذكاء الاصطناعي على الأداء التشغيلي.

تتميز الدراسة الميدانية بكونها تعتمد على منهجية كمية تهدف إلى تحليل المعلومات بشكل إحصائي موضوعي، مما يسهل اختبار الفرضيات والتأكد من صحة العلاقات المتوقعة بين المتغيرات المدروسة. ويُعد

هذا الجانب مهمًا للغاية، حيث يضيف مصداقية علمية للنتائج التي توصلت إليها الدراسة، ويوفر قاعدة بيانات يمكن الاعتماد عليها في صياغة التوصيات العملية التي تدعم تطوير استراتيجيات الصيانة المستقبلية.

ساهمت الدراسة الميدانية في التعرف على التحديات والعقبات التي تواجه المنشأة أثناء تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي، سواء كانت فنية أو إدارية، مما يثري البحث بفهم أعمق للعوامل المؤثرة على نجاح أو فشل هذه التطبيقات. كما قدمت الدراسة صورة واضحة عن مدى جاهزية الكوادر البشرية وقدرتهم على التعامل مع التكنولوجيا الحديثة، ومدى استعداد المنشأة للاستثمار في التحول الرقمي لمجال الصيانة.

إن هذه الدراسة الميدانية لا تقتصر على تقديم بيانات كمية فقط، بل تسهم في بناء تصور متكامل حول واقع تطبيق الذكاء الاصطناعي في المرافق الصناعية، مما يفتح آفاقًا لتحسينات مستمرة تستند إلى الأدلة العملية الميدانية، ويشكل قاعدة صلبة للبحث العلمي والتطوير المستقبلي في هذا المجال الحيوي.

1.10. مخطط المشروع المقترح

المرحلة	الأنشطة الرئيسية	الأهداف	المدة الزمنية	المخرجات المتوقعة
التحضير والتخطيط	مراجعة الأدبيات والمراجع العلمية	وضع خطة واضحة ومنهجية للدراسة	0.5 شهر	خطة بحثية مفصلة مع جدول زمني
	تحديد أدوات جمع البيانات	تصميم الاستبانة وأدوات القياس		أدوات جمع بيانات جاهزة للاستخدام
	التنسيق مع الجهات المشاركة	الحصول على الموافقات اللازمة		موافقات رسمية من المؤسسات المشاركة
جمع البيانات	توزيع الاستبانة على المشاركين	جمع بيانات ميدانية دقيقة وموثوقة	1 شهر	مجموعة بيانات مكتملة وصحيحة
	إجراء مقابلات مع خبراء مختارين	تعميق الفهم حول التحديات والفرص		ملاحظات ومعلومات نوعية داعمة
تحليل البيانات	تنظيف وترتيب البيانات	التأكد من جودة البيانات ودقتها	1 شهر	بيانات جاهزة للتحليل

نتائج إحصائية تدعم أو ترفض الفرضيات		اختبار الفرضيات وتحليل العلاقات بين المتغيرات	استخدام البرامج الإحصائية (SPSS) وغيرها	
جداول ورسوم بيانية وتفسيرية مفصلة		توضيح النتائج وتفسيرها	إعداد الرسوم البيانية والتقارير التحليلية	
تقرير نهائي متكامل يشمل كافة أجزاء الدراسة	1 شهر	تقديم بحث متكامل وموثق	صياغة نتائج الدراسة والتوصيات	إعداد التقرير النهائي
تقرير معد للنشر أو العرض		ضمان دقة وسلاسة المحتوى	مراجعة التقرير وتنقيحه	
عرض تقديمي شامل + ملاحظات وردود فعل من الجمهور	0.5 شهر	نشر المعرفة والاستفادة العملية	تقديم العرض في مؤتمرات أو ورش عمل	عرض النتائج
مخرجات نقاشية تعزز من جودة البحث وتطبيقه المستقبلي		الحصول على تقييمات وملاحظات لتحسين البحث	مناقشة نتائج الدراسة مع الجهات المعنية	

- Balasubramanian, S. (2023). Integration of Artificial Intelligence in the Manufacturing Sector: A Systematic Review of Applications and Implications. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/378658423_Integration_of_Artificial_Intelligence_in_the_Manufacturing_Sector_A_Systematic_Review_of_Applications_and_Implications
- Bouabdallaoui, Y. (2021). Predictive Maintenance in Building Facilities: A Machine Learning-Based Approach. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/349034100_Predictive_Maintenance_in_Building_Facilities_A_Machine_Learning-Based_Approach
- Ekwomadu, C. C. (2024). Integrating AI-Driven Predictive Maintenance and Process Control in Industrial Automation for Sustainable FMCG Manufacturing. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/388192883_Integrating_AI-Driven_Predictive_Maintenance_and_Process_Control_in_Industrial_Automation_for_Sustainable_FMCG_Manufacturing
- Emroozi, V. B. (2025). Enhancing industrial maintenance planning: Optimization of human error reduction and spare parts management. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214716025000120>
- Ibrahim, H. (2022). Artificial intelligence for predictive maintenance. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/362100787_Artificial_intelligence_for_predictive_maintenance
- Molęda, M. (2023). From Corrective to Predictive Maintenance—A Review of Maintenance Approaches for the Power Industry. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/13/5970>
- Murtaza, A. A. (2024). Paradigm shift for predictive maintenance and condition monitoring from Industry 4.0 to Industry 5.0: A systematic review, challenges and case study. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024011903>
- Shrivastav, M. (2022). Barriers Related to AI Implementation in Supply Chain Management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/359742265_Barriers_Related_to_AI_Implementation_in_Supply_Chain_Management

Thomas, J. (2022). An analysis of predictive maintenance strategies in supply chain management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/384120067_An_analysis_of_predictive_maintenance_strategies_in_supply_chain_management

Uçar, A. (2024). Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/377605141_Artificial_Intelligence_for_Predictive_Maintenance_Applications_Key_Components_Trustworthiness_and_Future_Trends