

جامعة ميد أوشن



كلية الإدارة

تخصص إدارة الأعمال

دور الصيانة التنبؤية في تعزيز الإنتاجية في الصناعات الهندسية:

دراسة تطبيقية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض

إعداد الطالب/

سلطان عثمان الشخي

243002118

أ.د / الفيصل عبد الحميد

العام الدراسي:

2025



إِهْدَاء

إلى أظهر قلبين في حياتي... والديّ العزيزين.

إلى من شاركني السراء والضراء، ولم أرها عابسة يوماً.... زوجتي

المخلصة.

إلى من أتشوّق لأن أرى مستقبلهما المشرق بإذن الله..... ابنتيّ الغاليتين.

إلى جموع الأقارب والأصدقاء

أهديكم بحثي، وأدعو الله أن يحوز إعجابكم.

شكر وتقدير

نحمد الله عزوجل الذي وفقنا في إتمام هذا البحث العلمي،

والذي ألهمنا الصحة والعافية والعزيمة.

فالحمد لله حمداً كثيراً

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذة الدكتورة /

د. الفيصـل عبد الحميد

على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستنا في

جوانبها المختلفة.

والشكر والتقدير موصول إلى إدارة جامعة ميد أوغن ممثلة بالكادر الأكاديمي والإداري، لما

قدموه من تسهيلات وتشجيع وتوفير الخدمات المطلوبة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل من لم يسعنا الحظ بذكر أسمائهم راجياً من المولي عز

وجل أن تكون هذه الدراسة نافذة لدراسات أخرى .

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على أثر الصيانة التنبؤية بأبعادها الثلاثة (التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، تحسين جداول الصيانة) في تعزيز الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض، واستخدم الباحث المنهج الوصفي التحليلي، وتم توزيع عدد (360) استبانة على أفراد العينة المستهدفة، وتم استرداد (347) استبانة صالحة للتحليل الإحصائي، بنسبة استرداد بلغت 96.4%.

وقد أظهرت نتائج الدراسة وجود علاقة طردية ذات دلالة إحصائية بين ممارسات الصيانة التنبؤية وتعزيز الإنتاجية، حيث تبين أن بُعد "تحسين جداول الصيانة" كان الأعلى تأثيراً يليه "التنبؤ بالأعطال" ثم "تحليل البيانات"، كما أوضحت النتائج أن تبني تقنيات الصيانة التنبؤية يساهم في تقليل فترات التوقف المفاجئ، وتحسين جودة الإنتاج، وتقليل الهدر، مما ينعكس إيجاباً على المخرجات الكلية للمؤسسة.

وقد أوصت الدراسة بضرورة الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لتطوير منظومات الصيانة، وتدريب الكوادر الفنية على قراءة وتحليل البيانات التشغيلية، إضافة إلى دمج ممارسات الصيانة الذكية ضمن الخطط الاستراتيجية للمؤسسات الصناعية، بما يضمن استدامة الإنتاج وتحقيق ميزة تنافسية في بيئة أعمال ديناميكية.

الكلمات المفتاحية: الصيانة التنبؤية، التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، جداول الصيانة، الإنتاجية،

الصناعات الهندسية، الرياض.

قائمة المحتويات

أ	بسم الله الرحمن الرحيم.....
ب	الإهداء.....
ج	الشكر والتقدير.....
د	المستخلص.....
هـ	قائمة المحتويات.....
ط	قائمة الجداول.....
1	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة.....
1	المقدمة.....
2	1.1 مشكلة الدراسة:.....
4	2.1 أهمية الدراسة:.....
4	1.2.1 الأهمية العلمية:.....
4	2.2.1 الأهمية العملية:.....
5	3.1 أهداف الدراسة:.....
5	4.1 تساؤلات الدراسة.....
6	5.1 فروض الدراسة:.....
7	6.1 الدراسات السابقة:.....
13	7.1 الفجوة البحثية.....
14	8.1 المنطلقات النظرية للدراسة:.....

9.1 المنهجية وطرق البحث:	16
10.1 مصادر جمع البيانات:	16
11.1 أدوات الدراسة:	17
12.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة:	17
13.1 حدود الدراسة:	18
الفصل الثاني: الإطار النظري:	19
المبحث الأول: الصيانة التنبؤية:	19
التمهيد:	19
1.1.2 مفهوم الصيانة التنبؤية:	19
2.1.2 أهمية الصيانة التنبؤية:	20
3.1.2 أهداف الصيانة التنبؤية:	21
4.1.2 أبعاد الصيانة التنبؤية:	23
المبحث الثاني: الإنتاجية في الصناعات الهندسية:	26
التمهيد:	26
1.2.2 مفهوم الإنتاجية:	26
2.2.2 أهمية الإنتاجية في المنشآت الصناعية:	27
3.2.2 مؤشرات قياس الإنتاجية في الصناعات الهندسية:	28
4.2.2 العوامل المؤثرة في الإنتاجية في الصناعات الهندسية:	30
الفصل الثالث: منهجية وإجراءات الدراسة:	33
مقدمة:	33

33	1.3 المنهجية وطرق البحث:
33	2.3 مجتمع وعينة الدراسة:
34	3.3 مصادر جمع البيانات:
34	4.3 أداة الدراسة:
36	5.3 المعالجة الإحصائية للبيانات:
37	6.3 صدق أداة الدراسة:
43	7.3 ثبات أداة الدراسة:
44	الفصل الرابع: تحليل النتائج
44	مقدمة
44	1.4 خصائص عينة الدراسة
45	2.4 تحليل استمارة الاستبيان
45	٢ المحور الأول: الصيانة التنبؤية
50	٢ المحور الثاني: تعزيز الإنتاجية
53	3.4 اختبار فروض الدراسة
58	الفصل الخامس: النتائج والتوصيات والمقترحات
58	مقدمة
58	1.5 نتائج الدراسة
61	2.5 التوصيات
63	Abstract
64	قائمة المراجع

64	أولاً: المراجع العربية.....
65	ثانياً: المراجع الأجنبية.....
69	الملاحق.....
70	استمارة استبيان.....

قائمة الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	رقم الصفحة
1.	جدول (1) مستويات موافقة عينة الدراسة على عبارات أداة الدراسة	36
2.	جدول (2): معاملات الارتباط لعبارات بعد التنبؤ بالأعطال	37
3.	جدول (3): فقرات معاملات الارتباط لعبارات بعد تحليل البيانات	38
4.	جدول (4): فقرات معاملات الارتباط لعبارات تحسين جداول الصيانة	39
5.	جدول (5): فقرات معاملات الارتباط لعبارات محور تعزيز الإنتاجية	41
6.	جدول (6) معامل الثبات لمحاو استمارة الاستبيان	43
7.	جدول (7) توزيع عينة الدراسة وفقا لخصائصها	44
8.	جدول (8) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات التنبؤ بالأعطال	46
9.	جدول (9) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات تحليل البيانات	47
10.	جدول (10) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات تحسين جداول الصيانة	49
11.	جدول (11) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات تعزيز الإنتاجية	51

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
53	جدول (12) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر للصيانة التنبؤية على تعزيز الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض..	12.
54	جدول (13) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر للتنبؤ بالأعطال كأحد أبعاد الصيانة التنبؤية على تعزيز الإنتاجية	13.
55	جدول (14) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر لتحليل البيانات كأحد أبعاد الصيانة التنبؤية على تعزيز الإنتاجية	14.
57	جدول (15) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر لتحسين جداول الصيانة كأحد أبعاد الصيانة التنبؤية على تعزيز الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض	15.

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

المقدمة

تعتبر الصيانة التنبؤية من الأدوات الحديثة التي تساهم في تحسين عمليات الصيانة داخل الشركات الصناعية. هي عملية تعتمد على التحليل البياني والتنبؤ بالأعطال باستخدام التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة، و تهدف إلى تقليل الأعطال المفاجئة عن طريق التنبؤ بالمشكلات المستقبلية للأجهزة والآلات قبل وقوعها، كما تعتمد هذه العملية على البيانات التشغيلية الحية التي تجمعها المستشعرات عن حالة الآلات، وتحليل هذه البيانات لتقديم إشارات مبكرة تدل على وجود خلل محتمل. (Er-Ratby et al., 2024)

وتساهم التقنيات المتقدمة مثل الذكاء الاصطناعي، التعلم الآلي، والتعلم العميق في تحسين دقة التنبؤ بالأعطال، كما توفر هذه التقنيات قدرة على تحليل كميات ضخمة من البيانات بشكل أكثر دقة وسرعة من الأساليب التقليدية، مما يساهم في تقديم قرارات صيانة دقيقة وتوجيه الأنشطة بشكل استباقي. (Khan, 2024).

وتُعد تحسين جداول الصيانة من الجوانب الهامة للصيانة التنبؤية، فبدلاً من إجراء الصيانة بناءً على جداول زمنية ثابتة، تعتمد الصيانة التنبؤية على التنبؤ الفعلي بحالة المعدات، مما يسمح بإجراء الصيانة فقط عندما يكون ذلك ضرورياً، وبالتالي تقليل الفترات الزمنية غير الضرورية التي قد تسبب في تعطيل الإنتاج، ويمكن لجداول الصيانة التنبؤية أن تساهم في تحسين الكفاءة التشغيلية والتقليل من التكاليف المرتبطة بالتوقفات غير المخطط لها. (Ram et al., 2024)

تعتبر الإنتاجية في الشركات الصناعية من أهم المؤشرات التي تقيس مدى نجاح العمليات التشغيلية، وتتأثر الإنتاجية بالعديد من العوامل مثل كفاءة الآلات، عمليات الصيانة، وتوقيت تنفيذها، فمن خلال تطبيق الصيانة التنبؤية، يمكن تقليل التوقفات غير المخططة وزيادة كفاءة المعدات، مما

يساهم بشكل كبير في تحسين الإنتاجية، كما أن التنبؤ بالأعطال يساعد على تجنب التوقفات الطويلة، وبالتالي تحسين تدفق العمل وتقليل فترات الانتظار. (Rao et al., 2024)

تعد التكاليف التشغيلية من العوامل الرئيسية التي تؤثر على الإنتاجية داخل الشركات الصناعية. تتطلب الصيانة التقليدية عادةً فترات توقف طويلة وصيانة غير مخطط لها قد تؤدي إلى تكاليف إضافية، فمن خلال استخدام الصيانة التنبؤية، يمكن تقليل هذه التكاليف من خلال الحد من فترات التوقف غير المخططة، مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل تكاليف الصيانة. (Kshirsagar et al., 2024).

وتؤثر الصيانة التنبؤية بشكل مباشر على الإنتاجية من خلال تقليل التوقفات غير المخططة وتحسين كفاءة المعدات، ففي حال كانت الشركات الصناعية تعتمد على تقنيات الصيانة التنبؤية، فإنها تتمكن من تحسين الأداء العام من خلال تقليل التكاليف وزيادة فعالية استخدام الموارد المتاحة، فمن خلال التنبؤ بالأعطال وتنفيذ الصيانة في الوقت المناسب، يمكن تجنب الأعطال المفاجئة التي تعيق الإنتاج وتؤثر على القدرة التنافسية للشركات. (Ram et al., 2024)

ويعزز تحليل البيانات في الصيانة التنبؤية القدرة على تحسين جداول الصيانة بناءً على التنبؤات الدقيقة، مما يؤدي إلى تحسين استخدام الآلات وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها، وبدوره يساهم في تحسين الإنتاجية الكلية للشركات الصناعية من خلال الحفاظ على استمرارية العمليات وتحقيق أفضل استفادة من الوقت والموارد. (Er-Ratby et al., 2024)

1.1 مشكلة الدراسة:

تعاني العديد من الشركات الصناعية من تحديات كبيرة فيما يتعلق بالصيانة الفعالة للمعدات والآلات، حيث يعتمد الكثير منها على أساليب الصيانة التقليدية التي قد تؤدي إلى زيادة فترات التوقف غير المخطط لها، مما يؤثر سلباً على الكفاءة الإنتاجية، وأصبحت تمثل حلاً محتملاً لهذه التحديات من خلال التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، مما يساعد في تقليل التكاليف وتحسين الأداء العام، وأن تطبيق هذه

التقنيات في الصناعات الهندسية لم يصل إلى مرحلة النضج الكافي في العديد من الشركات الصناعية، خاصة في المدن الكبرى مثل الرياض.

تشير دراسة (Er-Ratby et al., 2024) إلى أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية يمكن أن يسهم بشكل كبير في تقليل التكاليف وزيادة كفاءة المعدات وتحسين الأداء العام. ومع ذلك، فهناك نقص في الدراسات التي تقدم تحليلاً شاملاً لأثر الصيانة التنبؤية على الإنتاجية في الشركات الصناعية المحلية، مما يجعل من الضروري تسليط الضوء على هذه المشكلة في الرياض كدراسة حالة.

من ناحية أخرى، تؤكد دراسات مثل (Rao et al., 2024) أن التحديات المتعلقة بتطبيق تقنيات مثل التعلم العميق وكشف الأنماط الشاذة، لا زالت قائمة في العديد من الشركات بسبب ضعف جودة البيانات وقلة الاستثمارات في التكنولوجيا الحديثة، مما يؤثر بشكل مباشر على قدرة الشركات على تحقيق الفوائد المرجوة من الصيانة التنبؤية، ما يضيف بُعداً إضافياً لمشكلة الدراسة في فهم كيفية التعامل مع هذه القيود المحلية.

كما أن هناك دراسة (Ram et al., 2024) التي تشير إلى أنه رغم التقدم في تقنيات التحليل البياني والتنبؤي، إلا أن العديد من الشركات الصناعية في الرياض لم تتمكن من تطبيق هذه التقنيات بشكل فعال بسبب القيود التقنية والإدارية. وتتمثل المشكلة الأساسية في محدودية التطبيقات العملية لهذه التقنيات، حيث تقتصر العديد من الشركات على حلول صيانة تقليدية قد تكون غير قادرة على تحسين الأداء على المدى الطويل.

بناءً على ما سبق، فإن أساس مشكلة الدراسة يكمن في الفجوة بين التقنيات المتقدمة مثل الصيانة التنبؤية والتطبيقات العملية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض. تزايد أهمية فهم تأثير الصيانة التنبؤية على الإنتاجية وتقليل التكاليف في هذه الشركات، وكذلك كيفية تجاوز التحديات التي تواجه تطبيق هذه التقنيات بشكل عملي وفعال.

2.1 أهمية الدراسة:

يمكن تقسيم أهمية الدراسة إلى عدة محاور رئيسية على النحو التالي:

1.2.1 الأهمية العلمية:

- تساهم الدراسة في إثراء الأدبيات العلمية المتعلقة بالصيانة التنبؤية في الصناعات الهندسية، من خلال تقديم تحليل علمي ودقيق حول تأثير التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، وتحسين جداول الصيانة على الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض.
- تساعد الدراسة على توسيع نطاق الفهم حول مفهوم الصيانة التنبؤية وتطبيقاتها في الصناعات الهندسية، مما يساهم في زيادة المعرفة الأكاديمية حول استخدام التكنولوجيا الحديثة في هذا المجال.
- يمكن أن تكون هذه الدراسة نقطة انطلاق لأبحاث مستقبلية في نفس المجال، مثل دراسة تطبيقات جديدة للصيانة التنبؤية أو تطوير نماذج جديدة لتحليل البيانات في مجال الصيانة، مما يفتح آفاقاً واسعة للباحثين في هذا المجال.
- تقدم الدراسة نموذجاً علمياً لتقييم فعالية تطبيق الصيانة التنبؤية في الشركات الصناعية، وهو ما يمكن أن يستخدم كمرجع للباحثين الآخرين في دراساتهم المستقبلية.

2.2.1 الأهمية العملية:

- تساهم الدراسة بشكل عملي في تحسين الكفاءة الإنتاجية للشركات الصناعية، من خلال تطبيق استراتيجيات الصيانة التنبؤية التي تساعد في تقليل الأعطال غير المخططة وتقليل فترات التوقف، مما يزيد من قدرة الشركات على إنتاج المزيد بتكلفة أقل.
- تساهم الدراسة في إظهار كيفية تأثير الصيانة التنبؤية في زيادة عمر المعدات، مما يقلل من تكاليف الاستبدال والصيانة الثقيلة، ويسهم في تحسين استدامة العمل داخل الشركات.

➤ توفر الدراسة الأدلة العملية التي تدعم صناع القرار في الشركات الصناعية بمدينة الرياض لاتخاذ قرارات مستنيرة حول تطبيق الصيانة التنبؤية، مما يؤدي إلى تحسين الأداء واتخاذ قرارات استراتيجية فعالة.

3.1 أهداف الدراسة:

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الصيانة التنبؤية بأبعاده (التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، تحسين جداول الصيانة) في تعزيز الإنتاجية في الصناعات الهندسية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض، وتنبثق العديد من الاهداف فرعية :

➤ تحليل العلاقة بين التنبؤ بالأعطال وزيادة الكفاءة الإنتاجية في الصناعات الهندسية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

➤ دراسة دور تحليل البيانات في تعزيز الإنتاجية في الصناعات الهندسية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

➤ تحليل تأثير تحسين جداول الصيانة في تعزيز الإنتاجية في الصناعات الهندسية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

➤ دراسة التحديات التقنية والإدارية التي تواجه الشركات في تطبيق نظم الصيانة التنبؤية في الصناعات الهندسية..

4.1 تساؤلات الدراسة

السؤال الرئيسي: ما دور الصيانة التنبؤية في تعزيز الإنتاجية في الصناعات الهندسية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض ؟ ، وتتفرع منه عدة اهداف فرعية منها :

➤ كيف يؤثر التنبؤ بالأعطال على تحسين الكفاءة الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض؟

➤ ما هو دور تحليل البيانات في تعزيز الإنتاجية وتقليل الأعطال في الشركات الصناعية بمدينة الرياض؟

➤ كيف يسهم تحسين جداول الصيانة في زيادة الإنتاجية وتقليل فترات التوقف في الشركات الصناعية بمدينة الرياض؟

➤ ما هي التحديات التي تواجه الشركات الصناعية في مدينة الرياض عند تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية؟

5.1 فروض الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة فقد أعتمد على مجموعة من الفرضيات الآتية:

الفرضية الرئيسية الأولى: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للصيانة التنبؤية بأبعاده (التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، تحسين جداول الصيانة) في تعزيز الإنتاجية في الصناعات الهندسية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض، وينبثق من هذه الفرضية مجموعة من الفرضيات الفرعية التالية:

➤ الفرضية الفرعية الأولى: يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتنبؤ بالأعطال في تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة الكفاءة الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

➤ الفرضية الفرعية الثانية: يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتحليل البيانات في تحسين فعالية استراتيجيات الصيانة وتقليل الأعطال وزيادة الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

➤ الفرضية الفرعية الثالثة: يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتحسين جداول الصيانة في تقليل التكاليف التشغيلية وزيادة الكفاءة الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

6.1 الدراسات السابقة:

■ دراسة (Er-Ratby et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الذكاء الاصطناعي في تحسين الإنتاجية الصناعية من خلال الصيانة التنبؤية بأبعاده (التنبؤ بفشل الآلات، تقليل التكاليف، تحسين الكفاءة التشغيلية) على أداء الأعمال في صناعة التصنيع، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكونت العينة من 50 شركة صناعية في قطاع التصنيع، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية يسهم بشكل كبير في تقليل التكاليف وزيادة كفاءة المعدات وتحسين الأداء العام، وأوصت الدراسة بضرورة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في أنظمة الصيانة لتقليل الأعطال غير المتوقعة وتحسين الإنتاجية.

■ دراسة (Rao et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية التعلم العميق، أساليب التجميع، وكشف الشذوذ في الصيانة التنبؤية بأبعاده (الدقة، التحديد، الاسترجاع) على استراتيجيات الصيانة في بيئات التصنيع، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي المقارن، وتكونت العينة من مجموعة من النماذج الخوارزمية المستخدمة في تحليل البيانات الصناعية (مثل بيانات الاستشعار وبيانات التشغيل)، وتوصلت نتائج الدراسة إلى وجود اختلافات في فعالية الخوارزميات من حيث الدقة والقدرة على الكشف عن الأنماط الشاذة، وأوصت الدراسة بضرورة تحسين جودة البيانات وزيادة قدرة النماذج على التعميم، بالإضافة إلى توسيع استخدام الاتجاهات الحديثة في التعلم الآلي لتحسين استراتيجيات الصيانة.

■ دراسة (Rani et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية استخدام خوارزمية AdaBoost في تصنيف أنواع توقف الآلات بشكل تنبؤي بأبعاده (الدقة، الكفاءة، الكشف المبكر) على تحسين الإنتاجية والكفاءة في صناعة النسيج، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي القائم على التعلم الآلي، وتكونت العينة من بيانات التشغيل

لآلات الحياكة (مثل سرعة الآلات وبيانات التوقف)، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النظام المقترح حقق دقة تصل إلى 92% في تصنيف أنواع التوقف، مما يساعد في الكشف المبكر عن الأعطال وتنفيذ الصيانة في الوقت المناسب، وأوصت الدراسة بضرورة تطبيق هذا النظام لتحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف في صناعة النسيج.

■ دراسة (Kshirsagar et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية خوارزميات التعلم الآلي (Random Forest، AdaBoost، SVM، Gradient Boosting) في التنبؤ بصيانة الآلات مع دمج خوارزمية تحسين Cuckoo Search لتحسين دقة التنبؤ بأبعاده (الدقة، الكفاءة، تقليل التوقف) على استراتيجيات الصيانة الاستباقية في الصناعات، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي القائم على مقارنة الخوارزميات وتحسينها، وتكونت العينة من بيانات تشغيل الآلات الصناعية، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن دمج خوارزمية Cuckoo Search مع خوارزميات التعلم الآلي يعزز دقة التنبؤ بصيانة الآلات، مما يساعد في تقليل التوقف وتحسين الإنتاجية، وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد استراتيجيات صيانة استباقية باستخدام هذه التقنيات لتحسين استدامة العمليات الصناعية.

■ دراسة (Mohapatra, 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيق الذكاء الاصطناعي التوليدي في الصيانة التنبؤية بأبعاده (التنبؤ بالفشل، تحسين جداول الصيانة، الكفاءة التشغيلية) على تحسين استراتيجيات الصيانة وتقليل التوقف غير المخطط له في الصناعات، واستخدمت الدراسة المنهج التحليلي المقارن بين استراتيجيات الصيانة التفاعلية والوقائية والصيانة التنبؤية، وتكونت العينة من بيانات تشغيل وصيانة معدات صناعية تشمل قراءات الاستشعار، سجلات الصيانة، وظروف البيئة، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النماذج المدعومة بالذكاء الاصطناعي التوليدي مثل الشبكات التوليدية المتنافسة (GANs) والتعلم المعزز أثبتت فاعليتها في التنبؤ بالفشل وتحسين جداول الصيانة، مما يؤدي إلى تقليل التوقف غير المخطط له وزيادة

الإنتاجية، وأوصت الدراسة بتوسيع تطبيقات الذكاء الاصطناعي التوليدي في الصيانة التنبؤية وتبني تقنيات أكثر تطوراً لتعزيز الكفاءة وتقليل التكاليف التشغيلية.

■ دراسة (Ram et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير الصيانة التنبؤية وتحليل الإنتاج باستخدام التقنيات المتقدمة مثل التعلم الآلي وتحليل البيانات في الوقت الفعلي على تحسين كفاءة التصنيع، وتنظيم جداول الصيانة، وتحسين استخدام الموارد في الصناعات، واستخدمت الدراسة المنهج التحليلي القائم على مقارنة التقنيات الرقمية في التصنيع، وتكونت العينة من بيانات العمليات التصنيعية باستخدام أجهزة الاستشعار وأدوات الإنترنت (IoT)، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تكامل الصيانة التنبؤية وتحليل الإنتاج مع استخدام مبدأ فعالية المعدات الكلية (OEE) يساهم في تحسين الكفاءة التشغيلية وضمان جودة المنتج وتحسين تخصيص الموارد، وأوصت الدراسة بتوسيع استخدام التقنيات الرقمية وتحليل البيانات لتحسين استراتيجيات الصيانة وتعزيز استدامة العمليات التصنيعية.

■ دراسة (Khan, 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية تحليل البيانات في الصيانة التنبؤية بأبعاده (التعلم الآلي، إنترنت الأشياء، الذكاء الاصطناعي) على تحسين إدارة الصيانة وتقليل التوقف غير المخطط له وزيادة الكفاءة التشغيلية في الصناعات التحويلية، واستخدمت الدراسة المنهج التحليلي المنهجي في مراجعة الأدبيات الحالية وتقنيات التنبؤ المستخدمة، وتكونت العينة من دراسات وتقارير عن تطبيقات الصيانة التنبؤية باستخدام تقنيات البيانات المتقدمة، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء يعزز دقة التنبؤ بالفشل ويقلل التوقف غير المخطط له، وأوصت الدراسة بضرورة الاستثمار في هذه التقنيات لتطوير أنظمة الصيانة وتحقيق كفاءة أعلى في العمليات التصنيعية.

■ دراسة (Simi & Resmi, 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية الكشف عن الشذوذ القائم على الأوتونكودر وتصنيف الأشجار القرار باستخدام الخصائص المستخرجة في الصيانة التنبؤية بأبعاده (دقة التصنيف، تقليل التوقف، تقليل تكاليف الصيانة) على تحسين أداء وموثوقية الآلات وتقليل التوقف غير المخطط له في البيئات الصناعية، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي القائم على استخدام الخوارزميات المتقدمة مثل الأوتونكودر، وتقنيات التجميع (k-shape)، وتصنيف الأشجار القرار، وتكونت العينة من بيانات مجموعة NASA الخاصة بمحامل الآلات، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن الإطار المقترح حقق دقة 95% باستخدام خوارزمية التصنيف المدعومة (Gradient Boost Classifier)، مما يساهم في تحسين موثوقية الآلات وتقليل التكاليف التشغيلية، وأوصت الدراسة بتبني هذا الإطار في تطبيقات الصيانة التنبؤية لتعزيز الإنتاجية وتحقيق كفاءة أعلى.

■ دراسة (Mathew & Kaur, 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيق تقنيات التنقيب عن البيانات في الصيانة التنبؤية بأبعاده (تحليل البيانات، تحسين العمليات، التفاعل بين الإنسان والآلة) على تحسين جودة الإنتاج وموثوقية الأنظمة في الصناعة التحويلية، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي القائم على تحليل بيانات الإنتاج من خلال تقنيات التحليل المتقدمة، وتكونت العينة من بيانات تتعلق بأداء المعدات وأدوات الإنتاج في بيئات صناعية، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن استخدام الصيانة التنبؤية يساعد في تقليل التوقف غير المخطط له، وتحسين التفاعل بين الإنسان والآلة، وأوصت الدراسة بتطوير أنظمة مراقبة التآكل للمعدات لتحقيق تحسينات إضافية في الجودة والموثوقية.

■ دراسة (Al-Said et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية استخدام نهج هجين من الشبكات العصبية التلافيفية (CNN) والشبكات العصبية طويلة المدى (LSTM) في الصيانة التنبؤية بأبعاده (دقة التنبؤ، تقليل التوقف

غير المخطط له، تحسين موثوقية المكونات) على تحسين التنبؤ بفشل المكونات في الأنظمة الصناعية، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي القائم على تطبيق تقنيات التعلم العميق على بيانات مفتوحة من مجموعة MetroPT الخاصة بوحدة إنتاج الهواء في مركبات المترو، وتكونت العينة من بيانات الأداء الخاصة بالمكونات في هذه الأنظمة، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النموذج الهجين CNN-LSTM حقق دقة عالية تصل إلى 92% في التصنيف الثنائي و97% في التصنيف المتعدد، مما يبرز تفوق هذا النموذج على الأساليب الأخرى، وأوصت الدراسة باستخدام هذا النهج الهجين لتحسين التنبؤ بالصيانة وتقليل التكاليف التشغيلية في الصناعات.

■ دراسة (Meira et al., 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيقات الصيانة التنبؤية (PdM) وتقنياتها في التعامل مع حالة المعدات الصناعية بأبعاده (التقنيات، التطبيقات الواقعية، الأساليب المستخدمة، التحديات) على تحسين كفاءة الأداء الصناعي في ظل الثورة الصناعية 4.0، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لاستكشاف تقنيات وأساليب الصيانة التنبؤية وتطبيقاتها في الواقع الصناعي، وتكونت العينة من مجموعة من الصناعات التي طبقت تقنيات الصيانة التنبؤية مثل أنظمة الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق الصيانة التنبؤية يساعد في تحسين الإنتاجية وتقليل الفاقد، وأوصت الدراسة بضرورة مواجهة التحديات المتعلقة بالتكامل بين الأنظمة المختلفة وزيادة استخدام تقنيات الصيانة التنبؤية لتحسين أداء المعدات في الصناعات الحديثة.

■ دراسة (Onuegbu & Idriss, 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير تقنيات الصيانة التنبؤية على الكفاءة التشغيلية في الشركات الناشئة في مجال التصنيع بأبعاده (عملية التنفيذ، تأثير العمليات، التحديات والعقبات) على تحسين الأداء وتقليل التوقف في هذه الشركات، واستخدمت الدراسة المنهج النوعي من خلال إجراء مقابلات شبه هيكليّة مع 22 مشاركاً من مؤسسي الشركات، ومديري العمليات، وفنيي الصيانة، وتكونت العينة من ممثلين عن الشركات الناشئة في التصنيع، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تقنيات الصيانة التنبؤية ساهمت بشكل كبير

في تحسين الكفاءة التشغيلية من خلال تقليل التوقف، وزيادة الإنتاجية، وتحسين استخدام الموارد، وأوصت الدراسة بتجاوز التحديات التكنولوجية والمالية والإدارية من خلال التخطيط الجيد، ودمج الأنظمة بشكل مناسب، وتوفير التدريب والدعم اللازم.

■ دراسة (STAN et al., 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيق نموذج التوائم الرقمي المبني باستخدام MATLAB للتنبؤ ومنع الأعطال في خطوط الإنتاج المرنة بأبعاده (جمع البيانات، اتخاذ قرارات الصيانة، تقليل التوقف) على تحسين كفاءة الصيانة وتقليل التوقف في عمليات الإنتاج، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي باستخدام أدوات التوائم الرقمي في MATLAB، وتكونت العينة من بيانات خطوط الإنتاج المرنة التي تم جمعها من المعدات والأنظمة المختلفة، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن استخدام التوائم الرقمي ساعد في اتخاذ قرارات صيانة دقيقة بناءً على البيانات الحية، مما أسهم في تقليل التوقف وتحسين أداء الإنتاج، وأوصت الدراسة بتطبيق هذه التقنيات في صناعات أخرى لتحقيق كفاءة أكبر وتقليل الأعطال غير المخطط لها.

■ دراسة (Petroutsatou & Ladopoulos, 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تصميم نظام ذكي متكامل لمراقبة حالة المعدات بناءً على إنتاجيتها وتوفير بيانات تشخيصية تساعد في تحسين عملية الإنتاج، وتنفيذ الصيانة في الوقت المناسب، وزيادة العمر "الاقتصادي" للمعدات، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي باستخدام أجهزة الاستشعار وتقنيات الشبكات اللاسلكية لجمع بيانات أداء المعدات، وتكونت العينة من معدات البناء التي تم تركيب أجهزة استشعار عليها لمراقبة حالتها، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النظام المقترح ساعد في تحسين كفاءة الصيانة وتقليل التأثيرات البيئية السلبية، مما أسهم في تقليل تكاليف المعدات وزيادة استدامتها، وأوصت الدراسة بتوسيع استخدام هذه الأنظمة الذكية في مشاريع البناء لتحقيق كفاءة أعلى وتقليل التكاليف البيئية.

7.1 الفجوة البحثية

تتفق الدراسة الحالية مع العديد من الدراسات السابقة في أن الصيانة التنبؤية تسهم بشكل كبير في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف التشغيلية. على سبيل المثال، دراسة (Er-Ratby et al., 2024) أكدت على أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية يمكن أن يسهم في تقليل التكاليف وزيادة كفاءة المعدات، وهو ما يتماشى مع النتائج المتوقعة في الدراسة الحالية التي تركز على تأثير الصيانة التنبؤية على زيادة الإنتاجية في الصناعات الهندسية. ومع ذلك، بينما تركز دراسات مثل دراسة (Rani et al., 2024) على استخدام خوارزميات محددة مثل AdaBoost لتحسين الدقة في تصنيف التوقفات، فإن الدراسة الحالية تتعامل مع مفهوم أوسع يشمل كافة الأبعاد مثل التنبؤ بالأعطال، وتحليل البيانات، وتحسين جداول الصيانة.

تختلف الدراسة الحالية عن بعض الدراسات الأخرى مثل (Rao et al., 2024) التي ركزت على خوارزميات التعلم العميق في تحسين استراتيجيات الصيانة، حيث إن دراستنا تركز أكثر على الصيانة التنبؤية وتطبيقاتها في الصناعات الهندسية بشكل عام، مع التركيز على تحليل بيانات استشعار الآلات لتوقع الأعطال المحتملة. في المقابل، تركز دراسات مثل (Kshirsagar et al., 2024) على دمج الخوارزميات المختلفة مثل Cuckoo Search وAdaBoost في تحسين دقة التنبؤ، بينما لا تركز دراستنا بشكل كبير على دمج الخوارزميات ولكن على تطبيقات عملية أكثر لصيانة المعدات في بيئات صناعية محددة.

الفجوة الأخرى تكمن في كيفية معالجة بعض الدراسات مثل (Mohapatra, 2024) لتطبيق الذكاء الاصطناعي التوليدي مثل GANs في التنبؤ بالفشل وتحسين جداول الصيانة. في حين أن الدراسة الحالية تركز على أبعاد الصيانة التنبؤية بشكل تقليدي، فإن استخدام الذكاء الاصطناعي التوليدي في دراسات أخرى يمثل تقدماً تقنياً يمكن أن يعزز من دقة وفعالية الصيانة التنبؤية، وهي نقطة تحتاج إلى مزيد من البحث والتطوير في سياق الصناعات الهندسية بمدينة الرياض.

من جهة أخرى، دراسة (Ram et al., 2024) تناولت تأثير التكامل بين الصيانة التنبؤية وتحليل الإنتاج على تحسين الكفاءة التشغيلية في الصناعات التصنيعية باستخدام أدوات التحليل في الوقت الفعلي مثل الإنترنت الأشياء. بينما تتفق الدراسة الحالية مع أهمية التكنولوجيا الحديثة، فإنها تركز بشكل أكبر على تأثير الصيانة التنبؤية على الإنتاجية في الصناعات الهندسية بشكل عام، دون التركيز المباشر على أدوات الإنترنت الأشياء في البيانات التشغيلية.

أخيراً، في حين أن العديد من الدراسات مثل (Meira et al., 2022) استكشفت تطبيقات الصيانة التنبؤية في ظل الثورة الصناعية 4.0، إلا أن الدراسة الحالية تركز أكثر على تأثير هذه التطبيقات في الشركات الصناعية في مدينة الرياض. الفرق الأساسي هنا هو أن دراستنا تتعامل مع بيئة محلية محددة في الرياض، مما يشير إلى وجود فجوة في التطبيقات العملية للصيانة التنبؤية في صناعات محددة في مناطق معينة.

8.1 المنطلقات النظرية للدراسة:

تعريفات الدراسة اصطلاحياً:

1. الصيانة التنبؤية: الصيانة التنبؤية هي مجموعة من الأنشطة التي تهدف إلى استخدام تقنيات تحليل البيانات والتنبؤات المستقبلية لتحديد الأعطال قبل حدوثها في المعدات أو الآلات. تعتمد هذه العملية على مراقبة الأداء الفعلي للمعدات واستخدام الخوارزميات مثل التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات التنبؤية مما يسمح بإجراء الصيانة قبل حدوث الأعطال (Er-Ratby et al., 2024).
2. الذكاء الاصطناعي: الذكاء الاصطناعي هو فرع من علوم الكمبيوتر يهدف إلى تطوير أنظمة قادرة على محاكاة العمليات العقلية البشرية مثل التعلم، والتحليل، واتخاذ القرارات. في مجال الصيانة التنبؤية، يُستخدم الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات الضخمة والتنبؤ بالأعطال بناءً على الأنماط السابقة (Mohapatra, 2024).

3. التعلم الآلي: التعلم الآلي هو فرع من الذكاء الاصطناعي يركز على تطوير الخوارزميات التي تمكن الأنظمة من التعلم والتحسين بناءً على البيانات دون الحاجة إلى برمجة محددة مسبقاً. في الصيانة التنبؤية، يستخدم التعلم الآلي لتحليل البيانات المستخلصة من الأجهزة والمعدات لتحديد الأنماط التي تشير إلى حدوث الأعطال (Khan, 2024).
4. تحليل البيانات: تحليل البيانات هو عملية استخراج المعلومات والأنماط من البيانات الخام باستخدام أدوات إحصائية وتقنيات التحليل. في سياق الصيانة التنبؤية، يُستخدم لتحليل بيانات التشغيل وأداء المعدات لتحديد الأنماط التي يمكن التنبؤ من خلالها بموعد حدوث الأعطال (Ram et al., 2024).
5. تحسين جداول الصيانة: تحسين جداول الصيانة يتضمن جدولاً الأنشطة الصيانة بناءً على التنبؤات والتوقعات الخاصة بعمر المعدات ومستوى أدائها، مما يسمح بتقليل فترات التوقف غير المخطط لها وتحسين استخدام الموارد (Simi & Resmi, 2023).

تعريفات الدراسة إجرائياً:

1. الصيانة التنبؤية: في إطار الدراسة، تُعرف الصيانة التنبؤية بأنها عملية استخدام البيانات الفعلية المستخلصة من الآلات والمعدات الصناعية في مدينة الرياض لتنبؤ الأعطال المستقبلية. ويتم استخدام تقنيات مثل التحليل الإحصائي والتعلم الآلي لتحليل البيانات واتخاذ قرارات صيانة استباقية.
2. الذكاء الاصطناعي: يُعرف الذكاء الاصطناعي في هذه الدراسة بتطبيق تقنيات الحوسبة الذكية لتحليل البيانات المجمعة من المعدات الصناعية، بحيث يمكن للنظام التنبؤ بالأعطال المستقبلية وتحسين قرارات الصيانة في الوقت الفعلي.
3. التعلم الآلي: في هذه الدراسة، يُستخدم التعلم الآلي لتحليل بيانات الأداء من المستشعرات المدمجة في الآلات. يتم تدريب الخوارزميات على الأنماط التاريخية للأعطال لتقديم تنبؤات دقيقة حول الأعطال المستقبلية، مما يساعد في تحديد متى يجب إجراء الصيانة.

4. تحليل البيانات: يتم تعريف تحليل البيانات في هذه الدراسة كعملية استخراج المعلومات المتاحة من الأنظمة التشغيلية للمعدات، وذلك باستخدام أدوات تحليل البيانات المتقدمة مثل التحليل الإحصائي وتحليل الاتجاهات في الأداء لتحديد الأنماط التي قد تشير إلى حدوث الأعطال في المستقبل.
5. تحسين جداول الصيانة: في هذه الدراسة، يتم تحسين جداول الصيانة من خلال تطوير أنظمة قادرة على تحديد الأوقات المثلى للصيانة بناءً على تحليل البيانات التنبؤية للأداء، مما يساهم في تقليل التوقفات غير المخططة وتحسين استخدام المعدات في الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

9.1 المنهجية وطرق البحث:

تستخدم هذه الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، الذي يعد من أكثر المناهج المناسبة لدراسة الظواهر التي تتعلق بتطبيقات الصيانة التنبؤية في الصناعات الهندسية. يعتمد المنهج الوصفي على جمع البيانات وتحليلها للوصول إلى استنتاجات تساعد في فهم دور الصيانة التنبؤية في تحسين الإنتاجية. كما يعتمد المنهج التحليلي على تفسير وتحليل البيانات المتاحة لاستخلاص العلاقات بين المتغيرات المختلفة مثل التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، وتحسين جداول الصيانة.

10.1 مصادر جمع البيانات

- الطريقة الكمية: سيتم استخدام الاستبيانات لجمع البيانات من الشركات الصناعية بمدينة الرياض التي تعتمد على تقنيات الصيانة التنبؤية، سيتضمن الاستبيان مجموعة من الأسئلة المغلقة والموضوعية حول تأثير الصيانة التنبؤية على تحسين الإنتاجية، تقليل الأعطال، وتحسين كفاءة المعدات.
- تحليل البيانات الثانوية: سيتم جمع البيانات الثانوية من التقارير الفنية وسجلات الصيانة السابقة لشركات صناعية تمثل القطاع المستهدف في الدراسة، مما تساعد هذه البيانات في فهم أثر الصيانة التنبؤية على تقليل التوقفات غير المخططة وزيادة الكفاءة التشغيلية.

11.1 أدوات الدراسة:

ستعتمد هذه الدراسة على الاستبيان كأداة رئيسية لجمع البيانات من الشركات الصناعية بمدينة الرياض. سيتكون الاستبيان من مجموعة من الأسئلة المغلقة التي تهدف إلى جمع معلومات حول تأثير الصيانة التنبؤية على تحسين الإنتاجية، تقليل الأعطال، وتحسين كفاءة المعدات. كما يتضمن الاستبيان بعض الأسئلة المفتوحة التي تسمح للمستجيبين بتقديم ملاحظاتهم حول تحديات الصيانة التنبؤية في بيئات العمل. سيتم توزيع الاستبيان على الموظفين المعنيين بالصيانة والتشغيل، مثل الفنيين ومديري الأقسام في مجموعة متنوعة من الشركات الصناعية، عبر البريد الإلكتروني أو المقابلات الشخصية.

وسيتم استخدام مقياس ليكرت الخماسي لتقييم استجابات المشاركين، حيث تتراوح الإجابات من (موافق بشدة) إلى (غير موافق بشدة)، مما يسهل تحليل البيانات بطريقة كمية واستخلاص استنتاجات دقيقة. بالإضافة إلى ذلك، سيتم التحقق من صدق وثبات الاستبيان من خلال عرضه على مجموعة من الخبراء والمتخصصين لضمان دقة الأسئلة وملاءمتها لأهداف الدراسة.

12.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة

تعتمد هذه الدراسة على مجموعة من الأساليب الإحصائية الكمية لتحليل البيانات المستخلصة من الاستبيان، وذلك باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) لضمان دقة النتائج واستخلاص استنتاجات علمية موثوقة. تشمل الأساليب الإحصائية المستخدمة ما يلي:

➤ الإحصاء الوصفي (Descriptive Statistics):

يتم استخدامه لتقديم ملخص شامل للبيانات المجمعة من خلال المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، التكرارات، والنسب المئوية.

➤ اختبار الصدق والثبات (Reliability and Validity Tests):

يتم التحقق من صدق الاستبيان من خلال عرضه على مجموعة من الخبراء لضمان ملاءمته لأهداف الدراسة.

يتم استخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) لاختبار ثبات الاستبيان، مما يضمن قياسًا متسقًا للمتغيرات المختلفة في الدراسة.

➤ تحليل الارتباط (Correlation Analysis):

يتم استخدام معامل الارتباط بيرسون (Pearson Correlation) لتحديد درجة العلاقة بين المتغيرات.

13.1 حدود الدراسة:

- ← **حدود موضوعية:** تركز الدراسة على الصيانة التنبؤية بأبعادها المختلفة (التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، تحسين جداول الصيانة) في الصناعات الهندسية في تعزيز الإنتاجية.
- ← **حدود زمنية:** سيتم إجراء الدراسة خلال الفترة 2024 إلى 2025 م.
- ← **حدود مكانية:** تقتصر الدراسة على الشركات الصناعية في مدينة الرياض.
- ← **الحدود البشرية:** تقتصر الدراسة على جمع البيانات من الموظفين المتخصصين في قسم الصيانة وإدارة العمليات داخل الشركات الصناعية بمدينة الرياض، مثل الفنيين، مهندسي الصيانة، ومديري الأقسام الصناعية.

الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: الصيانة التنبؤية

التمهيد

في ظل التحول الرقمي السريع في القطاع الصناعي، أصبحت الحاجة ملحة لاعتماد تقنيات صيانة حديثة تستند إلى التنبؤ الذكي بالحالة الفعلية للمعدات. ومن هنا نشأت الصيانة التنبؤية كاستراتيجية مبتكرة تتجاوز الأساليب التقليدية، إذ تستفيد من الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات والتقنيات التنبؤية لتحقيق جاهزية تشغيلية مثلى، وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها، وزيادة كفاءة الإنتاج. وقد ظهرت تطبيقات متنوعة لهذه المنهجية في بيئات صناعية متقدمة، إلا أن تبنيها لا يزال في مراحله الأولى في العديد من الصناعات العربية، مما يبرز الحاجة إلى دراسات تطبيقية تسلط الضوء على أثرها في الواقع المحلي.

1.1.2 مفهوم الصيانة التنبؤية

تُعد الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) إحدى الاستراتيجيات الحديثة في مجال إدارة الصيانة الصناعية، إذ تركز على استخدام البيانات الحية والتقنيات التنبؤية لتحديد توقيت الأعطال المحتملة قبل وقوعها، بما يسمح بالتدخل الفني في الوقت المناسب، وتجنبّ الخسائر الناتجة عن التوقف المفاجئ للآلات.

وقد تنوّعت تعريفات الباحثين لهذا المفهوم، حيث يعرفها Meira et al. (2021) بأنها "عملية صيانة تعتمد على تحليل البيانات التشغيلية للمعدّات لتحديد مؤشرات الأعطال مبكرًا باستخدام النماذج الرياضية وخوارزميات التعلم الآلي"، بينما يرى Mohapatra (2024) أنها "منظومة ذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتوقّع الأعطال وتحسين جدولة الصيانة من خلال دمج البيانات التاريخية والفعلية في نماذج تحليلية متقدمة".

أما Khan (2024) فقد ركّز على الجانب العملي للمفهوم، معرّفًا الصيانة التنبؤية بأنها "استراتيجية تعتمد على مراقبة الأداء الفعلي للمعدات واستخلاص مؤشرات التدهور الفني بهدف تحديد الوقت المثالي لتنفيذ عمليات الصيانة، دون المساس بالإنتاج أو أداء المعدة"، وأضاف Al-Said et al. (2024) إلى هذا التعريف بُعدًا تقنيًا متقدمًا، حيث وصفوا الصيانة التنبؤية بأنها "تطبيق متكامل يعتمد على دمج تقنيات إنترنت الأشياء والتعلم العميق لتحليل الأنماط التشغيلية والتعرف على الأعطال المحتملة في البيئات الصناعية".

وعرّف الديحاني وجريسات (2024) الصيانة التنبؤية بأنها "آلية ذكية لتحديد المشكلات المحتملة في الأنظمة الصناعية قبل وقوعها، من خلال استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي ومعالجة البيانات الحية لتقليل الأعطال وتحسين الاعتمادية التشغيلية، كما عرّفها بحر وآخرون (2022) على أنها "نظام صيانة فني يعتمد على مؤشرات الأداء اللحظية دون الحاجة إلى بيانات أعطال تاريخية، مما يوفر مرونة عالية في بيئات التشغيل الجديدة".

يرى الباحث أن الصيانة التنبؤية تمثل تطورًا نوعيًا في مجال إدارة الصيانة، حيث تتجاوز الأطر التقليدية القائمة على التوقيت الزمني أو التقديرات الحدسية، لتُقدّم نموذجًا ذكيًا يعتمد على تحليل الحالة الفعلية للمعدات.

2.1.2 أهمية الصيانة التنبؤية

في ظل التحديات المتزايدة التي تواجهها المؤسسات الصناعية لتحقيق الكفاءة التشغيلية وتقليل التكاليف، برزت الصيانة التنبؤية كأداة استراتيجية تُسهم بفعالية في تحسين أداء المعدات وتعزيز الإنتاجية، وتكمن أهمية هذا النوع من الصيانة في قدرته على التنبؤ الدقيق بمواضع الأعطال المحتملة، مما يسمح بإجراء الصيانة قبل أن تؤثر تلك الأعطال سلبيًا على سير العمليات الإنتاجية.

يشير Er-Ratby et al. (2024) إلى أن الصيانة التنبؤية ساهمت في تقليص التوقفات غير المخططة بنسبة تصل إلى 50% في بعض البيئات الصناعية التي اعتمدت على خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تحليل

البيانات التشغيلية، كما تؤكد دراسة (Khan (2024 أن أهمية الصيانة التنبؤية تتجلى في تقليل الإنفاق الكلي على أعمال الصيانة بنسبة تتراوح بين 20% و40%، نتيجة تنفيذ الصيانة فقط عند الحاجة الفعلية، دون الاعتماد على الجداول الزمنية الثابتة.

و توضح دراسة (Mohapatra (2024 أن هذا النوع من الصيانة لا يسهم فقط في رفع جاهزية المعدات، بل يزود الإدارة بمؤشرات أداء مستقبلية دقيقة، تُساعد في اتخاذ قرارات تشغيلية أفضل وأكثر فاعلية، بينما يرى (Onuegbu & Idriss (2022 أن الصيانة التنبؤية تُقلل من المخاطر التشغيلية في الشركات الناشئة تحديداً، حيث تُتيح استغلال الموارد بكفاءة وتفاذي الأعطال الجسيمة التي قد تهدد استمرارية العمليات.

و أكد الدليبي وعجيل (2021) أن تطبيق الصيانة التنبؤية ساعد في تحسين موثوقية خطوط الإنتاج وتقليل الهدر في المواد الخام، بالإضافة إلى خفض تكاليف الإصلاح الطارئ، كما أشار بحر وآخرون (2022) إلى أن اعتماد نظام تنبؤي لحظي يمكن أن يُحدث نقلة نوعية في المنشآت التي لا تمتلك سجلاً تاريخياً للأعطال، من خلال بناء نماذج توقعية فورية.

يرى الباحث أن أهمية الصيانة التنبؤية تكمن في قدرتها على خلق بيئة إنتاجية أكثر استقراراً وفاعلية من خلال تقليل التوقفات المفاجئة، وتقليص التكاليف الناتجة عن الأعطال غير المتوقعة، وزيادة متوسط العمر التشغيلي للمعدات .

3.1.2 أهداف الصيانة التنبؤية

تُعد الصيانة التنبؤية أداة استراتيجية تهدف إلى رفع مستوى الاعتمادية التشغيلية للمعدات من خلال التدخل الوقائي الذكي والموجه، مستندةً إلى البيانات الفعلية للمعدات لا إلى الافتراضات أو الجداول الزمنية الثابتة، ويتضح أن هذا النوع من الصيانة يسعى إلى تحقيق مجموعة من الأهداف المتداخلة، سواء على المستوى الفني أو الإداري أو الاقتصادي.

✓ الحد من التوقفات المفاجئة وتعزيز الجاهزية التشغيلية

تهدف الصيانة التنبؤية إلى اكتشاف الأعطال قبل حدوثها، وبالتالي تقليل التوقفات غير المخططة التي تؤثر سلبًا على تدفق الإنتاج، وقد بينت دراسة (Zonta et al. (2022 أن استخدام تقنيات التنبؤ بالصيانة أدى إلى تقليل التوقفات بنسبة تجاوزت 20% وزيادة مدة التشغيل الفعلي للآلات.

✓ تحسين إدارة الموارد الفنية والبشرية

من خلال معرفة الوقت المناسب لتنفيذ الصيانة، يمكن تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية وتجنب الهدر في القوى العاملة أو في استهلاك قطع الغيار، وتؤكد دراسة (Mohapatra (2024 أن الصيانة التنبؤية تسمح بتخصيص موارد الصيانة بكفاءة أعلى، مما يؤدي إلى خفض تكاليف التشغيل بنسبة ملحوظة.

✓ خفض تكاليف الصيانة والإصلاح

أحد أبرز أهداف الصيانة التنبؤية هو تقليل الإنفاق المرتبط بإصلاحات الطوارئ أو الاستبدال الكلي للمعدات، من خلال التدخل المبكر واستبدال المكونات المتدهورة فقط، ووفقًا لـ (Khan (2024، فإن تطبيق الصيانة التنبؤية يمكن أن يخفض التكاليف التشغيلية بنسبة تتراوح بين 25% و40% مقارنة بالصيانة الوقائية التقليدية.

✓ إطالة العمر التشغيلي للمعدات

عندما تتم الصيانة بشكل دقيق ومبني على معطيات فعلية، تزداد مدة الخدمة الفعالة للمعدات، مما يؤخر الحاجة للاستبدال أو التجديد الكامل، وقد أظهرت دراسة (Meira et al. (2021 أن هذه المقاربة أسهمت في تمديد العمر التشغيلي للمعدات بنسبة تصل إلى 30% في البيئات الصناعية الذكية.

✓ تحسين دقة التنبؤ واتخاذ القرار

تعزز الصيانة التنبؤية القدرة التحليلية لاتخاذ قرارات صائبة بناءً على بيانات تشغيل لحظية، وتشير دراسة (Rani et al. (2024 إلى أن إدماج الذكاء الاصطناعي في نماذج التنبؤ يتيح للإدارات الفنية اتخاذ قرارات وقائية أكثر فعالية مقارنة بالنهج التقليدي.

✓ دعم السلامة والصحة المهنية

من خلال تقليل الأعطال المفاجئة والانفجارات أو التسريبات في المعدات الحساسة، تسهم الصيانة التنبؤية في الحد من الحوادث المهنية وحماية العمال، وهو ما أكدته دراسة Onuegbu & Idriss (2022) في سياق الصناعات الكيماوية ذات المخاطر العالية.

يرى الباحث أن الصيانة التنبؤية لا تقتصر على كونها وسيلة تقنية متقدمة، بل تمثل تحولاً نوعياً في فلسفة الصيانة من التفاعل بعد العطل إلى الوقاية الدقيقة قبله، وهي بذلك تُشكل عنصراً أساسياً في تحقيق الرقابة التشغيلية للمصانع، خصوصاً في الصناعات الهندسية التي تتسم بارتفاع كثافة الاستخدام للمعدات الثقيلة.

4.1.2 أبعاد الصيانة التنبؤية

■ التنبؤ بالأعطال (Failure Prediction)

يُعد التنبؤ بالأعطال البُعد المحوري في منظومة الصيانة التنبؤية، حيث يُعنى بتحديد المشكلات الفنية المحتملة قبل وقوعها فعلياً، باستخدام خوارزميات تعلم الآلة، ونماذج الشبكات العصبية، وبيانات الاستشعار الحيّة. يتيح هذا البُعد إمكانية التدخل في اللحظة المناسبة، دون هدر للموارد أو التأثير على سير العمليات.

يرى (Al-Said et al. (2024 أن دقة التنبؤ تتوقف على نوع البيانات المتاحة، وكفاءة النماذج التحليلية المُستخدمة، مشيرين إلى أن تطبيقات الهجين بين شبكات LSTM و CNN قد حسّنت من مؤشرات

دقة التنبؤ بمعدل 15-20%، كما أشار بحر وآخرون (2022) إلى أن أنظمة التنبؤ اللحظي يمكنها العمل حتى في البيئات الصناعية التي تفتقر إلى بيانات الأعطال التاريخية، مما يفتح آفاقًا جديدة للتطبيق في الأسواق الناشئة.

ويؤكد Zonta et al. (2022) أن التنبؤ الدقيق يُمكن من خفض معدلات الانهيار غير المتوقع للمعدات بنسبة تتراوح بين 30% و50%، مما يحسن من استمرارية الإنتاج ويقلل من التكاليف غير المخططة.

■ تحليل البيانات (Data Analytics)

يُعد تحليل البيانات العمود الفقري لتشغيل منظومات الصيانة التنبؤية، حيث تُعالج كميات ضخمة من البيانات المستخرجة من أجهزة الاستشعار (مثل الاهتزاز، درجة الحرارة، الضغط) لتكوين مؤشرات أداء دالة على الحالة الفعلية للمعدة. وتستخدم أدوات الذكاء الاصطناعي والنماذج الإحصائية في معالجة هذه البيانات لاستخلاص نماذج تنبؤية دقيقة.

أشار Khan (2024) إلى أن تحليل البيانات يساهم بشكل مباشر في تحديد نماذج التآكل والاستهلاك للمعدات، ويساعد في توليد توصيات تنبؤية تتسم بالدقة العالية، أما Simi & Resmi (2023) فقد شددّا على أهمية استخدام التحليلات التفسيرية (Explainable AI) لضمان فهم نتائج التنبؤ من قبل المهندسين والمختصين.

وفي السياق العربي، أظهرت دراسة الدليمي وعجيل (2021) أن تحليل البيانات المتكامل في أنظمة الصيانة الذكية أدى إلى تحسين كفاءة خطوط الإنتاج، وتوفير وقت كبير في فحص الأعطال مقارنة بالأساليب اليدوية.

■ تحسين جداول الصيانة (Maintenance Scheduling Optimization)

يُعنى هذا البُعد بإعادة تصميم الجداول الزمنية للصيانة بناءً على الحالة الفعلية للمعدات بدلاً من الاعتماد على الفواصل الزمنية التقليدية، ويُسهّم هذا التحسين في تقليل التوقفات المخططة التي قد تكون غير ضرورية، كما يُقلل من فرص تعرّض المعدات للأعطال أثناء الإنتاج.

وقد طوّر Zonta et al. (2022) نموذجًا يستخدم خوارزميات التعلم العميق لتحسين توقيت وجدولة الصيانة وفقًا لمعدلات التدهور اللحظي، مما أدى إلى تقليل التكاليف التشغيلية بنسبة 17%، كما أشارت دراسة Mohapatra (2024) إلى أن تحسين الجداول لا يقتصر فقط على الجانب الفني، بل يمتد إلى تنسيق فرق الصيانة، وتخصيص الموارد بشكل أكثر فعالية.

وفي دراسة تطبيقية على مصنع صناعي، أكد دراويش (2024) أن إعادة هيكلة جداول الصيانة بناءً على توصيات تنبؤية أسهمت في تقليل عدد التوقفات السنوية بنسبة 40%، وتحقيق مرونة تشغيلية أكبر. يرى الباحث أن أبعاد الصيانة التنبؤية الثلاثة مترابطة بشكل تكاملي، حيث يُعد التنبؤ بالأعطال المدخل الأساسي الذي يغذيه تحليل البيانات الدقيقة، ويترجم إلى جداول صيانة مرنة وفعالة.

المبحث الثاني: الإنتاجية في الصناعات الهندسية

التمهيد

تُعد "الإنتاجية" من أبرز المفاهيم المرتبطة بالأداء المؤسسي، إذ تعكس كفاءة المؤسسة في استغلال مواردها وتحويلها إلى مخرجات ذات قيمة، وفي الصناعات الهندسية على وجه التحديد، تُمثل الإنتاجية المحور الرئيس الذي تُقاس به كفاءة الخطط التشغيلية، وجودة الأداء التقني، ومدى قدرة المنشأة على تحقيق أهدافها بأقل كلفة ممكنة وفي الوقت المناسب.

تتميز الصناعات الهندسية بطبيعتها المعقدة واعتمادها على معدات عالية التقنية، مما يجعل الإنتاجية فيها مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بعوامل متعددة مثل الصيانة، الجاهزية التقنية، كفاءة القوى العاملة، والتخطيط الاستراتيجي. ولأن أي عطل في المعدات أو انقطاع في تدفق الإنتاج يمكن أن يؤدي إلى خسائر فادحة، فإن تعزيز الإنتاجية يُعد أولوية استراتيجية في هذه الصناعات.

1.2.2 مفهوم الإنتاجية

تُعد الإنتاجية من المفاهيم الأساسية في علم الإدارة والاقتصاد، وهي تعكس مدى كفاءة المؤسسة في استخدام مواردها المتاحة لإنتاج السلع أو تقديم الخدمات، ويكتسب هذا المفهوم أهمية مضاعفة في القطاعات الصناعية والهندسية، حيث تُترجم الإنتاجية إلى أداء ملموس يتجلى في عدد الوحدات المنتجة، وجودة المنتج، وتقليل الفاقد، والتكلفة.

وقد قدّم الباحثون عدة تعريفات للإنتاجية، تختلف باختلاف السياق الذي تُستخدم فيه ، فقد عرفها الدليمي وعجيل (2021) بأنها "العلاقة بين حجم المخرجات الإنتاجية ومدخلات الإنتاج المستخدمة من موارد مادية وبشرية، مع الأخذ بعين الاعتبار كفاءة وفعالية الأداء داخل المنظومة الصناعية"، ويرى عثمان (2021) أن الإنتاجية تُجسد قدرة المؤسسة على تحقيق أهدافها الإنتاجية من خلال الاستخدام الأمثل للموارد، دون هدر أو تقصير في الجودة.

و أوضح حورية وسليمان (2022) أن الإنتاجية تمثل أداة تقييم شاملة تُستخدم لقياس أداء الوحدات الاقتصادية من حيث مساهمتها في النمو والاستدامة، وهي تتأثر بعدة متغيرات، منها التكنولوجيا، والصيانة، ومستوى التدريب، والمهارات الإدارية، كما أشار لعمامرة ومحبوب (2022) إلى أن الإنتاجية تُعد انعكاساً مباشراً لمستوى المعرفة التنظيمية والتكامل بين مكونات النظام الإنتاجي.

أما في السياق الدولي، فقد عرفها Alam et al. (2023) بأنها "معدل تحويل المدخلات الصناعية مثل الطاقة، المواد الخام، والموارد البشرية إلى مخرجات صناعية نهائية، مع التركيز على تقليل التكاليف وزيادة كفاءة الأداء"، بينما أشار Qureshi et al. (2024) إلى أن الإنتاجية لم تُعد ترتبط فقط بالكمية، بل أصبحت تقيس الجودة، وسرعة التسليم، ومستوى الصيانة، وكفاءة سلسلة التوريد.

يرى الباحث أن الإنتاجية في الصناعات الهندسية تتجاوز التعريفات الكلاسيكية المرتبطة فقط بنسبة المخرجات إلى المدخلات، لتصبح مؤشراً استراتيجياً شاملاً يُعبّر عن كفاءة الأداء، جودة التنفيذ، وفعالية التشغيل والصيانة، كما يؤمن بأن الإنتاجية تُعد المعيار الأكثر دقة لتقييم الأثر الحقيقي للتقنيات المساندة – مثل الصيانة التنبؤية – في تعزيز الكفاءة الشاملة للعمليات الصناعية.

2.2.2 أهمية الإنتاجية في المنشآت الصناعية

تُعد الإنتاجية حجر الزاوية في تقييم كفاءة المؤسسات الصناعية، إذ تعكس مدى القدرة على تحقيق أعلى قدر من المخرجات بأقل قدر من المدخلات، ما يعني الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة، سواء كانت مادية أو بشرية أو تقنية، وتكمن أهمية الإنتاجية في كونها مؤشراً شاملاً يُستخدم لقياس الأداء العام للمؤسسة، ويُسهّم بشكل مباشر في رفع القدرة التنافسية، وتحقيق الاستدامة المالية، وتعزيز النمو طويل الأمد.

وفقاً لما أوضحه حورية وسليمان (2022) ، فإن الإنتاجية تمثل إحدى الأدوات الجوهرية التي تساعد المؤسسات الصناعية على اتخاذ قرارات فعالة فيما يتعلق بترشيد الإنفاق، وتحسين آليات التشغيل، وزيادة الربحية، كما بيّنت دراسة لعمامرة ومحبوب (2022) أن ارتفاع مستويات الإنتاجية يُعد

أحد العوامل المحددة لمدى قدرة المؤسسة على التوسع في السوق المحلي والدولي، خصوصًا في ظل بيئات تنافسية تتطلب أداءً فائقًا، وتقليلًا للهدر في الوقت والجهد.

و ترتبط أهمية الإنتاجية ارتباطًا وثيقًا بفعالية المعدات والأنظمة الفنية، حيث إن أي انخفاض في الإنتاجية قد يكون ناتجًا عن أعطال متكررة، أو توقفات غير مخطط لها، أو ضعف في الجداول التشغيلية، وهو ما تؤكدته دراسة الدليمي وعجيل (2021) التي أشارت إلى أن تراجع الإنتاجية في بعض المصانع يعود بنسبة كبيرة إلى سوء إدارة الصيانة.

من منظور اقتصادي، أوضح المزيبي وعلي (2023) أن تعزيز الإنتاجية يُسهم في زيادة القيمة المضافة للمنتجات، ويقلل من التكاليف المرتبطة بالطاقة والمواد الخام، مما ينعكس بشكل مباشر على أسعار المنتجات النهائية وقدرة المؤسسة على المنافسة، أما على المستوى الاجتماعي، فإن رفع الإنتاجية يعني الحفاظ على استقرار الوظائف، وزيادة العوائد، وتحقيق رضا الموظفين والعملاء على حد سواء.

ويرى الباحث أن أهمية الإنتاجية في السياق الصناعي الهندسي لا تقتصر على كونها مؤشراً للأداء، بل هي عنصر حيوي في منظومة التطوير الشامل، وركيزة أساسية لاتخاذ قرارات تشغيلية واستراتيجية دقيقة، ويؤمن أن الإنتاجية تمثل النتيجة النهائية لمجموعة من العوامل المتداخلة، أهمها: فعالية نظم الصيانة، مستوى الأتمتة، كفاءة العاملين، ومدى تطبيق مبادئ الجودة والابتكار التقني.

3.2.2 مؤشرات قياس الإنتاجية في الصناعات الهندسية

تُعد مؤشرات الإنتاجية أدوات كمية ونوعية تُستخدم لتقييم الأداء التشغيلي للمؤسسات الصناعية، وخصوصًا في القطاعات الهندسية التي تعتمد على أنظمة إنتاج معقدة ومعدات عالية التقنية، وتهدف هذه المؤشرات إلى تقديم صورة شاملة عن مدى كفاءة استخدام الموارد، وقدرة النظام الإنتاجي على تحقيق أهدافه بكفاءة وفعالية، مع الأخذ بعين الاعتبار الجودة والتكلفة والوقت.

وقد تباينت الأدبيات في تحديد مؤشرات الإنتاجية، ولكن معظم الدراسات تتفق على مجموعة من المؤشرات الأساسية، ومن أبرزها:

■ معدل الإنتاج الفعلي (Actual Output Rate)

يمثل هذا المؤشر كمية المنتجات التي يتم إنتاجها فعليًا خلال فترة زمنية معينة مقارنة بالإنتاج المخطط. وهو من أهم مؤشرات الإنتاجية المستخدمة لقياس كفاءة الأداء الفعلي لخطوط الإنتاج. أشارت دراسة عثمان (2021) إلى أن هذا المؤشر يُستخدم في الصناعات الغذائية لقياس مدى كفاءة الجدولة الإنتاجية، وتحديد نقاط الاختناق في العمليات.

■ نسبة التوقفات غير المخططة (Unplanned Downtime Rate)

تُقاس نسبة الوقت الذي تتوقف فيه الآلات أو خطوط الإنتاج بشكل مفاجئ نتيجة أعطال أو فشل فني، مقارنة بالوقت التشغيلي الكلي. وتُعد هذه النسبة من أبرز المؤشرات المرتبطة بكفاءة الصيانة. وقد أوضحت دراسة الدليهي وعجيل (2021) أن ارتفاع هذه النسبة يُعد مؤشرًا سلبيًا يدل على ضعف نظم الصيانة الوقائية أو التنبؤية.

■ معدل كفاءة استخدام الآلات (Machine Utilization Rate)

يشير هذا المؤشر إلى مدى استغلال الطاقة التشغيلية للمعدات مقارنة بقدرتها التصميمية. ويعكس كفاءة التخطيط وجدولة الإنتاج، كما يُظهر قدرة المصنع على التعامل مع الطلب الإنتاجي المتغير. بيّنت دراسة راني وآخرون (2024) أن استخدام الصيانة التنبؤية ساهم في رفع هذا المعدل بنسبة تفوق 20% في بعض المصانع المدعومة بأنظمة الذكاء الاصطناعي.

■ تكلفة الصيانة لكل وحدة إنتاج (Maintenance Cost per Unit)

يقيس هذا المؤشر التكلفة التي تنفقها المؤسسة على أعمال الصيانة (وقائية، تصحيحية، تنبؤية) مقارنة بعدد الوحدات المنتجة، وكلما كانت التكلفة أقل مع ثبات الجودة، كانت الكفاءة أعلى.

وذكرت دراسة (Khan 2024) أن هذا المؤشر يُعد معيارًا اقتصاديًا مهمًا في تقييم كفاءة أنظمة الصيانة الذكية وتأثيرها المباشر على الربحية.

■ معدل الجودة الداخلية (Internal Defect Rate)

يعبر عن نسبة المنتجات غير المطابقة داخل العملية الإنتاجية نفسها، أي قبل مرحلة التسليم النهائي. وهو مؤشر على كفاءة الرقابة على العمليات التشغيلية والتقنية المستخدمة.

وقد أظهرت دراسة سويلم وسويلم (2023) أن الصيانة الذاتية والتنبؤية تؤثر إيجابًا على هذا المعدل من خلال المحافظة على الحالة الفنية للمعدات ومنع أخطاء التشغيل.

يرى الباحث أن قياس الإنتاجية في الصناعات الهندسية لا يمكن أن يتم بمؤشر واحد فقط، بل يجب أن يكون من خلال منظومة متكاملة من المؤشرات الفنية والاقتصادية والجودة، تتداخل فيها أبعاد التوقف، والصيانة، والكفاءة، والجودة.

4.2.2 العوامل المؤثرة في الإنتاجية في الصناعات الهندسية

تتأثر الإنتاجية الصناعية بمجموعة من العوامل المتداخلة التي تشمل الجوانب التقنية، والإدارية، والبشرية، والبيئية. ويُعد فهم هذه العوامل أمرًا بالغ الأهمية للمنشآت الصناعية، لا سيما في القطاعات الهندسية التي تعتمد على أنظمة معقدة ومعدات عالية الحساسية. وفيما يلي أبرز العوامل المؤثرة في الإنتاجية كما تناولتها الدراسات الحديثة:

■ كفاءة نظم الصيانة

تلعب نظم الصيانة (وخاصة التنبؤية منها) دورًا محوريًا في الحفاظ على الجاهزية التشغيلية للمعدات، وتقليل التوقفات غير المخططة، وهو ما ينعكس مباشرة على زيادة الإنتاجية، وقد أكدت دراسة الدليبي وعجيل (2021) أن العلاقة طردية بين جودة برامج الصيانة ومستوى الإنتاجية في الصناعات الثقيلة، وأن تكرار الأعطال يُعد من أهم معوقات الإنتاج الفعّال.

■ الموارد البشرية المؤهلة

تؤثر مهارات العاملين، ومستوى تدريبهم، والتزامهم التنظيمي على جودة العمليات وكفاءتها. فالعنصر البشري هو المسؤول عن تشغيل المعدات، ومراقبة الأداء، واتخاذ القرارات السريعة في البيئات الصناعية الديناميكية، وأوضحت دراسة عزيز الرحمن (2024) أن زيادة الاندماج الوظيفي والتدريب التخصصي يُسهم في رفع مستوى إنتاجية الموظفين بنسبة ملحوظة.

■ المعدات والتكنولوجيا المستخدمة

يُعد مستوى التكنولوجيا ونوع الآلات المستخدمة من العوامل الأساسية التي تحدد سرعة الإنتاج ودقته. فاستخدام تقنيات حديثة مثل إنترنت الأشياء (IoT)، والروبوتات الصناعية، والأنظمة الذكية يُسهم في تقليل الأخطاء وتحسين الكفاءة، وقد بيّنت دراسة Alam et al. (2023) أن تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في مصانع أمريكية أدى إلى زيادة الإنتاجية بنسبة تجاوزت 25%.

■ جودة مدخلات الإنتاج

تشمل المواد الخام، والطاقة، وقطع الغيار، وكل ما يدخل في العملية الإنتاجية. فكلما زادت جودة هذه المدخلات، كلما زادت فرص الحصول على مخرجات خالية من العيوب، وانخفضت معدلات الهدر، وأشارت دراسة سويلم وسويلم (2023) إلى أن انخفاض جودة قطع الغيار كان سبباً رئيساً في تكرار أعطال ماكينات التطريز، مما أثر سلباً على الإنتاجية.

■ التخطيط والإدارة الإنتاجية

يشمل ذلك جدولة الإنتاج، وإدارة المخزون، وتوزيع الموارد، وتنسيق فرق العمل، ويُعد وجود خطة تشغيلية مرنة تتكيف مع ظروف السوق عاملاً حاسماً في تحقيق إنتاجية عالية، وأكد عثمان (2021) في دراسته على صناعة الأغذية أن فاعلية إدارة الإنتاج ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمرونة جدول التشغيل وسرعة الاستجابة للمشكلات الطارئة.

■ بيئة العمل والتنظيم المؤسسي

البيئة المادية (مثل الإضاءة، التهوية، النظافة)، والتنظيم الإداري (مثل وضوح المهام، التحفيز، التقدير) لها أثر غير مباشر لكن مؤثر على أداء الموظفين وكفاءتهم، وأظهرت دراسة حورية وسليمان (2022) أن السمات الريادية والتنظيمية داخل المؤسسة تُعزز الكفاءة الفردية والجماعية، مما ينعكس على الإنتاجية الإجمالية.

يرى الباحث أن الإنتاجية لا تتأثر بعامل واحد بل هي نتيجة تفاعلية لمجموعة من العناصر التقنية والبشرية والإدارية.

الفصل الثالث: منهجية وإجراءات الدراسة

مقدمة

يتناول هذا الفصل الدراسة الميدانية وذلك من خلال التعرف على منهجية الدراسة ومجتمع وعينة الدراسة وأداة الدراسة والأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة وحساب الصدق والثبات لأداة الدراسة

1.3 المنهجية وطرق البحث:

نظرًا لطبيعة الدراسة وأهدافها، فقد تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي، باعتباره الأنسب لتحليل العلاقة بين متغيرين رئيسيين هما: الصيانة التنبؤية كمتغير مستقل (بأبعاده: التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، تحسين جداول الصيانة)، والإنتاجية في الصناعات الهندسية كمتغير تابع. ويقوم هذا المنهج على جمع البيانات من عينة ميدانية ممثلة لمجتمع الدراسة، ثم تحليلها باستخدام أدوات إحصائية متنوعة، من أجل استنتاج العلاقة بين المتغيرات واختبار الفرضيات.

ويُعد المنهج الوصفي التحليلي ملائمًا لهذه الدراسة لكونه يتيح توصيف الظاهرة قيد البحث كما هي في الواقع، وفهم مدى تأثير تطبيق استراتيجيات الصيانة التنبؤية على رفع كفاءة الإنتاج في بيئات صناعية قائمة فعليًا، لا سيما في ظل التحديات التشغيلية والاقتصادية التي تواجهها الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

2.3 مجتمع وعينة الدراسة:

يتكوّن مجتمع الدراسة من جميع الموظفين العاملين في الشركات الصناعية الهندسية بمدينة الرياض، نظرًا لكونهم المعنيين مباشرة بتطبيق استراتيجيات الصيانة التنبؤية، ويمتلكون المعرفة والاحتكاك الفعلي بمؤشرات الأداء والإنتاجية في بيئة التشغيل الصناعي.

ونظرًا لاتساع حجم مجتمع الدراسة وتعدد المنشآت الصناعية المشمولة، فقد تم اختيار عينة ممثلة باستخدام أسلوب المعاينة الطبقية العشوائية، بما يضمن تمثيلًا مناسبًا لمختلف الأقسام الفنية والإنتاجية، وقد تم توزيع عدد (360) استبانة على أفراد العينة المستهدفة، وتم استرداد (347) استبانة صالحة للتحليل الإحصائي، بنسبة استرداد بلغت 96.4%، وهي نسبة مرتفعة تُعد مؤشرًا إيجابيًا على تفاعل المشاركين، وتوفّر أساسًا قويًا لإجراء التحليل الإحصائي وتحقيق أهداف الدراسة بدقة وموضوعية.

3.3 مصادر جمع البيانات

- **المصادر الثانوية:** وتشمل البيانات والمعلومات الموجودة في الكتب والمراجع، والرسائل الجامعية وأوراق العمل والمجلات والدوريات والمؤتمرات العلمية وورش العمل، بالإضافة إلى التقارير المنشورة وغير المنشورة التي تناولت الموضوع في مختلف المؤسسات ذات الصلة.
- **المصادر الأولية:** اعتمدت الدراسة على الاستبانة كأداة رئيسية في جمع البيانات من مصادرها والتي تم تصميمها خصيصاً لهذا الغرض على Google Forms وإرسال رابطها إلى مجتمع البحث.

4.3 أداة الدراسة:

تُلت أداة الدراسة الرئيسة في الاستبانة الإلكترونية التي أعدها الباحث خصيصاً لجمع البيانات من أفراد العينة المستهدفة، وذلك باستخدام نموذج إلكتروني عبر منصة Google Forms، بما يضمن سهولة الوصول للمشاركين وتوفير الوقت والجهد، مع الحفاظ على دقة الإدخال وسرية المعلومات. وقد تم بناء الاستبانة استناداً إلى الدراسات النظرية ذات الصلة بموضوع الصيانة التنبؤية وتعزيز الإنتاجية في السياق الصناعي، مع مراعاة ملاءمتها للبيئة السعودية الصناعية من حيث اللغة والمحتوى.

وتكوّنت استمارة الاستبانة من قسمين رئيسيين كما يلي:

1. القسم الأول: البيانات الديموغرافية

يتناول هذا القسم الخصائص العامة لأفراد عينة الدراسة، بهدف تحليل الفروق المحتملة في الاستجابات وفقاً للمتغيرات الشخصية والتنظيمية. وقد شمل هذا القسم الأسئلة المتعلقة بما يلي:

- الجنس
- الفئة العمرية
- المؤهل العلمي
- المستوى الوظيفي

ويهدف هذا القسم إلى توفير خلفية تحليلية تُمكن من دراسة علاقة الخصائص الديموغرافية بسلوك المشاركين تجاه تطبيق الصيانة التنبؤية وتأثيرها على الإنتاجية في بيئاتهم العملية.

2. القسم الثاني: فقرات متغيرات الدراسة

يتناول هذا القسم المحاور الأساسية للدراسة، والمُصممة لقياس المتغيرات الرئيسية من خلال مجموعة من الفقرات المغلقة وفق مقياس ليكرت الخماسي ($1 =$ لا أوافق بشدة، إلى $5 =$ أوافق بشدة). وقد توزعت الفقرات كما يلي:

- الصيانة التنبؤية: تم قياسها من خلال فقرات موزعة على ثلاثة أبعاد رئيسية هي:
 - التنبؤ بالأعطال
 - تحليل البيانات
 - تحسين جداول الصيانة
- تعزيز الإنتاجية: تم قياسه من خلال فقرات

وكانت جميع الأسئلة الواردة في استمارة الاستبيان تمت صياغتها لتخضع لمقياس ليكرت الخماسي والتي تشمل (موافق بشدة،، موافق، محايد، غير موافق، غير موافق بشدة) وقد قامت الدراسة بتقسيم اتجاه موافقة أفراد عينة الدراسة على عبارات محاور الدراسة إلى مستويات من خلال تطبيق ما يلي:

- مدي المقياس = أعلي رقم في المقياس (5) – أقل رقم في المقياس (1) = 4
- مدي المستوي = مدي المقياس / عدد المستويات (5) = 0.80

جدول (1) مستويات موافقة عينة الدراسة على عبارات أداة الدراسة

الدرجة	المستوي
1.79 – 1	منخفضة جدا
2.59 – 1.80	منخفضة
3.39 – 2.60	متوسطة
4.19 – 3.40	مرتفعة
5.00 – 4.20	مرتفعة جدا

5.3 المعالجة الإحصائية للبيانات:

تشمل هذه الخطوة ما يأتي من بعد جمع بيانات الدراسة التي سوف يتم طرحها للمعالجة الإحصائية، وهو ما يتضمن إدخالها على الحاسب الآلي ببرنامج الإحصاء الأبرز SPSS لتحليل بيانات الدراسة باستخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية كما يلي:

- معامل الفاكرونباخ لحساب مستوي ثبات أداة الدراسة
- معامل ارتباط بيرسون لتحديد مستوي الاتساق الداخلي وصدق أداة الدراسة وللتعرف على العلاقة بين متغيرات الدراسة
- النسب والتكرارات لوصف خصائص عينة الدراسة
- الوسط الحسابي والانحراف المعياري لوصف مستوي استجابة افراد عينة الدراسة لعبارات أداة الدراسة
- معادلة الانحدار الخطي البسيط لقياس الأثر بين متغيرات الدراسة

6.3 صدق أداة الدراسة

تم حساب صدق عبارات استمارة الاستبيان عن طريق تحديد مستوى التجانس الداخلي من خلال التعرف على الدلالة الإحصائية لمعاملات الارتباط بيرسون بين درجة العبارة والدرجة الكلية للمحور الذي تنتهي إليه العبارة وجاءت النتائج كما يلي:

❖ المحور الأول: الصيانة التنبؤية

جدول (2): معاملات الارتباط لعبارات بعد التنبؤ بالأعطال

م	العبارة	معامل ارتباط بيرسون	Sig
1	تعتمد شركتي على أنظمة لمراقبة أداء المعدات بشكل لحظي لتوقع الأعطال.	0.732**	0.000
2	يتم استخدام تقارير فنية لتحديد احتمالية حدوث الأعطال قبل وقوعها.	0.688**	0.000
3	توجد آليات تنبؤية للكشف عن الخلل في المعدات الحساسة.	0.770**	0.000
4	يتم تحليل السجلات التشغيلية السابقة لتحديد نمط الأعطال.	0.734**	0.000
5	يتم اتخاذ إجراءات وقائية بناءً على تنبؤات سابقة بأعطال متكررة.	0.680**	0.000
6	تستخدم المنشأة مؤشرات فنية (مثل الاهتزاز، درجة الحرارة) للكشف المبكر عن الأعطال.	0.620**	0.000
7	لدينا خطة زمنية للصيانة مبنية على نتائج التنبؤ الفني.	0.676**	0.000
8	يتم استخدام برمجيات متخصصة لتحليل مؤشرات الأعطال المحتملة.	0.726**	0.000
9	يتم تدريب الفنيين على قراءة الإشارات التحذيرية للأعطال المحتملة.	0.782**	0.000

أظهرت نتائج جدول (2) أن جميع فقرات بُعد "التنبؤ بالأعطال" ارتبطت ارتباطاً إيجابياً دالاً إحصائياً بمحور الصيانة التنبؤية، حيث تراوحت معاملات الارتباط بين (0.620) و(0.782)، مما يدل على اتساق داخلي مرتفع بين الفقرات، ويعكس صدق الأداة في تمثيل هذا البُعد. وقد سجلت أعلى معاملات ارتباط في الفقرات المتعلقة بتدريب الفنيين على قراءة الإشارات التحذيرية، واستخدام الآليات التنبؤية، والمراقبة اللحظية، مما يُبرز إدراك المبحوثين لأهمية العوامل التقنية والبشرية في تحسين القدرة على التنبؤ بالأعطال. وتُعد هذه النتائج مؤشراً على ملائمة الفقرات لقياس البُعد المستهدف، ودليلاً على وعي المشاركين بممارسات الصيانة التنبؤية في بيئاتهم الصناعية..

جدول (3): فقرات معاملات الارتباط لعبارات بعد تحليل البيانات

م	العبارة	معامل ارتباط بيرسون	Sig
10	يتم جمع بيانات الأداء من أجهزة الاستشعار المرتبطة بالمعدات.	0.608**	0.000
11	تُستخدم أدوات تحليل بيانات للكشف عن مؤشرات الخلل مبكراً.	0.682**	0.000
12	تتوفر تقارير دورية لتحليل كفاءة تشغيل المعدات.	0.696**	0.000
13	يتم الاحتفاظ بسجلات دقيقة لجميع أنشطة الصيانة السابقة.	0.715**	0.000
14	ساعد تحليل البيانات في تحسين اتخاذ القرار بخصوص توقيت الصيانة.	0.624**	0.000
15	تعتمد الإدارة على تحليل البيانات لتقليل الوقت الضائع بسبب الأعطال.	0.689**	0.000
16	يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات.	0.706**	0.000

أوضحت نتائج معاملات الارتباط لبُعد "تحليل البيانات" أن جميع الفقرات قد حققت علاقات ارتباط إيجابية ودالة إحصائية عند مستوى معنوية ($Sig = 0.000$) ، حيث تراوحت معاملات الارتباط بين (0.608) و (0.715). وتشير هذه النتائج إلى وجود اتساق داخلي جيد بين الفقرات، مما يعزز من صدق الأداة في تمثيل هذا البُعد ضمن بنية الصيانة التنبؤية. وقد جاءت الفقرة التي تنص على "يتم الاحتفاظ بسجلات دقيقة لجميع أنشطة الصيانة السابقة" في مقدمة الفقرات من حيث قوة الارتباط (0.715)، تلتها فقرة "يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات" (0.706)، وهو ما يعكس أهمية البيانات الموثوقة والأدوات التفاعلية في دعم ممارسات الصيانة الحديثة. كما سجلت فقرات أخرى مثل استخدام أدوات التحليل والتقارير الدورية وتحسين القرار الفني ارتباطات مرتفعة، مما يُظهر وعي الباحثين بأهمية تحليل البيانات في التنبؤ بالأعطال وتقليل الفاقد التشغيلي.

جدول (4): فقرات معاملات الارتباط لعبارات تحسين جداول الصيانة

م	العبارة	معامل ارتباط بيرسون	Sig
17	يتم جمع بيانات الأداء من أجهزة الاستشعار المرتبطة بالمعدات.	0.721**	0.000
18	تُستخدم أدوات تحليل بيانات للكشف عن مؤشرات الخلل مبكرًا.	0.725**	0.000
19	تتوفر تقارير دورية لتحليل كفاءة تشغيل المعدات.	0.743**	0.000
20	توجد وحدة أو قسم مسؤول عن تحليل البيانات التشغيلية للمعدات.	0.709**	0.000
21	يتم دمج نتائج تحليل البيانات في قرارات الصيانة.	0.648**	0.000
22	يتم استخدام تحليلات تنبؤية لمقارنة أداء المعدات عبر الزمن.	0.736**	0.000
23	ساعد تحليل البيانات في تحسين اتخاذ القرار بخصوص توقيت الصيانة.	0.759**	0.000

م	العبارة	معامل ارتباط بيرسون	Sig
24	تعتمد الإدارة على تحليل البيانات لتقليل الوقت الضائع بسبب الأعطال.	0.574**	0.000
25	يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات.	0.780**	0.000

أظهرت نتائج جدول (4) أن فقرات بُعد "تحسين جداول الصيانة" سجلت معاملات ارتباط موجبة ودالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\text{Sig} = 0.000$) ، حيث تراوحت قيم معاملات بيرسون بين (0.574) و(0.780)، مما يدل على اتساق داخلي مرتفع وارتباط قوي بين الفقرات ومحور الصيانة التنبؤية. وقد سجلت الفقرة "يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات" أعلى قيمة ارتباط بلغت (0.780)، تلتهما فقرة "ساعد تحليل البيانات في تحسين اتخاذ القرار بخصوص توقيت الصيانة" بارتباط قدره (0.759)، مما يعكس الأهمية الكبيرة للأدوات التحليلية الرقمية ودورها في تعزيز دقة جدولة الصيانة وتحسين توقيتها. كما سجلت عدة فقرات أخرى معاملات قوية، منها استخدام التحليلات التنبؤية (0.736) والتقارير الدورية (0.743)، مما يدل على أن القرارات المتعلقة بجدولة الصيانة تستند بشكل واضح إلى مدخلات تحليل البيانات التشغيلية. وعلى الرغم من أن فقرة "تعتمد الإدارة على تحليل البيانات لتقليل الوقت الضائع" سجلت أدنى معامل ارتباط (0.574)، إلا أنها ما تزال ضمن الحدود المقبولة إحصائياً، وتشير إلى تأثير إداري متوسط نسبياً مقارنة بالعناصر التقنية في تحسين الجدولة. وتدل هذه النتائج عموماً على أن الفقرات المستخدمة تعكس بدقة هذا البُعد، وتدعم صدق مقياس الدراسة في تمثيل مفهوم تحسين جداول الصيانة.

❖ المحور الثاني: تعزيز الإنتاجية

جدول (5): فقرات معاملات الارتباط لعبارات محور تعزيز الإنتاجية

م	العبارة	قيمة معامل الارتباط	الدلالة الإحصائية (Sig)
1	ساهمت الصيانة التنبؤية في تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.	0.720**	0.000
2	أدت تقنيات الصيانة التنبؤية إلى تحسين كفاءة استخدام المعدات.	0.719**	0.000
3	ساعدت الصيانة التنبؤية في تقليل الأعطال المتكررة.	0.728**	0.000
4	ساهمت الإجراءات الوقائية المبكرة في رفع سرعة الإنتاج.	0.807**	0.000
5	يتم استغلال الوقت التشغيلي بشكل أفضل بعد تطبيق الصيانة التنبؤية.	0.750**	0.000
6	ساهمت أنظمة الصيانة التنبؤية في تقليل استهلاك الطاقة.	0.559**	0.000
7	ارتفعت كفاءة العاملين نتيجة استقرار تشغيل المعدات.	0.816**	0.000
8	ساعدت صيانة المعدات المسبقة على تقليل معدلات الهدر.	0.604**	0.000
9	أدى تطبيق الصيانة التنبؤية إلى تحسين جودة المنتجات النهائية.	0.723**	0.000
10	أصبحت العمليات الإنتاجية أكثر انتظامًا بعد اعتماد الصيانة التنبؤية.	0.805**	0.000

م	العبارة	قيمة معامل الارتباط	الدلالة الإحصائية (Sig)
11	ساعدت نظم الصيانة التنبؤية في رفع درجة التزام المنشأة بجداول التسليم.	0.698**	0.000
12	ساعدت في تخفيض التكاليف الناتجة عن توقف الإنتاج.	0.820**	0.000
13	أدت إلى تحسين رضا العاملين من خلال تخفيف الضغط الناتج عن الأعطال.	0.803**	0.000
14	ساهمت في تعزيز استدامة خطوط الإنتاج.	0.763**	0.000
15	ساهمت في زيادة المخرجات الكلية باستخدام نفس الموارد.	0.808**	0.000

أظهرت نتائج جدول (6) أن جميع فقرات محور "تعزيز الإنتاجية" قد حققت معاملات ارتباط موجبة ودالة إحصائية عند مستوى (Sig = 0.000)، حيث تراوحت قيم الارتباط بين (0.559) و(0.820). وتشير هذه النتائج إلى وجود اتساق داخلي عالٍ بين الفقرات، بما يؤكد صدق الأداة في قياس هذا البُعد كمكون تابع رئيسي في الدراسة. وقد جاءت الفقرات المتعلقة بتقليل التكاليف الناتجة عن توقف الإنتاج (0.820)، ورفع كفاءة العاملين (0.816)، وزيادة المخرجات باستخدام نفس الموارد (0.808)، من بين أعلى الفقرات ارتباطاً، ما يعكس إدراك المشاركين للأثر المباشر لتطبيق الصيانة التنبؤية في تحسين الأداء التشغيلي والإنتاجي. كما سجّلت فقرات مثل انتظام العمليات (0.805) ورضا العاملين (0.803) معاملات مرتفعة، مما يدل على أن المشاركين يرون أن الصيانة التنبؤية لا تؤثر فقط على الجانب التقني، بل تمتد إلى تحسين الجوانب البشرية والتنظيمية أيضاً. وفي المقابل، كانت أدنى قيمة ارتباط للفقرات مرتبطة بتقليل استهلاك الطاقة (0.559)، إلا أنها تبقى ضمن المجال المقبول إحصائياً، مما يشير إلى تأثير متوسط في هذا الجانب. وعليه، فإن هذه النتائج تدعم اعتماد محور "تعزيز الإنتاجية" كمتغير تابع موثوق، يعكس بوضوح أثر ممارسات الصيانة التنبؤية في البيئات الصناعية..

7.3 ثبات أداة الدراسة

تم حساب معامل ألفا كرونباخ لعبارات محاور الاستبيان وكانت النتائج كما يلي:

جدول (6) معامل الثبات لمحاور استمارة الاستبيان

المحاور	معامل الفا كرو	عدد العبا
الصيانة التنبؤية	0.970	34
تعزيز الإنتاجية	0.941	15

تم التحقق من ثبات أداة الدراسة باستخدام معامل ألفا كرونباخ، حيث أظهرت النتائج قيمًا مرتفعة لجميع محاور الاستبيان، مما يدل على اتساق داخلي قوي بين الفقرات. فقد بلغ معامل الثبات لُبُعد الصيانة التنبؤية (0.970) ولتعزيز الإنتاجية (0.941)، في حين بلغت قيمة معامل الثبات الكلي لأداة الاستبيان (0.980). وتشير هذه القيم إلى أن الأداة تتمتع بدرجة عالية من الموثوقية، وتصلح للاعتماد عليها في جمع البيانات وتحليلها والخروج بنتائج دقيقة يمكن تعميمها على مجتمع الدراسة.

الفصل الرابع: تحليل النتائج

مقدمة

سوف نتناول في هذا الفصل تحليل بيانات الدراسة من خلال تحليل استمارة الاستبيان والتعرف على خصائص عينة الدراسة وتحليل محاور الدراسة واختبار فروض الدراسة من أجل تحقيق أهداف الدراسة والوصول إلى نتائج وتوصيات للدراسة.

1.4 خصائص عينة الدراسة

جدول (7) توزيع عينة الدراسة وفقا لخصائصها

المتغير	الفئة	التكرار	(%) النسبة المئوية
الجنس	ذكر	265	76.9%
	أنثى	82	23.1%
العمر	أقل من 30 سنة	98	28.4%
	من 30 إلى أقل من 40 سنة	132	38.2%
	من 40 إلى أقل من 50 سنة	81	23.4%
	سنة فأكثر 50	36	10.0%
المؤهل العلمي	دبلوم	56	16.3%
	بكالوريوس	210	61.3%
	دراسات عليا (ماجستير/دكتوراه)	81	23.4%
المستوى الوظيفي	فني تشغيل وصيانة	137	39.7%
	مشرف / رئيس قسم	104	30.1%
	إداري (دعم فني / تخطيط)	106	30.2%
الإجمالي	—	347	100%

أظهر جدول (7) أن توزيع عينة الدراسة جاء متوازنًا نسبيًا من حيث الخصائص الديموغرافية، حيث شكّل الذكور الغالبية بنسبة 76.9%، وهو ما يتسق مع طبيعة بيانات العمل الصناعية والهندسية التي يغلب عليها الطابع الذكوري في المملكة العربية السعودية. كما أن الفئة العمرية الأكثر تمثيلًا كانت بين 30 و40 سنة بنسبة 38.2%، تليها الفئة دون سن 30 بنسبة 28.4%، ما يدل على أن غالبية العينة تقع ضمن الشريحة الأكثر نشاطًا في مواقع التشغيل والصيانة، وهي الفئة المرجّح أن تكون أكثر تفاعلًا مع تطبيقات الصيانة التنبؤية. ويُعزز ذلك من موثوقية البيانات التي تم جمعها، كون المشاركين هم من الفئات العمرية المرتبطة مباشرة بمهام فنية وتشغيلية.

أما من حيث المستوى التعليمي، فقد تبين أن حملة البكالوريوس يشكلون النسبة الأكبر (61.3%)، تليهم حملة الدراسات العليا بنسبة 23.4%، مما يعكس وجود قاعدة معرفية قوية لدى المشاركين، تؤهلهم للتفاعل الواعي مع مفاهيم الصيانة التنبؤية وتحليل الإنتاجية. كما أن التوزيع الوظيفي كشف عن تنوع في المستويات داخل الهيكل التنظيمي، حيث تركزت النسبة الأعلى في فئة الفنيين بنسبة 39.7%، يليها المشرفون والإداريون، وهو ما يعكس شمول العينة لمستويات تنفيذية وإشرافية وإدارية، ويعطي ثقة في أن الاستجابات تمثل مختلف وجهات النظر داخل بيئة العمل الصناعية. وهذا التنوع في خصائص العينة يعزز من القدرة التفسيرية للدراسة، ويُسهّم في استخلاص نتائج أكثر دقة وشمولًا حول أثر الصيانة التنبؤية على تعزيز الإنتاجية.

2.4 تحليل استمارة الاستبيان

■ المحور الأول: الصيانة التنبؤية

1- التنبؤ بالأعطال

جدول (8) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات التنبؤ

بالأعطال

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوي الموافقة
تعتمد شركتي على أنظمة لمراقبة أداء المعدات بشكل لحظي لتوقع الأعطال.	4.140	1.001	1	مرتفع
يتم استخدام تقارير فنية لتحديد احتمالية حدوث الأعطال قبل وقوعها.	4.050	1.145	2	مرتفع
توجد آليات تنبؤية للكشف عن الخلل في المعدات الحساسة.	4.010	1.006	4	مرتفع
يتم تحليل السجلات التشغيلية السابقة لتحديد نمط الأعطال.	4.020	1.011	3	مرتفع
يتم اتخاذ إجراءات وقائية بناءً على تنبؤات سابقة بأعطال متكررة.	3.930	0.876	6	مرتفع
تستخدم المنشأة مؤشرات فنية (مثل الاهتزاز، درجة الحرارة) للكشف المبكر عن الأعطال.	3.880	1.034	8	مرتفع
لدينا خطة زمنية للصيانة مبنية على نتائج التنبؤ الفني.	3.980	0.991	5	مرتفع
يتم استخدام برمجيات متخصصة لتحليل مؤشرات الأعطال المحتملة.	3.800	0.981	9	مرتفع
يتم تدريب الفنيين على قراءة الإشارات التحذيرية للأعطال المحتملة.	3.920	1.047	7	مرتفع
المتوسط	3.970	1.010		مرتفع

أظهرت نتائج جدول (8) الخاص بـ"التنبؤ بالأعطال" أن مستوى استجابات أفراد العينة جاء مرتفعاً بمتوسط حسابي كلي بلغ (3.970) وانحراف معياري قدره (1.010)، مما يدل على وجود اتفاق قوي بين المبحوثين حول توافر ممارسات التنبؤ بالأعطال في بيئاتهم الصناعية. وقد احتلت عبارة "تعتمد شركتي على أنظمة لمراقبة أداء المعدات بشكل لحظي لتوقع الأعطال" المرتبة الأولى بمتوسط (4.140)، مما يعكس الاعتماد على التكنولوجيا الحديثة لمراقبة الحالة التشغيلية للمعدات بشكل مستمر. كما جاءت عبارات مثل "يتم استخدام تقارير فنية" و"تحليل السجلات التشغيلية" و"وجود آليات تنبؤية" في مراكز متقدمة، مما يشير إلى شيوع الممارسات التحليلية الاستباقية. في المقابل، حصلت عبارة "يتم استخدام برمجيات متخصصة لتحليل مؤشرات الأعطال" على أدنى متوسط (3.800)، وهو ما قد يشير إلى حاجة بعض المنشآت لتعزيز التكامل الرقمي في تحليل البيانات الفنية. وبشكل عام، تعكس هذه النتائج وعياً تنظيمياً جيداً بأهمية التنبؤ بالأعطال ضمن إطار الصيانة التنبؤية، وتُبرز دورها في تعزيز كفاءة المعدات والحد من التوقفات غير المخططة.

2- تحليل البيانات

جدول (9) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات تحليل

البيانات

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوي الموافقة
يتم جمع بيانات الأداء من أجهزة الاستشعار المرتبطة بالمعدات.	4.050	1.005	2	مرتفع
تُستخدم أدوات تحليل بيانات للكشف عن مؤشرات الخلل مبكراً.	3.900	1.016	5	مرتفع
تتوفر تقارير دورية لتحليل كفاءة تشغيل المعدات.	3.910	0.972	4	مرتفع

مرتفع	3	0.885	3.910	يتم الاحتفاظ بسجلات دقيقة لجميع أنشطة الصيانة السابقة.
مرتفع	6	0.873	3.860	ساعد تحليل البيانات في تحسين اتخاذ القرار بخصوص توقيت الصيانة.
مرتفع	7	1.012	3.720	تعتمد الإدارة على تحليل البيانات لتقليل الوقت الضائع بسبب الأعطال.
مرتفع	1	0.969	4.060	يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات.
مرتفع		0.962	3.916	المتوسط

أوضحت نتائج جدول (9) المتعلقة بـ"تحليل البيانات" أن مستوى استجابات أفراد العينة جاء مرتفعاً بمتوسط حسابي عام بلغ (3.916) وانحراف معياري (0.962)، مما يشير إلى وجود إدراك إيجابي لدى الباحثين حول أهمية استخدام تحليل البيانات في دعم قرارات الصيانة التنبؤية. وقد تصدرت عبارة "يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات" الترتيب بمتوسط (4.060)، وهو ما يعكس اهتمام الشركات الصناعية بالتمثيل البصري للبيانات وتوظيفه في مراقبة الحالة التشغيلية للمعدات.

كما جاءت عبارة "يتم جمع بيانات الأداء من أجهزة الاستشعار" في المرتبة الثانية بمتوسط (4.050)، ما يدل على انتشار استخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأجهزة الاستشعار في البيئات الصناعية، الأمر الذي يُسهم في تهيئة بيانات قابلة للتحليل. في المقابل، جاءت العبارة "تعتمد الإدارة على تحليل البيانات لتقليل الوقت الضائع بسبب الأعطال" في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.720)، رغم أنها لا تزال ضمن مستوى الموافقة المرتفع، مما قد يشير إلى وجود فجوة بين جمع البيانات وتوظيفها الإداري المباشر في بعض المنشآت. وبوجه عام، تعكس النتائج وعياً تنظيمياً متزايداً بأهمية تحليل البيانات كأداة داعمة لتحسين أداء الصيانة وتعزيز الإنتاجية الصناعية.

3- تحسين جداول الصيانة

جدول (10) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات تحسين

جداول الصيانة

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوي الموافقة
يتم جمع بيانات الأداء من أجهزة الاستشعار المرتبطة بالمعدات.	4.090	0.940	2	مرتفع
تُستخدم أدوات تحليل بيانات للكشف عن مؤشرات الخلل مبكرًا.	4.020	0.895	3	مرتفع
تتوفر تقارير دورية لتحليل كفاءة تشغيل المعدات.	4.010	0.945	4	مرتفع
توجد وحدة أو قسم مسؤول عن تحليل البيانات التشغيلية للمعدات.	3.950	1.034	5	مرتفع
يتم دمج نتائج تحليل البيانات في قرارات الصيانة.	3.870	1.008	8	مرتفع
يتم استخدام تحليلات تنبؤية لمقارنة أداء المعدات عبر الزمن.	4.090	0.874	1	مرتفع
ساعد تحليل البيانات في تحسين اتخاذ القرار بخصوص توقيت الصيانة.	3.940	1.095	6	مرتفع
تعتمد الإدارة على تحليل البيانات لتقليل الوقت الضائع بسبب الأعطال.	3.910	0.982	7	مرتفع
يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات.	3.870	1.037	9	مرتفع
المتوسط	3.972	0.979		مرتفع

أوضحت نتائج جدول (10) أن استجابات أفراد العينة حول بُعد "تحسين جداول الصيانة" جاءت ضمن مستوى مرتفع، بمتوسط حسابي كلي بلغ (3.972) وانحراف معياري (0.979)، ما يشير إلى درجة عالية من الاتفاق حول تبني المنشآت الصناعية لأدوات وتقنيات تُسهم في تطوير جداول الصيانة اعتماداً على البيانات التحليلية. وقد تصدرت عبارتاً "يتم استخدام تحليلات تنبؤية لمقارنة أداء المعدات عبر الزمن" و"يتم جمع بيانات الأداء من أجهزة الاستشعار" قائمة العبارات الأعلى متوسطاً (4.090)، ما يُبرز أهمية التكامل بين التحليلات التنبؤية والبيانات اللحظية في دعم القرارات التشغيلية المتعلقة بجدولة الصيانة.

كما حققت فقرات أخرى متوسطات قريبة، مثل "تُستخدم أدوات تحليل بيانات للكشف عن مؤشرات الخلل" و"توفر تقارير دورية"، مما يُعزز الانطباع العام بأن التخطيط للصيانة أصبح يعتمد بشكل متزايد على مدخلات تحليلية دقيقة. في المقابل، جاءت عبارتاً "يتم دمج نتائج التحليل في قرارات الصيانة" و"يتم استخدام رسوم بيانية لمراقبة الأداء" في أدنى الترتيب (3.870)، وهو ما قد يعكس تفاوتاً في مدى الاستفادة العملية من البيانات المرئية والتحليلية عند اتخاذ قرارات الجدولة. وبشكل عام، تُظهر النتائج أن تحسين جداول الصيانة يُمثل توجهاً فعلياً لدى الشركات الصناعية، يعتمد على البيانات لا على التقديرات، وهو ما يدعم فاعلية تطبيق الصيانة التنبؤية في بيئات العمل الهندسية.

■ المحور الثاني: تعزيز الإنتاجية

جدول (11) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والترتيب ومستوي الموافقة على عبارات تعزيز

الإنتاجية

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوي الموافقة
ساهمت الصيانة التنبؤية في تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.	3.870	1.018	10	مرتفع

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الموافقة
أدت تقنيات الصيانة التنبؤية إلى تحسين كفاءة استخدام المعدات.	4.000	0.884	3	مرتفع
ساعدت الصيانة التنبؤية في تقليل الأعطال المتكررة.	3.920	0.946	5	مرتفع
ساهمت الإجراءات الوقائية المبكرة في رفع سرعة الإنتاج.	3.790	1.072	13	مرتفع
يتم استغلال الوقت التشغيلي بشكل أفضل بعد تطبيق الصيانة التنبؤية.	3.630	1.165	14	مرتفع
ساهمت أنظمة الصيانة التنبؤية في تقليل استهلاك الطاقة.	3.810	1.057	12	مرتفع
ارتفعت كفاءة العاملين نتيجة استقرار تشغيل المعدات.	3.810	1.057	12	مرتفع
ساعدت صيانة المعدات المسبقة على تقليل معدلات الهدر.	4.110	0.917	1	مرتفع
أدى تطبيق الصيانة التنبؤية إلى تحسين جودة المنتجات النهائية.	3.920	1.103	6	مرتفع
أصبحت العمليات الإنتاجية أكثر انتظامًا بعد اعتماد الصيانة التنبؤية.	3.870	1.037	11	مرتفع
ساعدت نظم الصيانة التنبؤية في رفع درجة التزام المنشأة بجدول التسليم.	3.980	1.050	4	مرتفع

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الموافقة
ساعدت في تخفيض التكاليف الناتجة عن توقف الإنتاج.	3.900	1.016	7	مرتفع
أدت إلى تحسين رضا العاملين من خلال تخفيف الضغط الناتج عن الأعطال.	3.890	1.020	8	مرتفع
ساهمت في تعزيز استدامة خطوط الإنتاج.	4.010	0.844	2	مرتفع
ساهمت في زيادة المخرجات الكلية باستخدام نفس الموارد.	3.890	1.040	9	مرتفع

أظهرت نتائج جدول (11) أن استجابات أفراد العينة حول محور "تعزيز الإنتاجية" جاءت ضمن مستوى مرتفع، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي (3.900) بانحراف معياري متفاوت يدل على تباين نسبي في آراء المشاركين، لكن ضمن حدود اتفاق عامة. وتشير هذه النتائج إلى إدراك قوي من قبل العاملين في القطاع الصناعي بأثر الصيانة التنبؤية على مختلف أبعاد الإنتاجية، سواء التقنية أو التشغيلية أو الاقتصادية.

وقد حصلت عبارة "ساعدت صيانة المعدات المسبقة على تقليل معدلات الهدر" على أعلى متوسط حسابي (4.110)، تلتها عبارة "ساهمت في تعزيز استدامة خطوط الإنتاج" بمتوسط (4.010)، مما يعكس وعي المشاركين بأثر الصيانة التنبؤية في دعم الكفاءة واستدامة العمليات. كما سجلت عبارات مثل "تحسين كفاءة استخدام المعدات" و"رفع الالتزام بجداول التسليم" و"تقليل الأعطال المتكررة" متوسطات عالية نسبياً، تعكس أثراً مباشراً للصيانة التنبؤية على عناصر أساسية في الإنتاج الصناعي.

في المقابل، جاءت عبارات مثل "استغلال الوقت التشغيلي بشكل أفضل" و"رفع سرعة الإنتاج" في أدنى الترتيب، رغم بقائها ضمن مستوى الموافقة المرتفع، مما قد يُشير إلى وجود تحديات في الاستفادة الكاملة من وقت التشغيل، أو أن تأثير الصيانة التنبؤية في هذا الجانب ما يزال يتطلب تحسينات إضافية.

في التخطيط التشغيلي. وعمومًا، تؤكد هذه النتائج على فعالية الصيانة التنبؤية كأداة داعمة لتعزيز الإنتاجية، من خلال الحد من الفاقد، وتحسين الجودة، وتقليل التكاليف، واستقرار الأداء داخل الشركات الصناعية الهندسية.

3.4 اختبار فروض الدراسة

الفرضية الرئيسية: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للصيانة التنبؤية بأبعادها (التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، تحسين جداول الصيانة) في تعزيز الإنتاجية في الصناعات الهندسية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض..

جدول (12) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر للصيانة التنبؤية على تعزيز الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض..

P-VALUE	r	R ²	F	t	b
0.000	0.954	0.910	**4043.769	**63.591	0.456

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي ببرنامج SPSS 24

أظهرت نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط كما ورد في جدول (12) وجود أثر دال إحصائيًا للصيانة التنبؤية بأبعادها (التنبؤ بالأعطال، تحليل البيانات، تحسين جداول الصيانة) على تعزيز الإنتاجية في الصناعات الهندسية بالشركات الصناعية بمدينة الرياض، حيث بلغ مستوى الدلالة (P-value) (0.000)، وهي قيمة أقل من مستوى الدلالة المعتمد ($\alpha \leq 0.05$)، مما يؤكد دلالة معنوية قوية ويُشير إلى رفض الفرضية الصفريّة وقبول الفرضية البديلة التي تفيد بوجود هذا الأثر.

وقد أوضح معامل الارتباط ($r = 0.954$) وجود علاقة ارتباط قوية جدًا وموجبة بين متغير الصيانة التنبؤية والإنتاجية، مما يعكس انسجامًا كبيرًا بين متغيرات النموذج وتوجهات عينة الدراسة. كما يُبين معامل التحديد ($R^2 = 0.910$) أن نحو 91% من التغير في مستوى الإنتاجية يمكن تفسيره من خلال تطبيق

الصيانة التنبؤية، وهو ما يعكس قوة النموذج في التنبؤ بفعالية هذا النوع من الصيانة كعامل رئيس في دعم الأداء الصناعي. ويدعم ذلك أيضاً الارتفاع الملحوظ في قيمة ($F = 4043.769$) وقيمة ($t = 63.591$) ، وكلاهما ذو دلالة إحصائية عند مستوى عالٍ من الثقة.

ويُظهر معامل الانحدار ($B = 0.456$) أن أي تحسن في تطبيق ممارسات الصيانة التنبؤية يُقابله تحسن مباشر ومؤثر في مستوى الإنتاجية داخل بيئات العمل الصناعية. وتشير هذه النتائج مجتمعة إلى أن تبني نهج الصيانة التنبؤية لا يسهم فقط في خفض الأعطال أو الوقاية منها، بل يُعد أداة استراتيجية فعالة لرفع كفاءة الموارد، وضمان استدامة العمليات، وتحقيق نتائج إنتاجية ملموسة. وعليه، تُعد هذه النتائج داعماً قوياً لتوسيع نطاق تطبيق هذه الممارسات في القطاع الصناعي بالمملكة، خصوصاً في ظل التوجهات الوطنية نحو التحول الرقمي في بيئات العمل الإنتاجية.

➤ **الفرضية الفرعية الأولى:** يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتنبؤ بالأعطال في تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة الكفاءة الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

جدول (13) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر للتنبؤ بالأعطال كأحد أبعاد الصيانة التنبؤية

على تعزيز الإنتاجية

P-VALUE	r	R ²	F	t	b
0.000	0.898	0.806	**1652.867	**40.655	1.511

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي برنامج SPSS 24

أظهرت النتائج الإحصائية كما ورد في جدول (13) وجود علاقة دالة وقوية بين بُعد التنبؤ بالأعطال وتعزيز الإنتاجية، حيث جاء مستوى الدلالة ($P\text{-value} = 0.000$) ، وهو أقل من مستوى الدلالة المعتمد (0.05)، ما يشير بوضوح إلى وجود تأثير حقيقي ومعنوي للتنبؤ بالأعطال على متغير الإنتاجية.

وبلغ معامل الارتباط ($r = 0.898$) ، وهو ما يُعبّر عن علاقة ارتباط إيجابية وقوية جدًا بين التنبؤ بالأعطال ومستوى الإنتاجية، بينما أظهر معامل التحديد ($R^2 = 0.806$) أن نحو 80.6% من التغير في الإنتاجية يمكن تفسيره من خلال مستوى تطبيق التنبؤ بالأعطال، وهي نسبة مرتفعة تعكس القوة التفسيرية للنموذج.

كما تشير قيمة F (1652.867) إلى دلالة إحصائية قوية للنموذج ككل، وتعززها أيضًا قيمة t المرتفعة (40.655) لمعامل الانحدار، مما يُشير إلى أن متغير "التنبؤ بالأعطال" يُعد مؤثرًا رئيسيًا في تفسير التغير في الإنتاجية. وقد بلغ معامل الانحدار ($B = 1.511$) ، مما يعني أن كل زيادة بمقدار وحدة واحدة في درجة تطبيق التنبؤ بالأعطال يُقابلها زيادة متوقعة في مستوى الإنتاجية بمقدار 1.511 وحدة، وهو تأثير جوهري ومؤثر من الناحية التطبيقية.

➤ **الفرضية الفرعية الثانية:** يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتحليل البيانات في تحسين فعالية استراتيجيات الصيانة وتقليل الأعطال وزيادة الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

جدول (14) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر لتحليل البيانات كأحد أبعاد الصيانة التنبؤية

على تعزيز الإنتاجية

P-VALUE	r	R ²	F	t	b
0.000	0.870	0.757	**1243.015	**35.256	2.033

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي برنامج SPSS 24

وقد تم اختبار هذه الفرضية باستخدام نموذج الانحدار الخطي البسيط، كما هو موضح في جدول (16). وقد أظهرت النتائج أن مستوى الدلالة ($P\text{-value} = 0.000$) جاء أقل من (0.05)، مما يدل على وجود علاقة دالة إحصائية بين تحليل البيانات وتعزيز الإنتاجية، وبالتالي رفض الفرضية الصفرية وقبول الفرضية البديلة.

وتشير قيمة معامل الارتباط ($r = 0.870$) إلى وجود علاقة قوية جدًا وموجبة بين درجة تطبيق تحليل البيانات وتحسين الإنتاجية، بينما أظهر معامل التحديد ($R^2 = 0.757$) أن تحليل البيانات يُفسّر ما نسبته 75.7% من التباين في مستوى الإنتاجية، وهي نسبة مرتفعة تعكس تأثيرًا ملحوظًا لهذا البعد من أبعاد الصيانة التنبؤية.

كما تُعزّز قيمة F العالية (1243.015) وقيمة t المرتفعة (35.256) دلالة النموذج وفعالية متغير تحليل البيانات في تفسير التغير في المتغير التابع. وقد بلغ معامل الانحدار ($B = 2.033$)، مما يشير إلى أن كل زيادة بوحدة واحدة في درجة توظيف تحليل البيانات تؤدي إلى زيادة متوقعة في مستوى الإنتاجية بمقدار 2.033 وحدة، وهو تأثير كبير من الناحية العملية.

في ضوء النتائج السابقة، يتم قبول الفرضية الفرعية الثانية، حيث يتبين أن تحليل البيانات يُعد من العوامل الفعالة في تحسين استراتيجيات الصيانة وتقليل معدل الأعطال، الأمر الذي يُفضي إلى رفع كفاءة المعدات وتحقيق مستويات أعلى من الإنتاجية..

➤ **الفرضية الفرعية الثالثة:** يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتحسين جداول الصيانة في تقليل التكاليف التشغيلية وزيادة الكفاءة الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض.

جدول (15) نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط لأثر لتحسين جداول الصيانة كأحد أبعاد الصيانة التنبؤية على تعزيز الإنتاجية في الشركات الصناعية بمدينة الرياض

P-VALUE	r	R ²	F	t	b
0.000	0.952	0.907	**3982.586	**62.391	1.612

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي برنامج SPSS 24

وقد أظهرت نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط، كما ورد في جدول (15)، وجود دلالة إحصائية قوية للعلاقة بين تحسين جداول الصيانة وتعزيز الإنتاجية، حيث بلغت قيمة ($P\text{-value} = 0.000$)، وهي أقل من مستوى الدلالة المعتمد (0.05)، مما يؤكد رفض الفرضية الصفرية وقبول الفرضية البديلة التي تفيد بوجود تأثير فعلي ومعنوي لهذا البُعد من الصيانة التنبؤية.

كما أوضح معامل الارتباط ($r = 0.952$) وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية جدًا بين تحسين جداول الصيانة ومستوى الإنتاجية، ما يدل على أن كلما زاد توظيف الجدولة الذكية والمرنة للصيانة، انعكس ذلك بشكل مباشر على الأداء الإنتاجي. ويُظهر معامل التحديد ($R^2 = 0.907$) أن أكثر من 90% من التغير في الإنتاجية يُعزى إلى تحسّن مستوى جداول الصيانة، وهي نسبة عالية تؤكد أن هذا البُعد يُشكل ركيزة استراتيجية في فعالية الأداء الصناعي.

كما تعزز هذه النتائج ارتفاع قيمة ($F = 3982.586$) ذات الدلالة الإحصائية العالية، إلى جانب قيمة t المرتفعة (62.391) لمعامل الانحدار، وهو ما يدل على قوة النموذج وموثوقية التفسير. وقد بلغ معامل الانحدار ($B = 1.612$)، ما يعني أن كل وحدة تحسّن في جداول الصيانة تُسهم في زيادة متوقعة بمقدار 1.612 وحدة في مستوى الإنتاجية، وهو تأثير جوهري يعكس أهمية تنظيم وتوقيت أعمال الصيانة بصورة استباقية ومبنية على البيانات.

الفصل الخامس: النتائج والتوصيات والمقترحات

مقدمة

سوف نتناول في هذا الفصل النتائج التي توصلت إليها الدراسة من خلال تحليل البيانات المتعلقة بمحاور الدراسة والتي تم الحصول عليها عن طريق أداة الاستبيان المتمثلة في استمارة الاستبيان الإلكتروني واختبار فروض الدراسة وكذلك يتناول الفصل مجموعة من التوصيات التي توصي بها الدراسة ومجموعة من المقترحات لدراسات وابحاث يمكن اجراؤها في المستقبل

1.5 نتائج الدراسة

مناقشة النتائج الوصفية

أظهرت النتائج الوصفية للدراسة، من خلال تحليل المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات الاستبانة، مستوى مرتفعاً من موافقة أفراد العينة على تطبيق ممارسات الصيانة التنبؤية داخل الشركات الصناعية الهندسية بمدينة الرياض، وعلى إدراكهم لأثرها في تعزيز الإنتاجية. ويُشير هذا النمط من الاستجابات إلى أن ممارسات الصيانة التنبؤية لم تعد نظرية أو تجريبية، بل أصبحت جزءاً من الواقع التشغيلي في عدد من المنشآت الصناعية، وإن بدرجات متفاوتة من حيث العمق والتكامل.

جاء بُعد "التنبؤ بالأعطال" في طليعة الأبعاد الثلاثة من حيث المتوسط الحسابي (3.970)، وهو ما يعكس إدراكاً عالياً لدى المشاركين بأهمية الكشف المبكر عن الأعطال كوسيلة لتقليل التوقفات المفاجئة وتحقيق الاستقرار التشغيلي. وقد توافقت هذه النتيجة مع ما أشار إليه (Meira et al. و Zonta et al. (2022) و (2021) أن التنبؤ المبكر بالأعطال يؤدي إلى تقليل التكاليف الناتجة عن الأعطال غير المخططة وتحسين الجاهزية التشغيلية.

أما بُعد "تحليل البيانات"، فقد حصل على متوسط مرتفع (3.916)، ما يدل على وجود بنية تحليلية مقبولة إلى جيدة في العديد من المنشآت الصناعية، تشمل استخدام أدوات التحليل، التقارير الدورية، والسجلات الفنية. وتنسجم هذه النتائج مع ما أكدته دراسة (Mohapatra و Khan (2024) (2024) حول أهمية تحليل البيانات في اتخاذ قرارات صيانة دقيقة وتوقعية. ومع ذلك، فإن ترتيب بعض الفقرات – مثل الاعتماد الإداري المباشر على التحليل في تقليل الوقت الضائع – يشير إلى وجود فجوة جزئية بين جمع البيانات وتوظيفها في الإدارة التشغيلية، وهي فجوة سبق أن أشارت إليها Simi & Resmi (2023).

أما بُعد "تحسين جداول الصيانة"، فقد بلغ متوسطه (3.972)، مما يعكس توجهًا نحو مرونة التخطيط وديناميكية الصيانة استنادًا إلى البيانات الفعلية. وتدل هذه النتيجة على تطور في نظم الصيانة من الأسلوب التقليدي الثابت إلى النموذج التنبؤي القائم على الأداء، وهو ما تؤيده نتائج دراسات مثل Zonta et al. (2022) و Petroutsatou & Ladopoulos (2022). كما يبرز من نتائج هذا البعد أن المنشآت باتت تدرك أهمية جدولة الصيانة بشكل يتماشى مع الأحمال الإنتاجية لتقليل الانقطاعات وتعظيم الاستفادة من الوقت التشغيلي.

أظهرت النتائج الوصفية لمحور "تعزيز الإنتاجية" مستوى موافقة مرتفعًا (بمتوسط 3.900)، مما يُشير إلى وجود قناعة لدى العاملين بأن ممارسات الصيانة التنبؤية تسهم في تقليل الأعطال والهدر، وزيادة استقرار العمليات، ورفع كفاءة استخدام الموارد. وتدعم هذه النتائج ما توصلت إليه دراسة الدليمي وعجيل (2021) و Alam et al. (2023) من أن تطبيق الصيانة الحديثة يؤدي إلى تحسين جودة المنتج النهائي وتقليل تكاليف التشغيل.

أظهرت نتائج اختبار الفرضية الرئيسية أن الصيانة التنبؤية بأبعادها الثلاثة تفسر ما نسبته 91% من التغير في الإنتاجية ($R^2 = 0.910$)، وهو مستوى مرتفع جدًا يعكس الأثر العميق لممارسات الصيانة الذكية في تحسين الأداء الصناعي. وقد أكدت هذه النتيجة ما ورد في دراسات مثل Er-Ratby et al. (2024).

و (Zonta et al. (2022)، والتي أشارت إلى أن تبني أنظمة الصيانة التنبؤية يُسهم في تقليل التوقفات وتحقيق تحسين ملحوظ في المخرجات الصناعية.

ثانيًا: الفرضية الفرعية الأولى: التنبؤ بالأعطال

جاءت نتائج اختبار أثر التنبؤ بالأعطال قوية، حيث بلغ معامل التحديد ($R^2 = 0.806$)، مما يعني أن هذا البُعد بمفرده يفسر أكثر من 80% من التغير في الإنتاجية. وهذا يؤكد أن استخدام أنظمة الاستشعار والمراقبة اللحظية وتحليل أنماط الأعطال يساهم بفاعلية في تقليل التوقفات وتحسين الجاهزية التشغيلية، كما بيّنت ذلك دراسة (Meira et al. (2021) وتدعم هذه النتيجة أيضًا نتائج دراسة بحر وآخرون (2022) التي أثبتت أن التنبؤ اللحظي يمكن أن يحدث تحولًا كبيرًا في بيئات لا تملك بيانات أعطال تاريخية.

ثالثًا: الفرضية الفرعية الثانية: تحليل البيانات

جاء معامل التحديد ($R^2 = 0.757$) ليؤكد أن تحليل البيانات يمثل مرتكزًا أساسيًا في تحسين استراتيجيات الصيانة ورفع الإنتاجية. وقد توافقت هذه النتيجة مع دراسات مثل (Khan (2024) و (Mohapatra (2024) التي أكدت أن التحليل الذكي للبيانات يمكن أن يحول العمليات من رد الفعل إلى الفعل الاستباقي، ويعزز دقة اتخاذ القرار. ويشير الارتباط القوي الذي بلغ ($r = 0.870$) إلى أن المنشآت التي تستثمر في أدوات التحليل والذكاء الاصطناعي تتمتع بقدرة أعلى على رفع الكفاءة التشغيلية.

رابعًا: الفرضية الفرعية الثالثة: تحسين جداول الصيانة

أظهرت هذه الفرضية أقوى النتائج، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.952$) ومعامل التحديد ($R^2 = 0.907$)، وهي نسب تُشير إلى أن تحسين الجداول الزمنية للصيانة — استنادًا إلى الأداء الفعلي للمعدات — يُعد من أكثر العوامل تأثيرًا في رفع الإنتاجية وتقليل التكاليف التشغيلية. وقد دعمت هذه النتيجة ما توصلت إليه دراسة (Zonta et al. (2022)، التي بيّنت أن جدولة الصيانة الذكية ساهمت في خفض

التوقعات بنسبة تفوق 20% وزيادة الإنتاج الفعلي. كما تعزز هذه النتيجة ما أشار إليه Petroutsatou & Ladopoulos (2022) بأن الجدولة التنبؤية ترفع كفاءة استغلال الموارد وتسهم في تحسين إدارة الوقت والإنتاج.

2.5 التوصيات

استنادًا إلى نتائج الدراسة الحالية، توصي الدراسة :

- توصي الدراسة بتبني أنظمة مراقبة لحظية تعتمد على تقنيات الاستشعار (مثل الاهتزاز والحرارة) للكشف المبكر عن الأعطال، بما يسهم في تقليل التوقفات غير المخطط لها وتحقيق استقرار العمليات التشغيلية.
- ينبغي على المنشآت إنشاء قواعد بيانات متكاملة تسجل فيها جميع أنشطة الصيانة والتشغيل، لتكون مرجعًا تحليليًا يُستخدم في التنبؤ بالخلل وتحديد الأنماط المتكررة للأعطال.
- ضرورة الاعتماد على أدوات تحليل البيانات الحديثة، مثل البيانات الضخمة (Big Data) وتقنيات تعلم الآلة (Machine Learning)، لتحسين دقة القرارات المتعلقة بتوقيت وجدولة الصيانة.
- توصي الدراسة بالانتقال من الجداول الزمنية التقليدية للصيانة إلى نماذج قائمة على الحالة الفعلية للمعدات، والتي تُحدّد أوقات الصيانة بناءً على البيانات التشغيلية، مما يقلل الهدر ويزيد من عمر الأصول الإنتاجية.
- توصي الدراسة بإنشاء وحدات أو أقسام متخصصة في تحليل البيانات داخل أقسام الصيانة، لتكون مسؤولة عن استخراج المؤشرات وتقديم توصيات فنية في الوقت المناسب.
- ضرورة تنفيذ برامج تدريبية دورية للمهندسين والفنيين حول قراءة الإشارات التحذيرية، وتحليل تقارير الأعطال، والتعامل مع البرمجيات الذكية ذات العلاقة بالصيانة التنبؤية.
- توصي الدراسة بدمج نتائج نظم الصيانة التنبؤية مع تقارير الأداء والإنتاج، لتقييم أثر الصيانة بدقة على الإنتاجية، والحد من التكاليف الخفية الناتجة عن الأعطال غير المرئية.
- تعزيز قنوات التواصل الفعال بين فرق الإنتاج والصيانة للتنسيق المستمر، مما يضمن تنفيذ الصيانة دون التأثير السلبي على الجداول الزمنية للإنتاج.

- توصي الدراسة بأن تتبنى المؤسسات الصناعية الصيانة التنبؤية كأحد مكونات خطط التحول الرقمي، وربطها بأنظمة التصنيع الذكية (Smart Manufacturing) لتطوير القدرة التنافسية.

Abstract

This study aimed to explore the impact of predictive maintenance and its three dimensions (fault prediction, data analysis, and maintenance schedule optimization) on enhancing productivity in industrial companies in Riyadh. The researcher adopted the descriptive-analytical approach, and a total of 360 questionnaires were distributed to the targeted sample. Of these, 347 valid responses were retrieved for statistical analysis, achieving a response rate of 96.4%.

The results revealed a statistically significant positive relationship between predictive maintenance practices and productivity enhancement. Among the dimensions, "maintenance schedule optimization" had the highest impact, followed by "fault prediction" and then "data analysis". The findings also indicated that adopting predictive maintenance technologies contributes to reducing unexpected downtimes, improving production quality, and minimizing waste, which positively reflects on the overall organizational output.

The study recommended investing in artificial intelligence and Internet of Things (IoT) technologies to enhance maintenance systems, training technical staff in interpreting and analyzing operational data, and integrating smart maintenance practices into the strategic plans of industrial institutions to ensure production sustainability and achieve a competitive advantage in a dynamic business environment.

Keywords: Predictive Maintenance, Fault Prediction, Data Analysis, Maintenance

Scheduling, Productivity, Engineering Industries, Riyadh.

قائمة المراجع

أولا: المراجع العربية

- أحمد، حسام قرني. (2022). أثر العمل عن بعد على إنتاجية العاملين: دراسة ميدانية بالتطبيق على العاملين بكلية التجارة بجامعة المنصورة. مجلة السياسة والاقتصاد، مج15، ع14، 4 - 43.
- بحر، محمد عزات، الحنجوري، محمد أحمد، و الشكري، عبد أحمد. (2022). Design and Implementation of a Real-Time Predictive Maintenance System of Industrial Equipment without Historical Failure Data (رسالة ماجستير غير منشورة). الجامعة الإسلامية (غزة)، غزة.
- حورية، شريف محمد عطية، و سليمان، سحر أمين حميدة. (2022). دور السمات الريادية في تعزيز الكفاءة الإنتاجية لربة الأسرة وعلاقتها برأس المال الأسري النفسي. مجلة البحوث في مجالات التربية النوعية، ع40، 767 - 847.
- دراويش، عبد القادر محمد يوسف. (2024). مستوى تطبيق تقنية بوكا يوكي وأثرها على الكفاءة الإنتاجية في شركة رويال الصناعية التجارية. مجلة جامعة القدس المفتوحة للبحوث الإدارية والاقتصادية، مج9، ع21، 193 - 216.
- الدليعي، محمود فهد عبد علي، و عجيل، باسل جبار. (2021). دور الصيانة الذكية في تحسين الأداء الصناعي: دراسة استطلاعية لآراء عينة من الأفراد العاملين في شركة ابن ماجد العامة. مجلة جامعة الأنبار للعلوم الاقتصادية والإدارية، مج13، ع3، 337 - 361.
- الديحاني، فهد طلال، و جريسات، مهند عيد. (2024). Predictive Maintenance in Power Industrial Plants Using Artificial Intelligence Techniques (رسالة ماجستير غير منشورة). الجامعة الهاشمية، الزرقاء
- سويلم، زينب محمد حسين مصطفى، و سويلم، إيمان محمد حسين مصطفى. (2023). أثر تطبيق منهجية الصيانة الذاتية "AM" على الفاعلية الإنتاجية لماكينة التطريز متعددة الرؤوس. مجلة دراسات وبحوث التربية النوعية، مج9، ع3، 457 - 487.

- عثمان، عبدالرحمن عثمان عبدالرحمن. (2021). فرص تطبيق منهجية الصيانة الإنتاجية الشاملة في صناعة الأغذية: دراسة تطبيقية على مصنع الأغذية بمدينة مرسى مطروح. المجلة العلمية للدراسات والبحوث المالية والإدارية، مج9، ع1، 289 - 328.
- عزيز الرحمن، ريان عدنان. (2024). الاندماج الوظيفي وأثره على إنتاجية الموظف: دراسة تطبيقية على مستشفى النور التخصصي بمكة المكرمة. مجلة العلوم الإقتصادية والإدارية والقانونية، مج8، ع7، 99 - 119.
- لعمامرة، صارة، و محبوب، فاطمة. (2022). أثر إدارة المعرفة في تعزيز إنتاجية المؤسسة الاقتصادية: دراسة حالة مؤسسة الإسمنت حجر السود - سكيكدة. مجلة الاقتصاد والبيئة، مج5، ع2، 228 - 247.
- المزيني، ماجد بن سليمان، و علي، عبدالعزيز عبدالمجيد. (2023). استهداف الأجور لتعزيز الإنتاجية في القطاع الخاص: دراسة تطبيقية على المملكة العربية السعودية. الإدارة العامة، س63، ع4، 645 - 682.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Alam, M., Islam, M. R., & Shil, S. K. (2023). AI-Based predictive maintenance for US manufacturing: reducing downtime and increasing productivity. International Journal of Advanced Engineering Technologies and Innovations, 1(01), 541-567.
- Al-Said, S., Findik, O., Assanova, B., Sharmukhanbet, S., & Baitemirova, N. (2024). Enhancing Predictive Maintenance in Manufacturing: A CNN-LSTM Hybrid Approach for Reliable Component Failure Prediction (pp. 137–153). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51997-0_11

- Banerjee, D. K., Kumar, A., & Sharma, K. (2024). AI Enhanced Predictive Maintenance for Manufacturing System. *International Journal of Research and Review Techniques*, 3(1), 143-146.
- Er-Ratby, M., Kobi, A., Sadraoui, Y., & Kadiri, M. S. (2024). The Role of Predictive Maintenance Optimization Techniques in Enhancing Industrial Productivity. 1–6.
<https://doi.org/10.1109/icoa62581.2024.10753723>
- Er-Ratby, M., Kobi, A., Sadraoui, Y., & Kadiri, M. S. (2024, October). The Role of Predictive Maintenance Optimization Techniques in Enhancing Industrial Productivity. In *2024 10th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Khan, A. S. (2024). Utilizing Data Analytics for Predictive Maintenance in Manufacturing: A Systematic Review on Achieving Operational Excellence. 1(01), 56–67.
<https://doi.org/10.70937/itej.v1i01.7>
- Kshirsagar, P. S., Vispute, S., Dekate, A., & Khardekar, A. (2024). Optimized Manufacturing and Construction Site Machines Maintenance Prediction using Machine Learning and Crayfish Algorithm. *International Journal For Multidisciplinary Research*.
<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i05.28248>
- Mathew, A., & Kaur, S. (2024, July). Predictive Maintenance for Manufacturing Using Data Mining Techniques. In *2024 2nd World Conference on Communication & Computing (WCONF)* (pp. 1-5). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/wconf61366.2024.10692226>
- Meira, J., Pons, E. P., Domínguez, J. P., Marreiros, G., & Ramos, C. (2021). Predictive maintenance through data-driven approaches. In *Proceedings of the III Workshop on disruptive information and communication technologies for innovation and digital*

transformation (pp. 13-25). Ediciones Universidad de Salamanca.

<https://doi.org/10.14201/0aq03111326>

- Mohapatra, A. (2024). Generative AI for Predictive Maintenance: Predicting Equipment Failures and Optimizing Maintenance Schedules Using AI. *Int. J. Sci. Res. MANA*, 12, 1648-1672. <https://doi.org/10.18535/ijserm/v12i11.ec03>
- Onuegbu, C., & Idriss, H. (2022). The Influence of Predictive Maintenance Technologies on Operational Efficiency in Manufacturing Startups. 1(2), 40–50. <https://doi.org/10.61838/kman.jtesm.1.2.5>
- Petroutsatou, K., & Ladopoulos, I. (2022). Integrated Prescriptive Maintenance System (PREMSYS) for Construction Equipment Based on Productivity. 1218. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1218/1/012006>
- Qureshi, M. S., Umar, S., & Nawaz, M. U. (2024). Machine learning for predictive maintenance in solar farms. *International Journal of Advanced Engineering Technologies and Innovations*, 1(3), 27-49.
- Ram, M. V., Sharma, N., Joshi, A., & Vermani, A. (2024). Predictive Maintenance and Production Analysis in Smart Manufacturing (pp. 234–244). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61891-8_23
- Rani, A. J., Prithivirajan, V., Shiney, S. A., Babaiah, Ch., Swamy, H., & Sivagamidevi, G. (2024). Enhancing Predictive Maintenance in Industrial IoT through Machine Learning Models. 1–6. <https://doi.org/10.1109/asiancon62057.2024.10837788>
- Rao, A. V. S. S., Kulkarni, S., Bhatia, D., Sambasivarao, L. V., & Singh, K. (2024). Advanced Machine Learning Algorithms for Predictive Maintenance in Industrial Manufacturing

Systems. South Eastern European Journal of Public Health, 716–723.

<https://doi.org/10.70135/seejph.vi.2057>

- Simi, T., & Resmi, N. G. (2023, August). A Robust Data-Driven Predictive Maintenance Framework for Industrial Machinery using Explainable Machine Learning Techniques. In 2023 9th International Conference on Smart Computing and Communications (ICSCC) (pp. 138-143). IEEE <https://doi.org/10.1109/icsc59169.2023.10335030>
- STAN, C., Oprea, M., & Stan, A. (2023). Predictive maintenance of a flexible production line implemented in matlab. Romanian Journal of Petroleum & Gas Technology, 4(2), 251–258. <https://doi.org/10.51865/jpgt.2023.02.24>
- Zonta, T., Da Costa, C. A., Zeiser, F. A., de Oliveira Ramos, G., Kunst, R., & da Rosa Righi, R. (2022). A predictive maintenance model for optimizing production schedule using deep neural networks. Journal of Manufacturing Systems, 62, 450-462

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة

تحية طيبة وبعد،

يقوم الباحثين بإجراء دراسة حول قياس دور الصيانة التنبؤية في تعزيز الإنتاجية في

الصناعات الهندسية: دراسة تطبيقية على الشركات الصناعية بمدينة الرياض

ونظراً لما لديكم من المعرفة العلمية والخبرة العملية ذات الصلة بموضوع البحث، نأمل

الحصول منكم على العون والمساعدة في توفير المعلومات المناسبة لأغراض البحث، من خلال التكرم

بإبداء رأيكم بالتأشير على الإجابة المناسبة من وجهة نظركم.

وأقدم لحضراتكم بجزيل الشكر والتقدير للمساهمة في جهدكم في تعبئة هذا الاستبيان علماً

أن جميع البيانات التي سيتم الحصول عليها منكم ستعامل بسرية تامة، ولن تستخدم لغير أغراض هذا

البحث، وسوف أزودكم بنتائج هذه الدراسة حال اكتمالها إن شاء الله.

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

أولاً: البيانات الشخصية

1- النوع الاجتماعي ☐ ذكر ☐ أنثى

2- العمر ☐ 30 سنة فأقل ☐ من 40 – 30 سنة
☐ 40 – 50 سنة ☐ من 50 سنة فأكثر

3- المؤهل العلمي ☐ دبلوم ☐ بكالوريوس
☐ دراسات عليا (ماجستير / دكتوراة)

4- المستوى الوظيفي ☐ فني تشغيل وصيانة ☐ مشرف رئيس قسم
☐ إداري (دعم فني / تخطيط)

ثانيا محاور الاستبيان

✿ المحور الأول: الصيانة التنبؤية ، ضع إشارة (√) في المربع المناسب لاختيارك:

البعد	أو افق بشدة	أو افق	محايد	معارض بشدة	معارض بشدة
التنبؤ بالأعطال					
تعتمد شركتي على أنظمة لمراقبة أداء المعدات بشكل لحظي لتوقع الأعطال.					
يتم استخدام تقارير فنية لتحديد احتمالية حدوث الأعطال قبل وقوعها.					
توجد آليات تنبؤية للكشف عن الخلل في المعدات الحساسة.					
يتم تحليل السجلات التشغيلية السابقة لتحديد نمط الأعطال.					
يتم اتخاذ إجراءات وقائية بناءً على تنبؤات سابقة بأعطال متكررة.					
تستخدم المنشأة مؤشرات فنية (مثل الاهتزاز، درجة الحرارة) للكشف المبكر عن الأعطال.					
لدينا خطة زمنية للصيانة مبنية على نتائج التنبؤ الفني.					
يتم استخدام برمجيات متخصصة لتحليل مؤشرات الأعطال المحتملة.					

المعارض بشدة	معارض	محايد	أو وافق	أو وافق بشدة	البعد
					يتم تدريب الفنيين على قراءة الإشارات التحذيرية للأعطال المحتملة.
تحليل البيانات					
					يتم جمع بيانات الأداء من أجهزة الاستشعار المرتبطة بالمعدات.
					تُستخدم أدوات تحليل بيانات للكشف عن مؤشرات الخلل مبكرًا.
					تتوفر تقارير دورية لتحليل كفاءة تشغيل المعدات.
					يتم الاحتفاظ بسجلات دقيقة لجميع أنشطة الصيانة السابقة.
					ساعد تحليل البيانات في تحسين اتخاذ القرار بخصوص توقيت الصيانة.
					تعتمد الإدارة على تحليل البيانات لتقليل الوقت الضائع بسبب الأعطال.
					يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات.
تحسين جداول الصيانة					
					يتم جمع بيانات الأداء من أجهزة الاستشعار المرتبطة بالمعدات.

البعد	أوافق بشدة	أوافق	محايد	معارض بشدة	معارض بشدة
تُستخدم أدوات تحليل بيانات للكشف عن مؤشرات الخلل مبكرًا.					
تتوفر تقارير دورية لتحليل كفاءة تشغيل المعدات.					
توجد وحدة أو قسم مسؤول عن تحليل البيانات التشغيلية للمعدات.					
يتم دمج نتائج تحليل البيانات في قرارات الصيانة.					
يتم استخدام تحليلات تنبؤية لمقارنة أداء المعدات عبر الزمن.					
ساعد تحليل البيانات في تحسين اتخاذ القرار بخصوص توقيت الصيانة.					
تعتمد الإدارة على تحليل البيانات لتقليل الوقت الضائع بسبب الأعطال.					
يتم استخدام رسوم بيانية ومؤشرات رقمية لمراقبة أداء المعدات.					

✿ المحور الثاني: تعزيز الإنتاجية ، ضع إشارة (√) في المربع المناسب لاختيارك:

معارض بشدة	معارض	محايد	أو افق	أو افق بشدة	البعد
					ساهمت الصيانة التنبؤية في تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.
					أدت تقنيات الصيانة التنبؤية إلى تحسين كفاءة استخدام المعدات.
					ساعدت الصيانة التنبؤية في تقليل الأعطال المتكررة.
					ساهمت الإجراءات الوقائية المبكرة في رفع سرعة الإنتاج.
					يتم استغلال الوقت التشغيلي بشكل أفضل بعد تطبيق الصيانة التنبؤية.
					ساهمت أنظمة الصيانة التنبؤية في تقليل استهلاك الطاقة.
					ارتفعت كفاءة العاملين نتيجة استقرار تشغيل المعدات.
					ساعدت صيانة المعدات المسبقة على تقليل معدلات الهدر.
					أدى تطبيق الصيانة التنبؤية إلى تحسين جودة المنتجات النهائية.

المعارض بشدة	معارض	محايد	أو وافق	أو وافق بشدة	البعد
					أصبحت العمليات الإنتاجية أكثر انتظامًا بعد اعتماد الصيانة التنبؤية.
					ساعدت نظم الصيانة التنبؤية في رفع درجة التزام المنشأة بجداول التسليم.
					ساعدت في تخفيض التكاليف الناتجة عن توقف الإنتاج.
					أدت إلى تحسين رضا العاملين من خلال تخفيف الضغط الناتج عن الأعطال.
					ساهمت في تعزيز استدامة خطوط الإنتاج.
					ساهمت في زيادة المخرجات الكلية باستخدام نفس الموارد.

مع خالص التقدير والاحترام

Mid-Ocean University

College of Management

Specialization: Business Administration



**The Role of Predictive Maintenance in Enhancing
Productivity in Engineering Industries: An Applied Study on
Industrial Companies in Riyadh**

Preparation:

Sultan Othman Alshaikhi

243002118

Supervision:

Dr. Al faisal Abdelhameed Mohamed

1446 – 2025

