

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

اسم الطالب
سلطان محمد الزهراني

SULTAN MOHAMMED ALZHRANI

الرقم الجامعي
222001597

مشروع تخرج - 2

كلية الإدارة - جامعة ميدأوشن

إشراف

د.

عضو هيئة التدريس- كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

2026

جدول المحتويات

4.....	قائمة الجداول.....
7.....	فهرس الأشكال.....
9.....	المستخلص.....
10.....	1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة.....
11.....	1.1. المقدمة.....
12.....	1.2. مشكلة الدراسة.....
12.....	1.2.1. فجوات على المستوى النظري:.....
13.....	1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي:.....
13.....	1.3. أهمية الدراسة.....
13.....	1.3.1. على المستوى النظري:.....
14.....	1.3.2. على المستوى التطبيقي:.....
14.....	1.4. أسئلة الدراسة:.....
15.....	1.5. أهداف الدراسة:.....
16.....	1.6. فرضيات الدراسة.....
17.....	1.7. نموذج الدراسة.....
17.....	1.8. منهجية الدراسة.....
19.....	1.9. الدراسة الميدانية.....
21.....	1.10. مخطط المشروع المقترح.....
23.....	2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة.....
24.....	2.1. المقدمة:.....
25.....	2.2. المتغيرات المستقلة:.....
25.....	2.3. المتغير التابع:.....
26.....	2.4. العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع:.....
27.....	2.5. الخاتمة:.....

28	3. الفصل الثالث: منهجية الدراسة
29	3.1. المقدمة:
31	3.2. التعريفات الإجرائية لمتغيرات البحث:
32	3.3. تصميم البحث:
34	3.4. مجتمع البحث وطرق وتقنيات أخذ العينة:
35	3.5. طريقة جمع البيانات:
37	3.6. أنواع البيانات:
38	3.7. إجراءات التحليل الإحصائي:
41	3.8. الخاتمة:
43	4. الفصل الرابع: التحليل الإحصائي ومناقشة النتائج
44	4.1. المقدمة:
46	4.2. توصيف عينة الدراسة (الاحصائيات الوصفية لعينة الدراسة):
48	4.3. اختبارات الصدق والثبات للاستبيانات:
49	4.4. الإحصاء الوصفي لمتغيرات البحث (الإجابة على أسئلة البحث):
95	4.5. اختبار الفرضيات ومناقشة النتائج:
107	4.6. الخاتمة:
109	5. الفصل الخامس: حدود البحث والتوصيات والاستنتاجات
110	5.1. حدود الدراسة والدراسات المستقبلية:
112	5.2. توصيات الدراسة:
113	5.3. الخاتمة:
114	ملحق الاستبانة
117	أدوات البحث:
118	المراجع:

قائمة الجداول

48	جدول 1 : التحليلات الإحصائية.....
49	جدول 2 : ملخص التحليلات الإحصائية.....
49	جدول 3 : اختبار الثبات والموثوقية.....
50	جدول 4 : التحليل الإحصائي لعمر المشاركين في التجربة.....
52	جدول 5 : التحليل الإحصائي لجنس المشاركين في التجربة.....
54	جدول 6 : التحليل الإحصائي للدرجة العلمية.....
	جدول 7 : التحليل الإحصائي لإسهام استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحسين تخطيط برامج الصيانة الدورية في
55	المرافق الصناعية.....
	جدول 8 : التحليل الإحصائي لمساعدة تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ
57	الإجراءات الوقائية.....
59	جدول 9 : التحليل الإحصائي لأداء تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.....
61	جدول 10 : التحليل الإحصائي لإسهام أدوات تحليل البيانات الذكية في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال.....
63	جدول 11 : التحليل الإحصائي لدعم الذكاء الاصطناعي اتخاذ قرارات صيانة مبنية على بيانات دقيقة وفورية.....
65	جدول 12 : التحليل الإحصائي لمساهمة استخدام الخوارزميات التنبؤية في تقليل تكاليف الصيانة التصحيحية.....
67	جدول 13 : التحليل الإحصائي لأداء تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات الصناعية.....
69	جدول 14 : التحليل الإحصائي لإسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية في أعمال الصيانة.....
	جدول 15 : التحليل الإحصائي لمساعدة الأنظمة الذكية في تحديد أولويات الصيانة بناءً على مستوى الخطورة والتأثير
70	التشغيلي.....
	جدول 16 : التحليل الإحصائي لإسهام استخدام تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة
72	أداء المعدات بشكل مستمر.....
	جدول 17 : التحليل الإحصائي لأداء الاعتماد على الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير
74	المخطط لها.....
76	جدول 18 : التحليل الإحصائي لتوفير أنظمة الذكاء الاصطناعي تقارير تحليلية تسهم في تحسين الأداء التشغيلي العام.....
78	جدول 19 : التحليل الإحصائي لإسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين مستوى السلامة في بيئة العمل الصناعية.....
80	جدول 20 : التحليل الإحصائي لتعزيز تطبيق الذكاء الاصطناعي من كفاءة عمليات المتابعة والتقييم لأعمال الصيانة.....
82	جدول 21 : التحليل الإحصائي لوجود بنية تحتية تقنية كافية لدعم تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.....

جدول 22 : التحليل الإحصائي لامتلاك العاملون المهارات اللازمة للتعامل مع أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.	84
جدول 23 : التحليل الإحصائي لإسهام استخدام الذكاء الاصطناعي في رفع مستوى رضا الإدارة العليا عن أداء إدارة الصيانة.	86
جدول 24 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وتقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة.	88
جدول 25 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وجودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة ..	90
جدول 26 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال والتحديات الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي	92
جدول 27 : اختبار التباين الأحادي	94
جدول 28 : ملخص نموذج معامل بايز	94
جدول 29 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة.	96
جدول 30 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة.	96
جدول 31 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة.	96
جدول 32 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.	97
جدول 33 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.	98
جدول 34 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.	98
جدول 35 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية.	99

- جدول 36 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسّن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية. 100
- جدول 37 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسّن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية. 100
- جدول 38 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات. 101
- جدول 39 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات. 102
- جدول 40 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات. 102
- جدول 41 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. 103
- جدول 42 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. 103
- جدول 43 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. 104
- جدول 44 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. 105
- جدول 45 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. 105
- جدول 46 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. 106

فهرس الأشكال

- شكل توضيحي 1 : التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة..... 51
- شكل توضيحي 2 : التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة..... 52
- شكل توضيحي 3 : التمثيل البياني للدرجة العلمية..... 54
- شكل توضيحي 4 : التمثيل البياني لإسهام استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحسين تخطيط برامج الصيانة الدورية في المرافق الصناعية..... 56
- شكل توضيحي 5 : التمثيل البياني لمساعدة تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ الإجراءات الوقائية..... 58
- شكل توضيحي 6 : التمثيل البياني لأداء تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية..... 60
- شكل توضيحي 7 : التمثيل البياني لإسهام أدوات تحليل البيانات الذكية في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال..... 62
- شكل توضيحي 8 : التمثيل البياني لدعم الذكاء الاصطناعي اتخاذ قرارات صيانة مبنية على بيانات دقيقة وفورية..... 64
- شكل توضيحي 9 : التمثيل البياني لمساهمة استخدام الخوارزميات التنبؤية في تقليل تكاليف الصيانة التصحيحية..... 66
- شكل توضيحي 10 : التمثيل البياني لأداء تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات الصناعية..... 67
- شكل توضيحي 11 : التمثيل البياني لإسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية في أعمال الصيانة..... 69
- شكل توضيحي 12 : التمثيل البياني لمساعدة الأنظمة الذكية في تحديد أولويات الصيانة بناءً على مستوى الخطورة والتأثير التشغيلي..... 71
- شكل توضيحي 13 : التمثيل البياني لإسهام استخدام تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة أداء المعدات بشكل مستمر..... 73
- شكل توضيحي 14 : التمثيل البياني لأداء الاعتماد على الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها..... 75
- شكل توضيحي 15 : التمثيل البياني لتوفير أنظمة الذكاء الاصطناعي تقارير تحليلية تساهم في تحسين الأداء التشغيلي العام..... 77
- شكل توضيحي 16 : التمثيل البياني لإسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين مستوى السلامة في بيئة العمل الصناعية..... 79
- شكل توضيحي 17 : التمثيل البياني لتعزيز تطبيق الذكاء الاصطناعي من كفاءة عمليات المتابعة والتقييم لأعمال الصيانة..... 81
- شكل توضيحي 18 : التمثيل البياني لوجود بنية تحتية تقنية كافية لدعم تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة..... 83

- شكل توضيحي 19 : التمثيل البياني لامتلاك العاملون المهارات اللازمة للتعامل مع أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي..... 85
- شكل توضيحي 20 : التمثيل البياني لإسهام استخدام الذكاء الاصطناعي في رفع مستوى رضا الإدارة العليا عن أداء إدارة الصيانة..... 87
- شكل توضيحي 21 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وتقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة 89
- شكل توضيحي 22 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وجودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة..... 91
- شكل توضيحي 23 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال والتحديات الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي 93

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي بهدف تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل والتنبؤ بالأعطال، وتعزيز جودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة. وقد اتبعت الدراسة المنهجية الكمية لجمع وتحليل البيانات من مجتمع البحث، حيث تم تطبيق استبيانات منظمة على عينة قوامها 271 مشاركًا يمثلون المسؤولين والفنيين في مختلف المرافق المستهدفة. أظهرت نتائج الدراسة وجود تأثير إيجابي ملموس لتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على فعالية إدارة الصيانة وتقليل الأعطال المفاجئة، كما بينت أن جودة اتخاذ القرار والتغلب على التحديات الفنية والإدارية يعدان من العوامل الرئيسة لتعزيز الاستفادة من هذه التقنيات. كما أظهرت النتائج أن الاعتماد على بيانات دقيقة ومحدثة يسهم بشكل كبير في تحسين قدرة المؤسسات على التخطيط الوقائي وإدارة الموارد بكفاءة أعلى. استنادًا إلى النتائج المستخلصة، أوصت الدراسة بضرورة تعزيز استخدام الذكاء الاصطناعي في جميع مراحل الصيانة والتشغيل، وتطوير برامج تدريبية متخصصة للكوادر الفنية والإدارية، وتحسين جودة البيانات التشغيلية، بالإضافة إلى اعتماد نظم متابعة وتحليل مستمر للأداء لتطوير استراتيجيات صيانة فعالة ومستدامة.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، إدارة المرافق، الصيانة، التنبؤ بالأعطال، الكفاءة التشغيلية، اتخاذ القرار،

التحليل الإحصائي.

1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1. المقدمة

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

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

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

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

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

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

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

1.2. مشكلة الدراسة

1.2.1. فجوات على المستوى النظري:

رغم التقدم المتسارع في مجالات الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته الصناعية، لا يزال الجانب النظري في هذا المجال يعاني من عدد من الفجوات البحثية المتعلقة بتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة الصيانة، وخصوصًا في البيئات الصناعية المعقدة. فالدراسات النظرية المتاحة غالبًا ما تركز على الجوانب التقنية الصرفة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي مثل التعلم الآلي أو تحليل البيانات الضخمة، دون الربط الكافي بين هذه التقنيات وبين مفاهيم إدارة الصيانة بمختلف مستوياتها (الوقائية،

التصحيحية، التنبؤية). بالإضافة إلى ذلك، يلاحظ وجود نقص في النماذج النظرية الشاملة التي توضح آليات دمج الذكاء الاصطناعي في دورة الصيانة كعملية إدارية متكاملة تشمل التخطيط، التنفيذ، المراقبة، والتقييم. كما أن الإطار المفاهيمي للعلاقة بين الذكاء الاصطناعي والتحسين المستدام في الأداء التشغيلي والصياني لا يزال غير مكتمل في كثير من الأدبيات، مما يحدّ من إمكانية بناء أطر مرجعية يمكن تعميمها على القطاعات الصناعية المختلفة (Shrivastav، 2022).

1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي:

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

1.3. أهمية الدراسة

1.3.1. على المستوى النظري:

تساهم هذه الدراسة في سد فجوة معرفية مهمة في الأدبيات العلمية المتعلقة بتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي مع أنظم إدارة الصيانة في المرافق الصناعية. فبينما شهدت البحوث العلمية توسعًا ملحوظًا في دراسة تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجالات الإنتاج وسلاسل التوريد، إلا أن التطبيقات النظرية للذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة لا تزال محدودة من حيث النطاق والعمق. تأتي أهمية هذه الدراسة في تقديم إطار نظري يجمع بين مفاهيم الإدارة الصناعية والذكاء الاصطناعي، ويركّز على

آليات التنبؤ بالأعطال وتحسين اتخاذ القرار الصياني بناءً على البيانات والتحليلات الذكية. كما تسعى الدراسة إلى إثراء الحقول الأكاديمية ذات الصلة، لا سيما في مجالات الهندسة الصناعية، وإدارة العمليات، وتقنيات Industry 4.0، من خلال تقديم نموذج علمي تطبيقي يمكن البناء عليه في دراسات مستقبلية، سواء للتوسع المفاهيمي أو للمقارنة بين القطاعات (2023، Balasubramanian).

1.3.2. على المستوى التطبيقي:

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

1.4. أسئلة الدراسة:

👉 السؤال الرئيسي:

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

👉 الأسئلة الفرعية:

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

1.5. أهداف الدراسة:

👉 الهدف الرئيسي:

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

👉 الأهداف الفرعية:

1. تحليل وتقييم التقنيات المختلفة للذكاء الاصطناعي المستخدمة في مجال إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال داخل المرافق الصناعية.
2. دراسة أثر تطبيق الذكاء الاصطناعي على تحسين دقة وكفاءة اتخاذ القرار في عمليات الصيانة.
3. قياس مدى تأثير استخدام الذكاء الاصطناعي في تقليل فترات التوقف المفاجئ وزيادة استمرارية تشغيل المعدات.

4. التعرف على التحديات التي تواجه المنشآت الصناعية عند تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي واقتراح الحلول المناسبة.

5. تقييم مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية عن الأنظمة الذكية المستخدمة في مراقبة حالة المعدات والتنبؤ بالأعطال.

1.6. فرضيات الدراسة

➤ الفرضية الرئيسية

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

➤ الفرضيات الفرعية:

1. هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

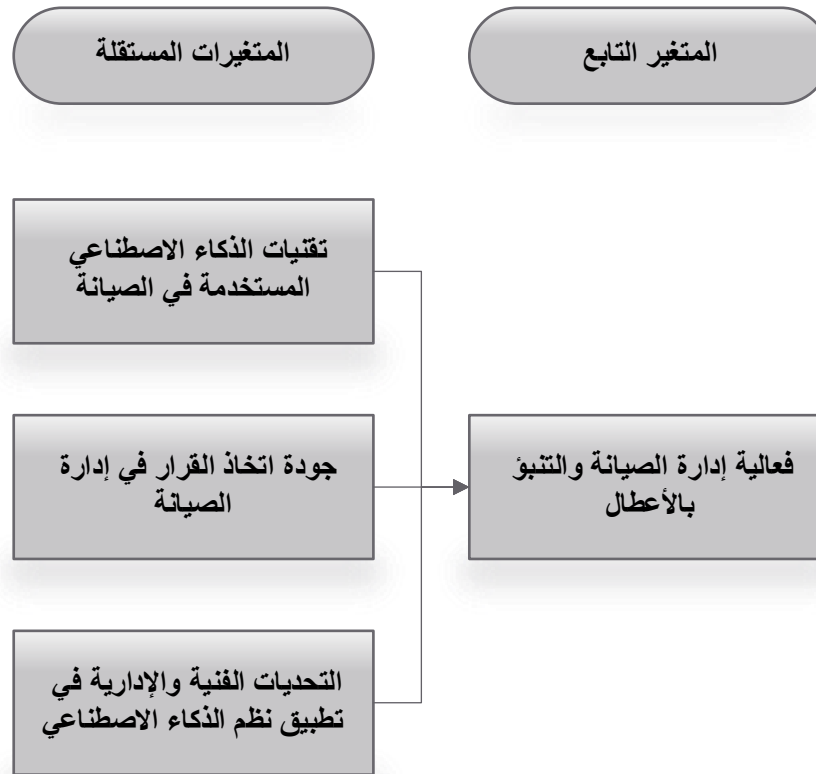
2. استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية.

3. تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات.

4. التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

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

1.7. نموذج الدارسة



المصدر: إعداد الباحث

1.8. منهجية الدارسة

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

- تصميم الدراسة وأسلوب البحث

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

- عينة الدراسة

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

- أدوات جمع البيانات

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

- إجراءات جمع البيانات

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

- طرق تحليل البيانات

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

1.9. الدراسة الميدانية

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

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

تتميز الدراسة الميدانية بكونها تعتمد على منهجية كمية تهدف إلى تحليل المعلومات بشكل إحصائي موضوعي، مما يسهل اختبار الفرضيات والتأكد من صحة العلاقات المتوقعة بين المتغيرات المدروسة. ويُعد هذا الجانب مهمًا للغاية، حيث يضيف مصداقية علمية للنتائج التي توصلت إليها الدراسة، ويوفر قاعدة بيانات يمكن الاعتماد عليها في صياغة التوصيات العملية التي تدعم تطوير استراتيجيات الصيانة المستقبلية.

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

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

1.10. مخطط المشروع المقترح

المرحلة	الأنشطة الرئيسية	الأهداف	المدة الزمنية	المخرجات المتوقعة
التحضير والتخطيط	مراجعة الأدبيات والمراجع العلمية	وضع خطة واضحة ومنهجية للدراسة	0.5 شهر	خطة بحثية مفصلة مع جدول زمني
	تحديد أدوات جمع البيانات	تصميم الاستبانة وأدوات القياس		أدوات جمع بيانات جاهزة للاستخدام
	التنسيق مع الجهات المشاركة	الحصول على الموافقات اللازمة		موافقات رسمية من المؤسسات المشاركة
جمع البيانات	توزيع الاستبانة على المشاركين	جمع بيانات ميدانية دقيقة وموثوقة	1 شهر	مجموعة بيانات مكتملة وصحيحة
	إجراء مقابلات مع خبراء مختارين	تعميق الفهم حول التحديات والفرص		ملاحظات ومعلومات نوعية داعمة
تحليل البيانات	تنظيف وترتيب البيانات	التأكد من جودة البيانات ودقتها	1 شهر	بيانات جاهزة للتحليل
	استخدام البرامج الإحصائية (SPSS) وغيرها	اختبار الفرضيات وتحليل العلاقات بين المتغيرات		نتائج إحصائية تدعم أو ترفض الفرضيات
	إعداد الرسوم البيانية والتقارير التحليلية	توضيح النتائج وتفسيرها		جداول ورسوم بيانية وتفسيرية مفصلة
إعداد التقرير النهائي	صياغة نتائج الدراسة والتوصيات	تقديم بحث متكامل وموثق	1 شهر	تقرير نهائي متكامل يشمل كافة أجزاء الدراسة
	مراجعة التقرير وتنقيحه	ضمان دقة وسلاسة المحتوى		تقرير معد للنشر أو العرض

عرض النتائج	تقديم العرض في مؤتمرات أو ورش عمل	نشر المعرفة والاستفادة العملية	0.5 شهر	عرض تقديمي شامل + ملاحظات وردود فعل من الجمهور
	مناقشة نتائج الدراسة مع الجهات المعنية	الحصول على تقييمات وملاحظات لتحسين البحث		مخرجات نقاشية تعزز من جودة البحث وتطبيقه المستقبلي

2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة

2.1. المقدمة:

يشكل الفصل الثاني من هذه الدراسة الإطار النظري الذي يُعدّ من الركائز الأساسية لفهم الموضوع محل البحث، ويهدف إلى تقديم خلفية علمية متكاملة تُمكن من استيعاب المفاهيم الأساسية والعلاقات الجوهرية التي تُشكل جوهر الدراسة. يأتي هذا الفصل كخطوة منهجية هامة، حيث يركز على توضيح الأسس النظرية والتطبيقية التي تركز عليها الدراسة، مستعرضًا أبرز المفاهيم والمصطلحات والتقنيات التي تدخل في مجال تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال باستخدام التكنولوجيا الحديثة.

سيركز هذا الفصل على تحليل مجموعة من العناصر المحورية التي تلعب دورًا رئيسيًا في تحقيق تحسينات ملموسة في الأداء التشغيلي للمرافق الصناعية. من خلال استعراض متعمق ومقارن للأدبيات السابقة، سيتم تفصيل كيفية تفاعل هذه العناصر معًا، مما يسمح بفهم شامل لكيفية تعزيز كفاءة العمليات، والتقليل من المشكلات التشغيلية التي تؤثر سلبًا على استمرارية الإنتاج. كما سيتم تسليط الضوء على العوامل التقنية والتنظيمية التي تؤثر في فاعلية هذه العمليات، مع تقديم نماذج تفسيرية تساعد على بناء إطار نظري متين يوضح الأسباب والنتائج بشكل منطقي ومنهجي.

تكتسب هذه الدراسة أهمية خاصة من كونها تعالج تداخلًا معقدًا بين جوانب تقنية وإدارية في آن واحد، مما يتطلب فهمًا دقيقًا للعلاقات المتبادلة بين هذه الجوانب وكيفية تأثيرها المتبادل على النتائج النهائية. ولذلك، فإن هذا الفصل لن يكتفي فقط بعرض المفاهيم، بل سيعتمد إلى ربطها بطريقة تُمكن الباحث من استنباط الفرضيات التي سيتم اختبارها ميدانيًا، كما يزود القارئ بأدوات تحليلية تساعد على تقييم أثر هذه العوامل في بيئة العمل الحقيقية.

تكمُن أهمية هذا الفصل في أنه يُشكل الأساس الذي يُبنى عليه البحث، حيث يوفر رؤية شاملة تُسهّم في تفسير الظواهر التي سيتم رصدها وتحليلها لاحقًا. كما أنه يُمكن من تحديد الفجوات المعرفية القائمة، ويقود إلى وضع توصيات عملية مبنية على فهم عميق ومتكامل، مما يعزز من جودة الدراسة ومصداقيتها. من هنا، يظهر جليًا أن الاهتمام المتوازن بين الجوانب التقنية والتنظيمية، والتعرف على العلاقات المعقدة بينها، هو ما يمنح هذه الدراسة بعدها العلمي والعملية في آن معًا.

2.2. المتغيرات المستقلة:

- المتغير المستقل الأول: تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة

يمثل هذا المتغير مجموعة الأدوات والخوارزميات التقنية المستندة إلى الذكاء الاصطناعي التي تُطبق في نظم الصيانة والتنبؤ بالأعطال. يتضمن ذلك تقنيات مثل التعلم الآلي، الشبكات العصبية الاصطناعية، تحليل البيانات الضخمة، ونظم إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT). تهدف هذه التقنيات إلى جمع وتحليل بيانات الحالة التشغيلية للمعدات بشكل مستمر، مما يسمح باكتشاف أنماط غير مرئية للعين البشرية وتوقع الأعطال قبل حدوثها. إن فعالية هذه التقنيات تعتمد على قدرتها على تقديم معلومات دقيقة وفي الوقت المناسب تدعم عمليات الصيانة الوقائية والتنبؤية، وتقليل الاعتماد على الصيانة التقليدية التي قد تكون غير فعالة أو مكلفة (Malaiyappan، 2024).

- المتغير المستقل الثاني: جودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة

يركز هذا المتغير على قدرة إدارة المنشأة والفرق الفنية على اتخاذ قرارات مدروسة وفعالة بناءً على البيانات والتحليلات الناتجة من أنظمة الذكاء الاصطناعي. يشمل ذلك سرعة الاستجابة، دقة التقييم، اختيار الإجراءات الملائمة، وتنظيم الموارد بشكل يتناسب مع الأولويات التشغيلية. جودة اتخاذ القرار تُعد من العوامل الحاسمة التي تربط بين استخدام التكنولوجيا والنتائج العملية، إذ أن توافر المعلومات الذكية وحده لا يكفي إذا لم يُترجم ذلك إلى قرارات تنفيذية صحيحة. يساهم تحسين جودة القرار في تقليل الأخطاء، وتسريع عمليات الصيانة، وتقليل الأعطال، مما ينعكس إيجابيًا على الأداء العام للمرافق الصناعية (Soori، 2024).

- المتغير المستقل الثالث: التحديات الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي

يتناول هذا المتغير العوائق والصعوبات التي تواجه المنشآت عند تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة. تشمل هذه التحديات نقص الكفاءات الفنية، مقاومة التغيير، قضايا التكامل مع الأنظمة القائمة، تكلفة الاستثمار في التكنولوجيا الحديثة، وغياب بنية تحتية تقنية مناسبة. كما تشمل أيضًا التحديات المتعلقة بجودة البيانات، وأمن المعلومات، والتدريب

المستمر للعاملين. إن مدى التغلب على هذه التحديات يؤثر بشكل مباشر على نجاح تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي، وبالتالي على مدى تأثيرها في تحسين فعالية الصيانة والتنبؤ بالأعطال (Caleb، 2024).

2.3. المتغير التابع:

- فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال

يشير المتغير التابع إلى مدى نجاح وتحسين عمليات إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال داخل المنشآت الصناعية، ويُقاس هذا المتغير بعدة مؤشرات مثل تقليل عدد الأعطال المفاجئة، تقليص فترات التوقف غير المخطط لها، زيادة كفاءة استخدام الموارد، ورفع مستوى موثوقية المعدات. فعالية الإدارة هنا تعكس قدرة النظام على الاستجابة بشكل استباقي وذكي لظروف التشغيل، مما يحقق استمرارية العمل بأقل قدر ممكن من التعطيلات والتكاليف. يعد هذا المتغير محور الدراسة حيث يقيس مدى تأثير العوامل المختلفة (المتغيرات المستقلة) على تحسين عمليات الصيانة والصيانة التنبؤية، مما يؤثر بشكل مباشر على أداء المنشأة الصناعية وجودة الإنتاج (Benhanifia، 2025).

2.4. العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع:

تقوم فرضية الدراسة على وجود علاقة تأثير إيجابية بين المتغيرات المستقلة الثلاثة (تقنيات الذكاء الاصطناعي، جودة اتخاذ القرار، التحديات الفنية والإدارية) والمتغير التابع (فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال). حيث يُتوقع أن تسهم التقنيات الحديثة للذكاء الاصطناعي في تحسين جمع وتحليل البيانات، مما يدعم اتخاذ قرارات صيانة أكثر دقة وسرعة. وبالمقابل، فإن جودة هذه القرارات ترتبط بشكل وثيق بكفاءة وكفاءة الفرق الفنية والإدارية. بالإضافة إلى مدى قدرة المنشأة على التعامل مع التحديات الفنية والإدارية المصاحبة لتطبيق هذه التقنيات. أي أن نجاح تطبيق الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة الصيانة يعتمد ليس فقط على التقنية نفسها، بل أيضاً على العوامل البشرية والتنظيمية التي تحيط بعملية التنفيذ، ما يجعل العلاقة بين هذه المتغيرات علاقة تكاملية تؤثر في نهاية المطاف على مستوى الفاعلية التشغيلية للمرافق الصناعية (Oladoyinbo، 2024).

2.5. الخاتمة:

في ختام هذا الفصل، تم تأسيس قاعدة نظرية وعلمية متينة تعزز فهم موضوع الدراسة بشكل شامل، من خلال استعراض دقيق ومفصل لمجموعة من المفاهيم والعوامل الأساسية التي تؤثر في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية. تم التركيز على أهمية دراسة العلاقات المتبادلة بين هذه العوامل وكيف تؤثر في تحقيق الأداء الأمثل والفعالية التشغيلية، مما يشكل دعامة قوية لتحليل الظواهر المرتبطة بالموضوع.

تم تقديم شرح معمق للعناصر الأساسية التي تدخل في تكوين الإطار النظري للدراسة، مع تسليط الضوء على أهمية التفاعل بين هذه العناصر وكيف يمكن أن تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على النتائج الميدانية. هذا التناول المتكامل يساهم في بناء فرضيات واضحة وقابلة للاختبار، كما يتيح فهمًا معمقًا للعوامل المؤثرة في مجال تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في صيانة المرافق الصناعية.

تأتي أهمية هذا الفصل من دوره في توفير إطار مرجعي متكامل يساعد في تفسير الظواهر المدروسة بصورة منهجية، ويعزز من جودة الدراسة من خلال ربط الجوانب النظرية بالتطبيقات العملية. كما يُعد هذا الإطار أداة تحليلية هامة لفهم تأثير العوامل المختلفة بشكل شامل، مما يُمكن من استخلاص نتائج دقيقة وتقديم توصيات مبنية على أسس علمية راسخة. يعتبر هذا الفصل خطوة جوهرية تمهد الطريق للفصول القادمة التي ستتناول تحليل البيانات الميدانية ونتائج الدراسة، مما يضمن اتساق البحث وتماسكه في تناول موضوع فاعلية استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية.

3. الفصل الثالث: منهجية الدراسة

3.1. المقدمة:

يشكل هذا الفصل جزءًا محوريًا من الدراسة، إذ يمثل الصلة الأساسية بين الإطار النظري الذي تم استعراضه في الفصول السابقة وبين التطبيق العملي للنموذج المقترح لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي. فهو يقدم للقارئ الصورة الكاملة لكيفية بناء البحث العلمي بطريقة منهجية تضمن موثوقية النتائج ودقتها، مع التركيز على ربط المفاهيم النظرية بالواقع العملي لمجال الصيانة والتشغيل. يهدف الفصل إلى توضيح الخطوات الدقيقة التي تم اتباعها لفهم البيئة التشغيلية للمرافق وتحليل البيانات الخاصة بها، بما يسمح بتقييم فعالية النموذج المقترح في تحسين الأداء التشغيلي وتقليل التكاليف والهدر.

يمثل الفصل منصة لفهم أبعاد البحث الأساسية وكيفية التعامل مع المعلومات والبيانات المرتبطة بالموضوع. إذ أن البحث العلمي في مجال إدارة المرافق يعتمد بشكل أساسي على دقة المعلومات وصحة البيانات، والتي تعتبر الأساس الذي يقوم عليه أي تحليل يمكن الاعتماد عليه لاتخاذ قرارات استراتيجية. من خلال هذا الفصل، يتم توضيح الأساليب العلمية الدقيقة التي مكنت الباحث من جمع المعلومات بطريقة منظمة ومنهجية، مما يضمن أن تكون النتائج المستخلصة قابلة للتطبيق العملي وقادرة على تقديم حلول عملية للتحديات التشغيلية اليومية في المرافق.

كما أن أهمية هذا الفصل تتجلى في تمكين القارئ من التعرف على المنهجية الكاملة للبحث، بما يشمل الإجراءات التي اتبعت لتحديد عناصر الدراسة والمجالات التي ركز عليها الباحث داخل بيئة العمل. فهو لا يكتفي بعرض البيانات أو النتائج بشكل مباشر، بل يسعى إلى توضيح كيف تم الوصول إلى هذه البيانات، وما هي الإجراءات العلمية التي اتبعت لضمان دقتها وصحتها. هذا النهج يوفر أساسًا قويًا لفهم العلاقة بين الممارسات التشغيلية الفعلية ومخرجات التحليل العلمي، مما يتيح تطوير توصيات عملية تعتمد على دليل علمي قوي.

يعكس الفصل اهتمام الباحث بتوضيح الطريقة التي تم من خلالها التعامل مع التعقيدات المرتبطة بعمليات الصيانة والإدارة الذكية للمرافق. فالنموذج المقترح لا يعمل بمعزل عن البيئة الواقعية، بل يعتمد على فهم عميق لمختلف المتغيرات التشغيلية والوظيفية وتأثيراتها المتبادلة. يتيح الفصل توضيح كيفية التعامل مع هذه المتغيرات بطريقة علمية، وكيف تم بناء قاعدة معرفية تسمح بتحليل الأنماط والعلاقات بين عناصر النظام، وهو ما يمثل عنصرًا حاسمًا في ضمان فعالية النموذج في تحسين الكفاءة التشغيلية.

يوفر الفصل إطاراً لفهم كيفية معالجة البيانات وتحويلها إلى معلومات يمكن استخدامها بشكل استراتيجي. فالبيانات الخام، مهما كانت دقيقة، لا تصبح قيمة إلا بعد تحليلها بطريقة منهجية، تمكن من استخراج الاتجاهات والعلاقات المهمة بين مختلف العناصر. من خلال هذا الفصل، يمكن للقارئ الاطلاع على الخطوات التي تم اتباعها لضمان سلامة البيانات، وكيف تم تصميم البحث بطريقة تسمح بالتحقق من صحة الفرضيات واستنتاج النتائج بطريقة علمية موثوقة.

كما أن هذا الفصل يعد أساسياً لتوضيح العلاقة بين النظرية والتطبيق، وهو ما يبرز دوره الحيوي في تحقيق أهداف الدراسة. إذ يسمح بتقديم نموذج متكامل قائم على أسس علمية دقيقة، يمكن استخدامه في الواقع العملي لتحسين كفاءة الصيانة والتشغيل. فهو يبرز كيف يمكن استخدام الذكاء الاصطناعي بطريقة عملية لتحليل المعلومات وإدارة المرافق بكفاءة، مع ضمان أن تكون القرارات المستندة إلى التحليل قابلة للتطبيق وفعالة من حيث التكلفة والوقت.

يمثل هذا الفصل الأساس العلمي الذي يدعم نتائج الدراسة ويوفر وضوحاً منهجياً لكل من الباحثين والممارسين في مجال إدارة المرافق. من خلاله، يتمكن القارئ من متابعة المنهجية العلمية التي أُعتمدت في البحث، وفهم كيفية بناء النموذج المقترح بطريقة تجعل تطبيقاته العملية أكثر دقة وفعالية. فهو ليس مجرد فصل تقني، بل هو حجر الزاوية الذي يضمن موثوقية الدراسة واستدامة نتائجها على أرض الواقع، مما يعكس أهمية توثيق كل خطوة من خطوات البحث بشكل دقيق ومنهجي لضمان الاستفادة القصوى من النتائج والتوصيات المقدمة.

3.2. التعريفات الإجرائية لمتغيرات البحث:

تلعب التعريفات الإجرائية للمتغيرات دورًا أساسيًا في توضيح نطاق البحث وفهم كيفية قياس وتحليل العلاقة بين المتغيرات المختلفة. فهي تمثل الأساس الذي يُبنى عليه جمع البيانات وتحليلها، وتساعد على تقليل الغموض وتحديد الأبعاد العملية لكل متغير، بما يجعل نتائج الدراسة قابلة للتطبيق العملي وموثوقة من الناحية العلمية. في هذه الدراسة، تم التركيز على دراسة أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال، لذا تم تحديد المتغيرات المستقلة والمتغير التابع بشكل دقيق.

المتغيرات المستقلة

1. تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة:

هذا المتغير يشير إلى الأساليب والأدوات المختلفة التي يعتمد عليها الذكاء الاصطناعي في دعم عمليات الصيانة، مثل التعلم الآلي، التحليل التنبؤي، والرصد الذكي للمعدات. يتم قياس هذا المتغير من خلال تقييم درجة استخدام هذه التقنيات في المؤسسات، ومدى تكاملها مع نظم الصيانة الحالية، فضلاً عن تحديد نوعية البيانات التي تعتمد عليها هذه التقنيات لتحسين الأداء. فكلما كانت تقنيات الذكاء الاصطناعي متقدمة ومتكاملة، زادت قدرة المؤسسة على التنبؤ بالأعطال وتقليل وقت توقف المعدات عن العمل.

2. جودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة:

يعكس هذا المتغير قدرة إدارة الصيانة على استخدام المعلومات والتحليلات المستمدة من نظم الذكاء الاصطناعي لاتخاذ قرارات فعالة وسريعة. ويشمل ذلك تحديد أولويات الصيانة، تخصيص الموارد، وتوقيت تنفيذ عمليات الإصلاح أو الاستبدال. يتم قياس جودة اتخاذ القرار عبر تقييم دقة القرارات ومدى تقليلها للأخطاء التشغيلية، بالإضافة إلى مدى استجابة الإدارة للتغيرات والمستجدات في بيئة التشغيل. تعتبر جودة القرار مؤشراً مباشراً على فعالية تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وتأثيرها على الأداء الكلي لإدارة الصيانة.

3. التحديات الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي:

هذا المتغير يعكس الصعوبات التي تواجه المؤسسات عند تبني نظم الذكاء الاصطناعي، سواء كانت تتعلق بالبنية التحتية التقنية، جودة البيانات، تكامل الأنظمة، أو القدرات البشرية والفنية لإدارة هذه النظم. يتم قياس هذا المتغير من خلال تحليل العقبات المؤثرة على التنفيذ الفعلي للتقنيات، ومدى القدرة على التغلب عليها لضمان استمرار كفاءة الصيانة والتشغيل. إن فهم هذه التحديات يعد عنصرًا مهمًا لتفسير مدى تأثير المتغيرات المستقلة على المتغير التابع.

المتغير التابع

- فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال:

يمثل هذا المتغير الهدف الرئيسي للدراسة، ويشير إلى مدى قدرة المؤسسة على تحسين أداء الصيانة وتقليل الأعطال المفاجئة باستخدام نظم الذكاء الاصطناعي. ويقاس هذا المتغير من خلال مؤشرات عدة، تشمل سرعة الاستجابة للأعطال، دقة التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، تقليل مدة توقف المعدات، وتحسين الكفاءة التشغيلية بشكل عام. يعتبر هذا المتغير انعكاسًا مباشرًا لتأثير المتغيرات المستقلة، إذ إن تحسين التقنيات المستخدمة، ورفع جودة اتخاذ القرار، والتغلب على التحديات الفنية والإدارية، جميعها عوامل تؤدي إلى زيادة فعالية إدارة الصيانة وتحقيق أهداف الأداء المرجوة.

3.3. تصميم البحث:

يعتبر تصميم البحث أحد الركائز الأساسية التي تحدد مسار الدراسة وتضمن تحقيق أهدافها العلمية والعملية بدقة. ففي هذه الدراسة، يركز تصميم البحث على تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي، وذلك بهدف تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل، وهو ما يتطلب وضع إطار منهجي واضح يربط بين النظرية والتطبيق العملي. التصميم هنا لا يقتصر على مجرد اختيار طرق جمع البيانات وتحليلها، بل يشمل أيضًا تحديد كيفية التعامل مع المتغيرات المختلفة وعلاقاتها ببعضها البعض لضمان فهم أعمق للعوامل المؤثرة في فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

يعتمد التصميم البحثي على أسلوب منهجي يسمح بفحص أثر مجموعة من المتغيرات المستقلة، مثل تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة، جودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة، والتحديات الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي، على المتغير التابع المتمثل في فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. وقد صُمم البحث بطريقة تمكن الباحث من استكشاف هذه العلاقات بدقة، مع التركيز على تحليل البيانات بشكل موضوعي وعلني، مما يوفر قاعدة صلبة لفهم كيف يمكن لتطبيق الذكاء الاصطناعي أن يساهم في تحسين الأداء التشغيلي للمرافق.

يسعى تصميم البحث إلى الجمع بين الطابع الوصفي والتحليلي، إذ يتم وصف البيئة التشغيلية للمرافق وتحليل العمليات المتعلقة بالصيانة والتشغيل، مع التركيز على استخدام الذكاء الاصطناعي لتحسين القرارات التشغيلية. هذا الدمج بين الوصف والتحليل يسمح بتحديد الفجوات الحالية في نظم إدارة الصيانة، و يتيح تقديم نموذج تطبيقي قادر على تحسين الكفاءة وتقليل الأعطال بشكل مستدام. كما يساعد التصميم على تنظيم البيانات والمعلومات بطريقة منسقة، بحيث يمكن استخراج استنتاجات دقيقة ودعمها بالأدلة العلمية المناسبة.

يتيح تصميم البحث إمكانية التعامل مع مختلف مصادر البيانات، سواء كانت كمية أو نوعية، بطريقة متكاملة. فالبيانات الكمية توفر قياسات دقيقة لأداء الصيانة ومؤشرات التنبؤ بالأعطال، بينما تقدم البيانات النوعية رؤى عميقة حول التحديات الفنية والإدارية التي تواجه تطبيق الذكاء الاصطناعي. من خلال هذا الدمج، يصبح الباحث قادراً على تقديم صورة شاملة حول مدى تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي على تحسين إدارة الصيانة، وكيفية استخدام هذه النتائج لتطوير النموذج المقترح بطريقة عملية وفعالة.

كما يراعي تصميم البحث الجانب العملي للتطبيق، إذ يتم اختيار منهجية تسمح بتحليل العمليات التشغيلية للمرافق بشكل واقعي، مع مراعاة التحديات الفنية والقيود العملية التي قد تؤثر على التنفيذ. هذا يضمن أن يكون النموذج المقترح قابلاً للتطبيق على أرض الواقع، وليس مجرد تصور نظري، كما يعزز من إمكانية تبنيه من قبل المؤسسات المختلفة لتحقيق تحسينات ملموسة في كفاءة الصيانة والتشغيل.

يمثل تصميم البحث في هذه الدراسة خريطة الطريق التي توجه جميع خطوات الدراسة، من جمع البيانات إلى تحليلها وتفسير النتائج، وصولاً إلى صياغة التوصيات العملية. فهو يضمن تكامل المنهجية العلمية مع التطبيق العملي، ويضع أسساً قوية

لفهم العلاقة بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع، بما يدعم الهدف الرئيسي للدراسة في تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي وتحقيق تحسين ملموس في أداء الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

3.4. مجتمع البحث وطرق وتقنيات أخذ العينة:

يعد تحديد مجتمع البحث خطوة أساسية لضمان دقة النتائج وقابليتها للتطبيق العملي في أي دراسة علمية، حيث يتيح فهم خصائص المجتمع وتحديد نطاقه بدقة. في هذه الدراسة، يشمل مجتمع البحث المؤسسات والمرافق التي تستخدم أو يمكن أن تستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي في عمليات الصيانة والتشغيل، سواء على مستوى المباني الخدمية أو المصانع والمرافق التشغيلية الكبرى. يمثل هذا المجتمع قاعدة معرفية شاملة تساعد الباحث على دراسة العلاقة بين استخدام الذكاء الاصطناعي وتحسين كفاءة الصيانة والتنبؤ بالأعطال، مع التركيز على التعرف على التحديات التقنية والإدارية التي قد تواجه المؤسسات عند تطبيق هذه النظم.

من المهم أن يكون المجتمع البحثي محددًا بدقة من حيث الحجم والنطاق، بحيث يشمل جميع الجهات ذات الصلة بالموضوع ويعكس التنوع في الممارسات التشغيلية ومستويات استخدام التكنولوجيا. فدراسة مجتمع البحث بهذا الشكل توفر بيانات أكثر دقة وموثوقية، وتسمح بالتحليل المقارن بين المؤسسات التي تطبق نظم الذكاء الاصطناعي بشكل متقدم وتلك التي تواجه تحديات في هذا المجال. كما يساعد هذا التحديد على استكشاف العوامل المؤثرة في فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال، مما يدعم تطوير نموذج متكامل قادر على تلبية احتياجات جميع المؤسسات ضمن نطاق البحث.

أما فيما يتعلق بأساليب وأدوات أخذ العينة، فإنها تمثل الخطوة العملية التي تتيح جمع البيانات بطريقة منظمة وموثوقة. في هذه الدراسة، تم اختيار تقنيات أخذ العينة بما يتناسب مع طبيعة المجتمع البحثي وحجم البيانات المطلوبة. حيث تعتمد هذه الأساليب على مزيج من المقاييس النوعية والكمية، لضمان تمثيل جميع الفئات والمؤسسات داخل المجتمع البحثي بشكل عادل ومتوازن. ويتيح ذلك للباحث إمكانية التعميم والتحليل بدقة، مع تقليل المخاطر المرتبطة بالتحيز أو البيانات غير المكتملة.

كما أن تصميم العينة يتسم بالمرونة بحيث يمكن التعامل مع المتغيرات المختلفة، بما في ذلك مستوى اعتماد المؤسسات على تقنيات الذكاء الاصطناعي، حجم العمليات التشغيلية، ونوعية التحديات الإدارية والفنية التي تواجهها. ويعتمد أخذ العينة على مبادئ علمية دقيقة تضمن أن تكون البيانات المجمعة قابلة للتحليل بطريقة موضوعية، كما تمكن الباحث من الوصول إلى استنتاجات موثوقة حول أثر المتغيرات المستقلة على المتغير التابع، أي فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

تم مراعاة في تصميم العينة أن تكون قابلة للتطبيق العملي على نطاق واسع، بحيث يمكن استخدام النتائج والتوصيات في مختلف أنواع المرافق والمؤسسات. وهذا يتطلب تخطيطاً دقيقاً لتوزيع العينة وضمان شموليتها لكافة الفئات المستهدفة، مع مراعاة الفروق التشغيلية والتقنية بين المؤسسات، بما يعكس تنوع الواقع العملي ويزيد من دقة التحليل واستنتاج النتائج.

يمثل تحديد مجتمع البحث واختيار طرق أخذ العينة خطوة أساسية في منهجية الدراسة، لأنها تضمن دقة البيانات، وتقوي مصداقية التحليل والنتائج. كما أنها تؤسس لمرحلة جمع البيانات بطريقة علمية منظمة، مما يسهم في بناء نموذج متكامل لإدارة المرافق يعتمد على الذكاء الاصطناعي، ويحقق تحسناً ملموساً في كفاءة الصيانة والتشغيل والتنبؤ بالأعطال بشكل مستدام وفعال.

3.5. طريقة جمع البيانات:

تعد طريقة جمع البيانات واحدة من أهم الركائز التي ينهض عليها أي بحث علمي، حيث تحدد جودة المعلومات ومدى دقتها وشموليتها، وبالتالي تؤثر بشكل مباشر على موثوقية النتائج واستنتاجاتها. في هذه الدراسة، تم تصميم طريقة جمع البيانات بما يتوافق مع أهداف البحث، والتي تركز على تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي بهدف تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل والتنبؤ بالأعطال. وقد تم اختيار الطريقة بحيث تتيح الحصول على بيانات دقيقة وموضوعية عن مدى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، جودة اتخاذ القرار، والتحديات الفنية والإدارية التي تواجه المؤسسات، بالإضافة إلى قياس مدى فعالية إدارة الصيانة.

تركزت عملية جمع البيانات على استخدام أساليب منهجية متعددة تتوافق مع طبيعة المجتمع البحثي وخصائص المتغيرات المستقلة والتابعة. فقد تم تصميم أدوات جمع البيانات لتكون شاملة ومهيكلية، بحيث تسمح بجمع المعلومات النوعية والكمية معًا. البيانات النوعية توفر فهمًا معمقًا للتحديات التي تواجه المؤسسات في تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي، مثل المشكلات التقنية، مقاومة التغيير، أو نقص الخبرات الفنية، بينما توفر البيانات الكمية مؤشرات دقيقة عن مدى كفاءة الصيانة، سرعة الاستجابة للأعطال، وقدرة المؤسسات على التنبؤ بالمشكلات قبل وقوعها. هذا الدمج بين النوعين يعزز من قدرة الباحث على تحليل البيانات بشكل متكامل واستخلاص استنتاجات دقيقة.

كما تم التركيز على تنظيم عملية جمع البيانات بطريقة منهجية تضمن تمثيل جميع الفئات المستهدفة في المجتمع البحثي. فقد تم تحديد الأشخاص أو الوحدات المسؤولة عن الصيانة والإدارة التشغيلية داخل المؤسسات كعينة أساسية، وذلك لأنها المصدر الأكثر موثوقية للحصول على معلومات دقيقة حول استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، عمليات اتخاذ القرار، والعقبات الإدارية والفنية. وقد شمل ذلك جمع البيانات عبر مقابلات موجهة واستبيانات منظمة، مع الحرص على تصميم أسئلة دقيقة وموضوعية تسمح بقياس المتغيرات بطريقة علمية قابلة للتحليل.

كما أخذت الدراسة في الاعتبار ضرورة الحفاظ على دقة وموثوقية البيانات من خلال استخدام أدوات مصممة خصيصًا للبحث، تتضمن مقاييس كمية للمتغيرات التشغيلية مثل معدلات الأعطال، مدة توقف المعدات، وعدد عمليات الصيانة الدورية، إلى جانب مقاييس نوعية تعكس مدى رضا المسؤولين عن الأداء التشغيلي وجودة اتخاذ القرار. ويتيح هذا الأسلوب للباحث فهم العلاقة بين المتغيرات المختلفة بشكل أعمق، وتقديم توصيات عملية قائمة على أسس علمية دقيقة، تساعد في تحسين نموذج إدارة المرافق.

تم تطبيق معايير صارمة لضمان موثوقية البيانات وصحتها، بما في ذلك التحقق من اكتمال الردود، ومراجعة المعلومات المجمعة للتأكد من عدم وجود تناقضات، كما تم تنظيم البيانات بطريقة تسمح بإدخالها في أدوات التحليل الإحصائي للحصول على نتائج دقيقة وموثوقة. هذا النهج يعزز من مصداقية البحث ويجعل النتائج قابلة للتطبيق العملي، بما يتيح تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات المختلفة.

تمثل طريقة جمع البيانات في هذه الدراسة الأساس الذي يقوم عليه التحليل العلمي للمتغيرات المستقلة والتابعة، فهي تضمن أن تكون المعلومات دقيقة، شاملة، وموضوعية، وتوفر الأدوات اللازمة لفهم تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي على فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. ومن خلال هذه الطريقة المنظمة، يصبح من الممكن بناء نموذج متكامل لإدارة المرافق يعكس الواقع العملي ويتيح تحسين الأداء التشغيلي بشكل مستدام وفعال.

3.6. أنواع البيانات:

تلعب البيانات دورًا هامًا في أي دراسة علمية، فهي الأساس الذي يتم من خلاله بناء النتائج والتحليلات، واتخاذ الاستنتاجات العملية. وفي هذه الدراسة، تم الاهتمام بتحديد أنواع البيانات بعناية لضمان شموليتها ودقتها، إذ تم الاعتماد على نوعين رئيسيين هما: البيانات الأولية والبيانات الثانوية، بحيث يكمل كل منهما الآخر لتحقيق رؤية واضحة حول أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل والتنبؤ بالأعطال.

- البيانات الأولية

تشير البيانات الأولية إلى المعلومات التي يتم جمعها مباشرة من المصادر الأصلية المرتبطة بموضوع البحث، أي من المؤسسات والمرافق التي تطبق أو يمكن أن تطبق نظم الذكاء الاصطناعي في الصيانة والتشغيل. وتهدف هذه البيانات إلى توفير معلومات دقيقة ومحدثة حول المتغيرات الأساسية للدراسة، مثل تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة، جودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة، التحديات الفنية والإدارية، وفعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

تم جمع البيانات الأولية باستخدام أدوات بحثية دقيقة، تشمل الاستبيانات المنظمة والمقابلات الموجهة مع المسؤولين عن الصيانة والإدارة التشغيلية، حيث تم تصميم الأسئلة بعناية لقياس المتغيرات بدقة. وتمتاز البيانات الأولية بأنها تعكس الواقع العملي للمرافق مباشرة، ما يوفر مؤشرات كمية ونوعية واضحة يمكن تحليلها لاحقًا لاستنتاج العلاقة بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع. كما تمنح هذه البيانات الباحث القدرة على تقييم فعالية تطبيق الذكاء الاصطناعي في المؤسسات المختلفة وفهم العقبات العملية التي قد تواجه التنفيذ.

- البيانات الثانوية

أما البيانات الثانوية فهي المعلومات التي تم الحصول عليها من مصادر منشورة مسبقًا، مثل الدراسات العلمية السابقة، التقارير التشغيلية للمؤسسات، الإحصاءات الرسمية، والمراجع الأكاديمية المتعلقة بإدارة المرافق وتطبيق الذكاء الاصطناعي. وتعتبر هذه البيانات مكملًا للبيانات الأولية، إذ توفر خلفية علمية وتاريخية تساعد في وضع النتائج الجديدة في سياق أوسع، كما تمكن الباحث من مقارنة النتائج مع ما توصلت إليه الدراسات السابقة، وفهم أفضل الممارسات والتحديات الشائعة.

توفر البيانات الثانوية رؤية شاملة حول التوجهات العامة لتطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة والتشغيل، وتساعد في تفسير النتائج التي تم جمعها من المصادر الأولية. كما أنها تعزز من مصداقية البحث، حيث توفر إطارًا داعمًا للتحليلات والاستنتاجات، وتساهم في التأكد من أن النتائج المستخلصة ليست معزولة عن الواقع العملي والمؤسسي، بل متوافقة مع الدراسات السابقة والمعايير العلمية المعترف بها.

3.7. إجراءات التحليل الإحصائي:

تعد إجراءات التحليل الإحصائي من المراحل الحاسمة في البحث العلمي، فهي تربط بين البيانات التي تم جمعها وبين النتائج والاستنتاجات التي يعتمد عليها الباحث في تقييم فرضيات الدراسة وبناء النموذج المقترح. وفي هذه الدراسة، تم تصميم إجراءات التحليل الإحصائي بطريقة منهجية تسمح بفحص العلاقات بين المتغيرات المستقلة، مثل تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة، جودة اتخاذ القرار، والتحديات الفنية والإدارية، وبين المتغير التابع وهو فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال، مع ضمان دقة النتائج وموثوقيتها.

- معالجة البيانات

تبدأ إجراءات التحليل الإحصائي بمرحلة معالجة البيانات، والتي تشمل تنقية البيانات، التحقق من اكتمالها، والتأكد من عدم وجود أخطاء أو قيم شاذة قد تؤثر على دقة التحليل. كما يتم تصنيف البيانات وفق طبيعتها، سواء كانت كمية أو نوعية، وتجهيزها لتناسب طرق التحليل المناسبة لكل متغير. في هذا الإطار، تُعد هذه المرحلة أساسية لضمان صحة النتائج النهائية،

إذ أن أي خلل في معالجة البيانات الأولية قد يؤدي إلى استنتاجات مضللة، خصوصًا عند دراسة أثر تطبيق الذكاء الاصطناعي على كفاءة الصيانة والتشغيل.

- التحليل الوصفي

بعد معالجة البيانات، يتم الانتقال إلى التحليل الوصفي، الذي يهدف إلى تقديم صورة عامة للبيانات وتوزيعها بين مختلف المؤسسات والمرافق المشاركة في الدراسة. يشمل ذلك حساب المؤشرات الأساسية مثل المتوسطات، الانحراف المعياري، والنسب المئوية، وذلك لفهم مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، جودة اتخاذ القرار، التحديات التي تواجه المؤسسات، ودرجة فعالية إدارة الصيانة. يوفر التحليل الوصفي أساسًا متينًا لفهم خصائص المجتمع البحثي، وتحديد الاتجاهات العامة، وهو خطوة أساسية قبل الانتقال إلى التحليل العميق للروابط والعلاقات بين المتغيرات.

- التحليل الاستنتاجي

بعد ذلك، يتم إجراء التحليل الاستنتاجي لفحص مدى قوة العلاقة بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع، وتحديد مدى تأثير كل متغير على فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. في هذه المرحلة، يمكن استخدام تقنيات إحصائية متقدمة مثل اختبارات الارتباط والانحدار لتحديد طبيعة العلاقات، وكذلك اختبارات الفرضيات للتحقق من صحة النتائج المستخلصة. يتيح هذا التحليل للباحث تقييم مدى فاعلية تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين الأداء التشغيلي، كما يمكنه تحديد العوامل الأكثر تأثيرًا والتحديات التي قد تحد من الاستفادة من هذه التقنيات.

- استخدام التحليل متعدد المتغيرات

للتعامل مع الطبيعة المعقدة للمتغيرات والتداخل بين تأثيراتها، تم استخدام التحليل متعدد المتغيرات، الذي يسمح بدراسة أثر المتغيرات المستقلة بشكل متزامن على المتغير التابع. يساعد هذا الأسلوب في فهم التفاعلات بين التقنيات المستخدمة، جودة اتخاذ القرار، والتحديات المؤسسية، وتأثيرها الجماعي على فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. كما يتيح هذا التحليل التنبؤ بنتائج مختلفة في سيناريوهات متعددة، مما يدعم تطوير نموذج متكامل وفعال لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي.

- تفسير النتائج وربطها بالبحث

أخيرًا، تتضمن إجراءات التحليل الإحصائي تفسير النتائج وربطها بأهداف البحث والنموذج المقترح. إذ تسمح هذه المرحلة للباحث بفهم مدى نجاح تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة، وتقديم توصيات عملية قابلة للتطبيق في المؤسسات. كما تمكن الباحث من تحديد الفجوات والتحديات التي تحتاج إلى معالجة لضمان تحسين الأداء التشغيلي، وبالتالي بناء نموذج عملي وفعال يحقق أهداف الدراسة على أرض الواقع.

3.8. الخاتمة:

يمثل هذا الفصل المرحلة الجوهرية التي أسست للجانب التطبيقي في الدراسة، حيث أتاح فهمًا عميقًا لكيفية بناء البحث العلمي بطريقة منظمة ومنهجية. من خلال ما تضمنه الفصل من شروحات، أصبح واضحًا كيف يمكن الربط بين النظرية والممارسة في مجال إدارة المرافق، مع التركيز على تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل باستخدام الذكاء الاصطناعي. فقد وفر الفصل القاعدة العلمية التي اعتمد عليها الباحث لتقييم البيئة التشغيلية للمرافق، وفهم المتغيرات التي تؤثر على الأداء التشغيلي، بما يضمن أن يكون النموذج المقترح مبنياً على أساس علمي متين وقادرًا على تقديم حلول عملية.

كما أظهر الفصل أهمية اتباع منهجية دقيقة في التعامل مع المعلومات والبيانات، بما في ذلك التعرف على خصائصها وفهم طبيعتها وكيفية جمعها بطريقة منظمة. هذا الاهتمام بالبيانات لا يقتصر على مجرد جمعها، بل يشمل التأكد من دقتها وصلاحياتها للتحليل، وهو ما يعزز مصداقية النتائج ويضمن إمكانية الاستفادة منها في الواقع العملي. ومن خلال هذا التناول، أصبح بالإمكان تحويل البيانات الأولية إلى معلومات قيمة تساعد على اتخاذ القرارات الاستراتيجية المتعلقة بإدارة المرافق وصيانتها بشكل ذكي ومستدام.

أبرز الفصل الدور الحاسم للتحليل العلمي المنهجي في توضيح العلاقات بين المتغيرات المختلفة، وفهم التأثيرات المتبادلة بينها. فقد ساعد ذلك في بناء صورة شاملة لكيفية عمل المرافق، وما هي الجوانب التي يمكن تحسينها من خلال النموذج المقترح. هذا الفهم العميق للعلاقات بين العناصر التشغيلية يعزز قدرة الباحث على تقديم توصيات دقيقة وقابلة للتطبيق، كما يتيح تقديم حلول مبتكرة تعتمد على أسس علمية واضحة.

ويجدر بالذكر أن الفصل لم يقتصر على الجانب النظري، بل ساهم أيضًا في توضيح الأسس التي تمكن من تنفيذ التحليل الإحصائي بشكل منهجي وفعال، مما يتيح تحويل البيانات إلى نتائج ملموسة يمكن الاعتماد عليها. ومن خلال هذا الإطار، أصبح بالإمكان اختبار فرضيات الدراسة والتأكد من صحة الاستنتاجات، وهو ما يعكس أهمية الفصل في توفير قاعدة علمية راسخة تدعم كل خطوات البحث اللاحقة.

يمثل هذا الفصل حجر الزاوية الذي يضمن موثوقية الدراسة واستدامة تطبيقاتها العملية. فهو لم يكتفِ بتوضيح الأسس المنهجية فحسب، بل أتاح أيضًا رؤية واضحة لكيفية الاستفادة من الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل

على أرض الواقع. إذ يوضح الفصل كيف يمكن للباحث أو الممارس استخدام النتائج والتوصيات بطريقة عملية، مما يعزز من فاعلية النموذج المقترح ويجعل تطبيقاته أكثر دقة واستدامة.

إن الفصل الثالث أسهم بشكل كبير في بناء فهم متكامل للبحث، فهو يوفر الإطار الذي يربط بين البيانات والتحليل العلمي وبين التوصيات العملية، مما يجعل النتائج النهائية للدراسة أكثر موثوقية وملاءمة للواقع التشغيلي للمرافق. من خلال هذا التأسيس المنهجي، يصبح من الممكن تحقيق أهداف الدراسة بكفاءة، وضمان أن النموذج المقترح ليس مجرد أداة نظرية، بل حل عملي قائم على أسس علمية واضحة وقابلة للتطبيق في تحسين عمليات إدارة المرافق والصيانة الذكية.

4. الفصل الرابع: التحليل الإحصائي ومناقشة النتائج

4.1. المقدمة:

يمثل الفصل الرابع من هذه الدراسة المرحلة التطبيقية الأولى التي تربط بين البيانات التي تم جمعها وتحليلها من مجتمع البحث وبين النتائج العملية التي يسعى البحث إلى الوصول إليها. فهو يوفر للقارئ نظرة شاملة على كيفية التعامل مع المعلومات والبيانات التي تم جمعها، وكيفية تفسيرها بطريقة علمية دقيقة تؤدي إلى استخلاص استنتاجات قابلة للتطبيق العملي. هذا الفصل يعد جسراً بين المنهجية النظرية التي تم استعراضها في الفصول السابقة وبين التوصيات النهائية التي سيتم تقديمها، ويُظهر كيفية تحويل البيانات والمعلومات إلى معرفة عملية تدعم تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي.

يهدف الفصل إلى تقديم صورة واضحة حول الخصائص الأساسية للعينة التي تم تحليلها، مع التركيز على الجوانب الإحصائية التي تعكس الواقع التشغيلي للمرافق المختلفة. إذ يتيح ذلك فهم طبيعة المجتمع البحثي وتوزيع المتغيرات المختلفة فيه، مما يوفر قاعدة متينة لتحليل النتائج بشكل علمي ودقيق. من خلال هذا الفهم، يمكن للباحث تقييم مدى تمثيل العينة للمجتمع ككل، وكذلك تحديد الأنماط والسلوكيات التشغيلية الأكثر شيوعاً، وهو ما يعد خطوة أساسية قبل الانتقال إلى مرحلة التحليل التفصيلي للبيانات وتفسيرها.

يوفر الفصل إطاراً لفهم مدى موثوقية الأدوات البحثية التي تم استخدامها في جمع البيانات، ويُظهر كيف تم التأكد من صحة المعلومات ودقتها قبل الشروع في تحليلها. هذا يضمن أن النتائج المستخلصة ليست مجرد بيانات رقمية، بل معلومات دقيقة ومؤكدة تعكس الواقع التشغيلي للمرافق. كما يوضح الفصل الأسس العلمية التي تم اعتمادها في التعامل مع البيانات، بما في ذلك التأكد من أن كل متغير تم قياسه بطريقة منهجية تسمح بإجراء التحليلات الإحصائية المناسبة واستنتاج علاقات دقيقة بين المتغيرات.

يمثل الفصل الرابع المرحلة التي يتم فيها ربط البيانات بالأسئلة البحثية والأهداف الأساسية للدراسة. فهو يتيح للقارئ متابعة كيفية الإجابة على الأسئلة البحثية بطريقة منهجية، بحيث يتم توضيح العلاقة بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة والتشغيل وبين الفعالية التشغيلية للمرافق والتنبؤ بالأعطال. من خلال هذا الربط، يصبح من الممكن استخلاص

نتائج دقيقة يمكن من خلالها تقديم توصيات عملية قابلة للتطبيق في مختلف المؤسسات والمرافق، بما يعزز من قدرة النموذج المقترح على تحسين الأداء التشغيلي بكفاءة وفعالية.

كما يوضح الفصل أهمية تفسير النتائج بطريقة علمية ومنهجية، حيث لا يقتصر الأمر على عرض البيانات، بل يشمل تحليلها بشكل يعكس تأثير المتغيرات المختلفة على الأداء التشغيلي للمرافق. ويتيح ذلك للباحث التعرف على الاتجاهات والأنماط داخل البيانات، واستخلاص استنتاجات يمكن تطبيقها مباشرة لتحسين إدارة الصيانة، وتطوير استراتيجيات ذكية للتنبؤ بالأعطال باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي.

يمثل الفصل الرابع حجر الزاوية الذي يربط بين المنهجية النظرية، جمع البيانات، والتحليل الإحصائي، وبين النتائج العملية والتوصيات المستقبلية. فهو يوفر الأساس العلمي لفهم كيفية تحويل المعلومات والبيانات المجمعة إلى معرفة عملية قابلة للتطبيق، ويساعد في توضيح مدى فعالية نموذج إدارة المرافق المقترح، ويضمن أن تكون التوصيات النهائية للدراسة قائمة على أسس علمية دقيقة، ومؤهلة لتحسين الأداء التشغيلي وتقليل الأعطال بطريقة مستدامة وفعالة.

4.2. توصيف عينة الدراسة (الاحصائيات الوصفية لعينة الدراسة):

حقق التوجه نحو دور الذكاء الاصطناعي في إطالة العمر الافتراضي للمعدات أعلى تأييد بمتوسط 3.58؛ هذه النتيجة تعكس إدراكاً عميقاً لدى العينة بالجدوى الاقتصادية طويلة المدى لهذه التقنيات. ترافق ذلك مع انحراف معياري قدره 1.508؛ وهو ما يكشف عن تباين ملحوظ في وجهات النظر. قد يعود هذا التشتت إلى اختلاف طبيعة المعدات أو تفاوت مستويات التكنولوجيا المستخدمة في مرافق المستجيبين. سجلت العبارات المتعلقة بدعم اتخاذ القرار وتقليل تكاليف الصيانة التصحيحية متوسطات مرتفعة بلغت 3.57. هذا الرقم ليس مجرد إحصائية؛ بل هو مؤشر على قناعة العينة بأن الحلول الذكية ترفع كفاءة التخطيط المالي والتشغيلي.

برزت عبارة تحسين سرعة الاستجابة للأعطال كأقل المتوسطات بوزن 3.24؛ مع أعلى انحراف معياري في الدراسة وصل إلى 1.602. النتيجة توحى بوجود فجوة تقنية؛ فالتنبؤ بالعطل لا يعني بالضرورة سرعة إصلاحه إذا ظلت اللوجستيات التقليدية عائقاً. اتسمت قيم الالتواء (Skewness) بأنها سالبة في كافة البنود؛ مما يعني أن معظم الإجابات تركزت في الجانب الإيجابي للمقياس. تؤكد قيمة التفرطح (Kurtosis) السالبة أن التوزيع أكثر تسطحاً من التوزيع الطبيعي. العينة تتبنى موقفاً متفائلاً تجاه التحول الرقمي؛ لكنها تظهر حذراً تجاه المهارات البشرية والبنية التحتية، حيث سجلتا متوسطات متوسطة (3.39 و 3.42). القناعة بالذكاء الاصطناعي تسبق الجاهزية الفعلية للتطبيق على أرض الواقع.

Statistics									
Std. Error of Kurtosis	Kurtosis	Std. Error of Skewness	Skewness	Std. Deviation	Median	Std. Error of Mean	Mean	N	
								Missing	Valid
.295	-1.317	.148	-.176	1.427	3.00	.087	3.18	0	271
.295	-2.012	.148	-.052	.501	2.00	.030	1.51	0	271
.295	-1.099	.148	-.146	1.292	3.00	.078	3.30	0	271

يسهم استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحسين تخطيط برامج الصيانة الدورية في المرافق الصناعية.	271	0	3.47	.086	4.00	1.414	-.427	.148	-1.189	.295
تساعد تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ الإجراءات الوقائية.	271	0	3.49	.090	4.00	1.475	-.435	.148	-1.278	.295
يؤدي تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.	271	0	3.32	.093	4.00	1.534	-.354	.148	-1.396	.295
تسهم أدوات تحليل البيانات الذكية في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال.	271	0	3.24	.097	4.00	1.602	-.216	.148	-1.568	.295
يدعم الذكاء الاصطناعي اتخاذ قرارات صيانة مبنية على بيانات دقيقة وفورية.	271	0	3.57	.085	4.00	1.404	-.533	.148	-1.086	.295
يساهم استخدام الخوارزميات التنبؤية في تقليل تكاليف الصيانة التصحيحية.	271	0	3.57	.088	4.00	1.448	-.542	.148	-1.152	.295
يؤدي تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات الصناعية.	271	0	3.58	.092	4.00	1.508	-.577	.148	-1.197	.295
يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية في أعمال الصيانة.	271	0	3.33	.100	4.00	1.646	-.341	.148	-1.553	.295
تساعد الأنظمة الذكية في تحديد أولويات الصيانة بناءً على مستوى الخطورة والتأثير التشغيلي.	271	0	3.55	.088	4.00	1.447	-.503	.148	-1.195	.295
يسهم استخدام تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة أداء المعدات بشكل مستمر.	271	0	3.52	.089	4.00	1.463	-.438	.148	-1.282	.295

يؤدي الاعتماد على الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.	271	0	3.36	.095	4.00	1.561	-.357	.148	-1.431	.295
توفر أنظمة الذكاء الاصطناعي تقارير تحليلية تسهم في تحسين الأداء التشغيلي العام.	271	0	3.41	.096	4.00	1.577	-.383	.148	-1.441	.295
يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين مستوى السلامة في بيئة العمل الصناعية.	271	0	3.46	.088	4.00	1.455	-.388	.148	-1.274	.295
يعزز تطبيق الذكاء الاصطناعي من كفاءة عمليات المتابعة والتقييم لأعمال الصيانة.	271	0	3.44	.089	4.00	1.464	-.450	.148	-1.245	.295
توجد بنية تحتية تقنية كافية لدعم تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.	271	0	3.42	.094	4.00	1.540	-.392	.148	-1.410	.295
يملك العاملون المهارات اللازمة للتعامل مع أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.	271	0	3.39	.098	4.00	1.608	-.418	.148	-1.442	.295
يسهم استخدام الذكاء الاصطناعي في رفع مستوى رضا الإدارة العليا عن أداء إدارة الصيانة.	271	0	3.56	.086	4.00	1.418	-.557	.148	-1.075	.295

جدول 1: التحليلات الإحصائية

4.3. اختبارات الصدق والثبات للاستبيانات:

تطابق إجمالي عدد الحالات الصالحة للتحليل مع حجم العينة الكلي بنسبة 100%؛ إذ لم تخرج أي حالة من نطاق المعالجة الإحصائية. النتيجة مثالية. تعني هذه النظافة في البيانات أن استمارات الاستقصاء خضعت لمراجعة دقيقة من المستجيبين؛ فلم توجد بيانات مفقودة (Missing Data) قد تؤدي إلى تحيز النتائج أو ضعف الاستدلال. الاستقرار في عدد الحالات (271 حالة) يمنح الباحث ثقة في استقراء النتائج دون الحاجة لمعالجات تعويضية.

سجل معامل "ألفا كرونباخ" قيمة مرتفعة بلغت 0.881 لعدد 20 بنداً؛ النتيجة تعكس اتساقاً داخلياً قوياً جداً بين فقرات الأداة. يبدو أن هناك وحدة موضوعية في فهم المستجيبين لمتغيرات الذكاء الاصطناعي والصيانة التنبؤية. تجاوزت هذه القيمة للحد المقبول إحصائياً (0.70) يؤكد صلاحية الأداة لقياس ما وضعت من أجله. الثبات المرتفع يعني أن الاستجابات لم تكن عشوائية؛ بل نابعة من تصورات ثابتة لدى العينة. هذا التماسك في الموثوقية يمنح الدراسة مشروعية علمية عند تعميم نتائجها؛ فالأرقام المستخلصة تعبر عن واقع تشغيلي حقيقي ومستقر إحصائياً.

Case Processing Summary			
%	N		
100.0	271	Valid	Cases
.0	0	Excluded ^a	
100.0	271	Total	
a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.			

جدول 2: ملخص التحليلات الإحصائية

Reliability Statistics	
N of Items	Cronbach's Alpha
20	.881

جدول 3: اختبار الثبات والموثوقية

4.4. الإحصاء الوصفي لمتغيرات البحث (الإجابة على أسئلة البحث):

• عمر المشاركين في التجربة

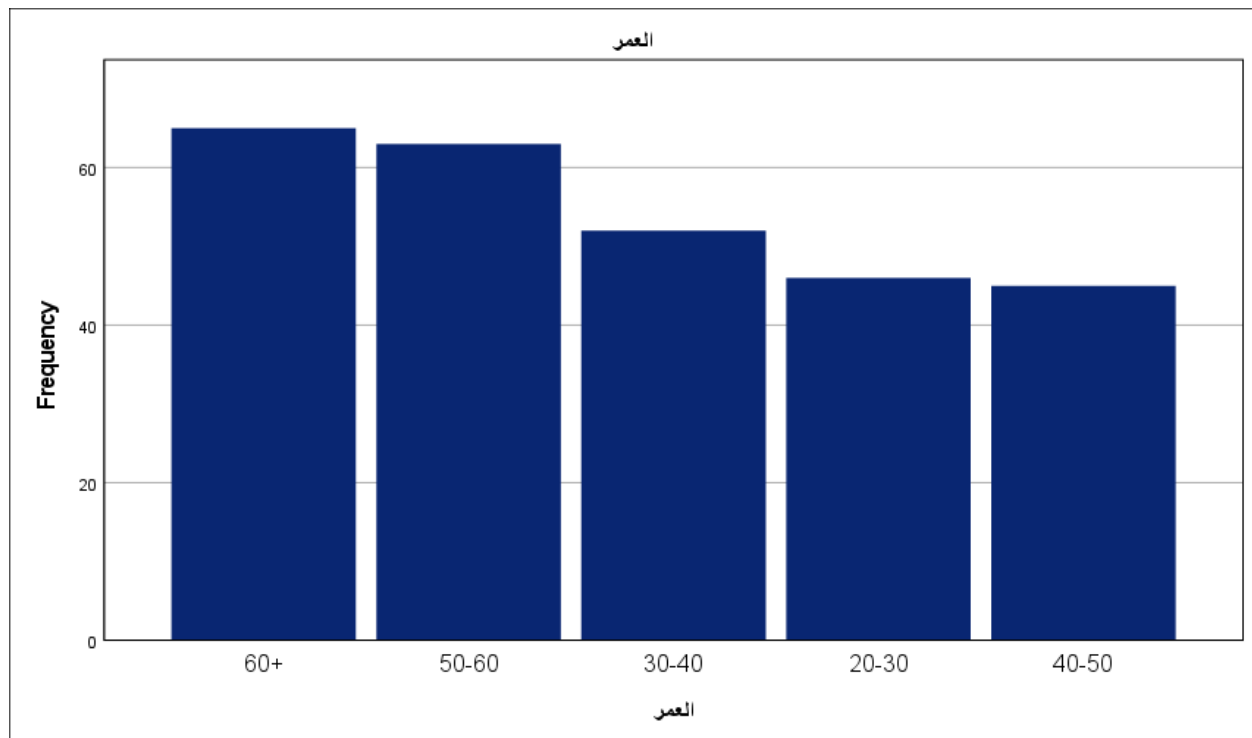
تتقارب النسب المئوية للفئات العمرية داخل العينة؛ الفوارق بين أكبر المجموعات وأصغرها لا تتجاوز 7.4%. هذا التوازن يعطي للدراسة ثقلًا ومصداقية. تصدرت الفئة العمرية الأكبر (أكثر من 60 عاماً) المشهد بنسبة 24% بواقع 65 فرداً. تلتها مباشرة فئة (50-60 عاماً) بنسبة 23.2%. يبدو أن أصحاب الخبرات الطويلة هم الأكثر تمثيلاً في هذا الاستقصاء؛ الأمر الذي يمنح النتائج بعداً واقعياً ناتجاً عن ممارسة ميدانية ممتدة في المرافق الصناعية. إن هيمنة الكوادر الخبيرة (قاربة 47.2% فوق

الخمسين عاماً) تشير إلى أن تقييم فاعلية الذكاء الاصطناعي لم يأت من حماس شبابي فحسب. هو حكم صادر عن جيل عاصر أنظمة الصيانة التقليدية.

حققت الفئات الوسطى والشابة (من 20 إلى 40 عاماً) حضوراً متوازناً بنسب تراوحت بين 17% و19.2%. ندوب الفوارق العددية هنا لصالح تنوع معرفي. نلاحظ أن فئة (40-50 عاماً) كانت الأقل تكراراً بـ 45 فرداً ونسبة 16.6%. العينة تشمل كافة المراحل الوظيفية. هذا التوزيع يقلل من تحيز النتائج لجيل دون آخر. وجود الشباب بجانب الخبراء يضمن قياس مدى تقبل التكنولوجيا الجديدة من جهة، ومدى مواءمتها للمعايير الصناعية الراسخة من جهة أخرى. الاستقرار في هذه الأرقام يعزز من إمكانية تعميم النتائج على الهياكل التنظيمية المشابهة في القطاع الصناعي.

العمر					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
24.0	24.0	24.0	65	60+	Valid
47.2	23.2	23.2	63	50-60	
66.4	19.2	19.2	52	30-40	
83.4	17.0	17.0	46	20-30	
100.0	16.6	16.6	45	40-50	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 4: التحليل الإحصائي لعمر المشاركين في التجربة



شكل توضيحي 1: التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة

• جنس المشاركين في التجربة

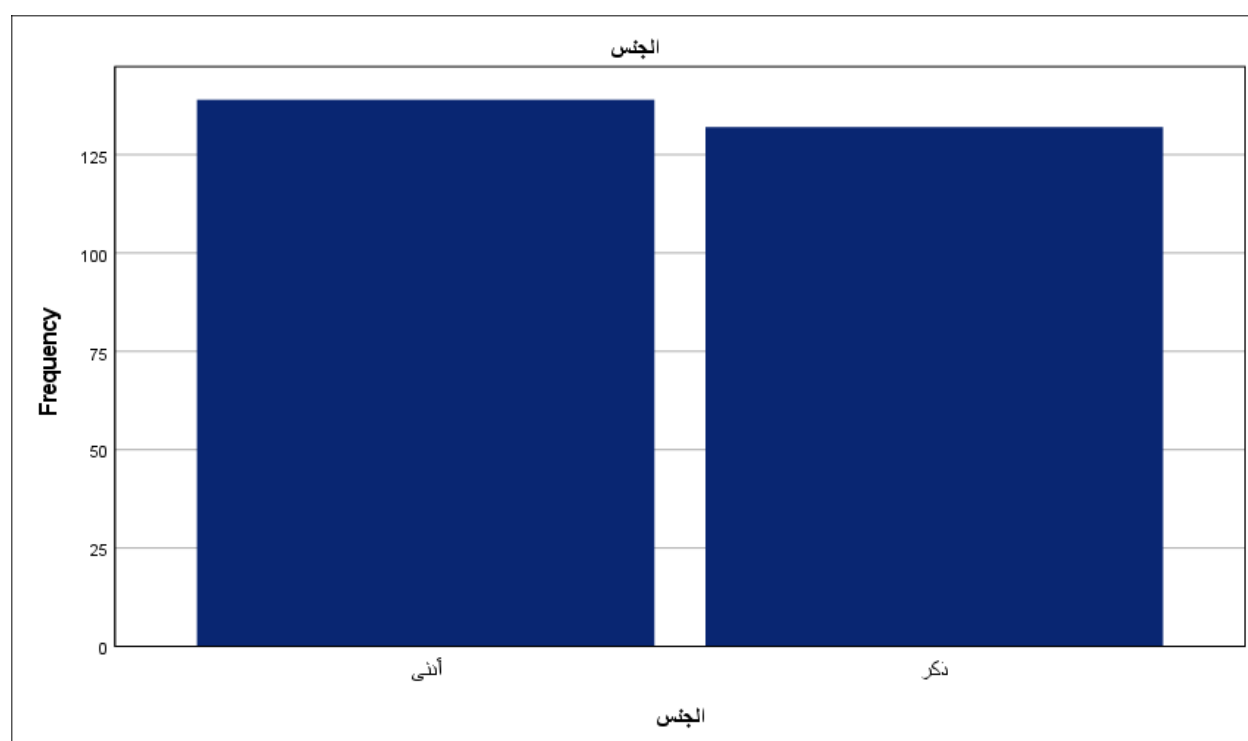
تظهر النتائج تقارباً كبيراً في توزيع العينة بين الجنسين؛ حيث بلغت نسبة الإناث 51.3% مقابل 48.7% للذكور. تعكس هذه الأرقام واقعاً جديداً في البيئات الصناعية الحديثة؛ فالمشاركة النسائية في القطاعات التقنية والهندسية لم تعد هامشية. غياب التفاوت في الأعداد يعزز من شمولية نتائج الدراسة. يقلل هذا التوازن من احتمالية انحياز الآراء المرتبطة بطبيعة المهام التقليدية. الإناث (139 مشاركة) والذكور (132 مشاركاً) يساهمون بشكل متساوٍ تقريباً في صياغة رؤية القطاع تجاه الذكاء الاصطناعي.

يدعم هذا التماثل الإحصائي دقة الاستنتاجات المتعلقة بقبالية استخدام التقنيات الذكية؛ فالتطبيقات البرمجية للصيانة والتنبؤ لا تعتمد على القوة البدنية بل على التحليل الرقمي. وجود نسبة متقاربة يضمن أن الاستجابة للبنية التحتية والمهارات اللازمة ليست حكراً على فئة دون أخرى. هذا التوزيع المتكافئ يمنح الباحث طمأنينة إحصائية؛ حيث إن الرؤى المستخلصة

تمثل وجهتي النظر في المواقع الإدارية والميدانية على حد سواء. الاستقرار في هذه النسب يخدم أغراض المقارنة العلمية مستقبلاً.

الجنس					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	51.3	51.3	51.3	139	أنثى
	100.0	48.7	48.7	132	ذكر
		100.0	100.0	271	Total

جدول 5: التحليل الإحصائي لجنس المشاركين في التجربة



شكل توضيحي 2: التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة

• الدرجة العلمية لدى المشاركين في التجربة

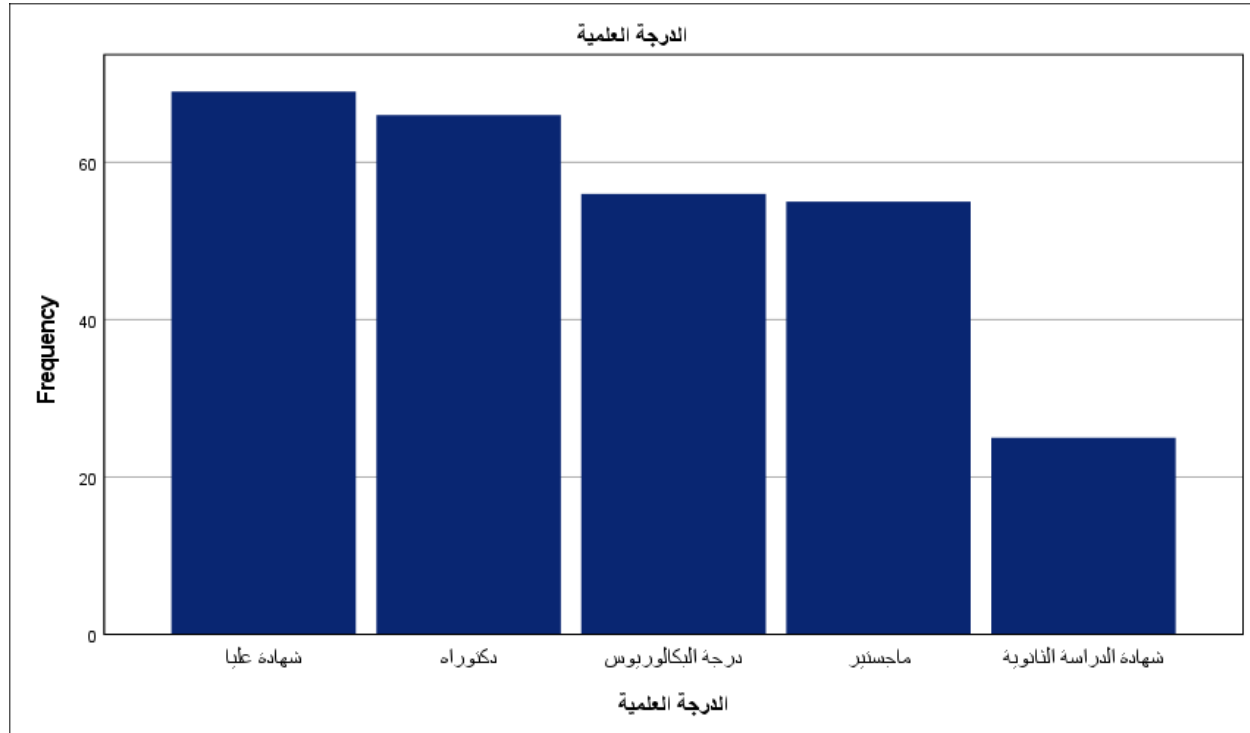
يهيمن الطابع الأكاديمي المتقدم على تركيبة العينة؛ إذ يمتلك ما يقرب من 70% من المشاركين مؤهلات تزيد عن درجة البكالوريوس (ماجستير، دكتوراه، وشهادات عليا). تصدرت فئة "الشهادة العليا" التكرارات بـ 69 فرداً ونسبة 25.5%؛ تلتها مباشرة درجة الدكتوراه بنسبة 24.4%. هذه الكثافة العلمية تضفي وزناً نوعياً على النتائج؛ فالتعامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة يتطلب خلفية معرفية تمزج بين النظرية والتطبيق. يبدو أن تقييم كفاءة التنبؤ بالأعطال نابع من رؤية علمية ومنهجية لدى فئة كبيرة من المستجيبين. الاعتماد على خبراء بهذا المستوى التعليمي يقلل من العشوائية في الإجابات؛ ويدعم قدرة الدراسة على استشراف المستقبل الرقمي في المرافق الصناعية.

سجلت فئة البكالوريوس والماجستير نسباً مقاربة جداً بلغت 20.7% و20.3% على التوالي؛ مما يوجد نوعاً من التوازن بين الكوادر التنفيذية والبحثية. في المقابل، انحصرت تمثيل شهادة الدراسة الثانوية في أدنى مستوياته بنسبة 9.2%. هذا الانخفاض منطقي؛ إذ تتطلب إدارة نظم الصيانة الذكية مهارات تحليلية غالباً ما تكتسب في مراحل التعليم الجامعي وما بعده. وجود هذه التعددية يضمن فحص فاعلية الذكاء الاصطناعي من زوايا مختلفة؛ بدءاً من الرؤية الاستراتيجية لحملة الدكتوراه وصولاً إلى الملاحظات الميدانية للكوادر الفنية. إن غلبة التخصصات العليا تعني أن القطاع الصناعي محل الدراسة يميل نحو الاستثمار في "رأس المال الفكري"؛ وهو شرط أساسي لنجاح أي تحول نحو الصيانة التنبؤية القائمة على البيانات.

الدرجة العلمية					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	25.5	25.5	25.5	69	شهادة عليا
	49.8	24.4	24.4	66	دكتوراه
	70.5	20.7	20.7	56	درجة البكالوريوس
	90.8	20.3	20.3	55	ماجستير
	100.0	9.2	9.2	25	شهادة الدراسة الثانوية

	100.0	100.0	271	Total	
--	-------	-------	-----	-------	--

جدول 6: التحليل الإحصائي للدرجة العلمية



شكل توضيحي 3: التمثيل البياني للدرجة العلمية

• يسهم استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحسين تخطيط برامج الصيانة الدورية في المرافق الصناعية.

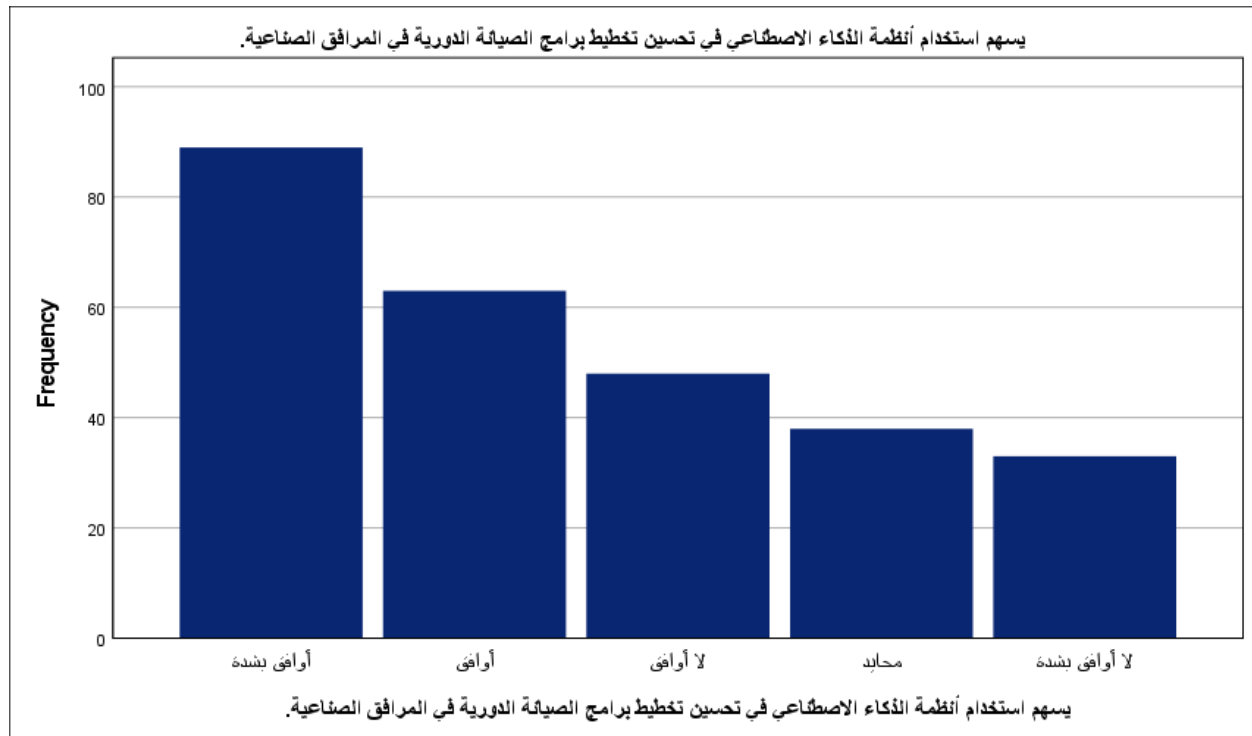
اكتسحت استجابة "أوافق بشدة" النتائج بنسبة 32.8%؛ إذ يرى 89 مشاركاً أن الذكاء الاصطناعي يمثل ركيزة أساسية في تطوير خطط الصيانة الدورية. النتيجة تعكس وعياً تقنياً متقدماً. يرتفع إجمالي التأييد (أوافق وأوافق بشدة) ليصل إلى 56% تقريباً؛ فالعينة تؤمن بقدرة الخوارزميات على تجاوز الأخطاء البشرية في الجدولة الزمنية. هذا التحول نحو الرقمنة يقلل من احتمالية تدخل المهام أو إغفال بعض النقاط الحرجة في المرافق الصناعية. القناعة هنا ليست مجرد نظريات؛ بل هي استشراف لواقع تشغيلي أكثر دقة وانضباطاً.

ظهر تباين في الآراء عند النظر إلى جبهة المعارضة؛ حيث بلغت نسبة الرافضين (لا أوافق ولا أوافق بشدة) حوالي 29.9%. هذا الرقم ليس ضئيلاً. قد يعود هذا التحفظ إلى تجارب سابقة لم تكتمل أو غياب الثقة في دقة البيانات المدخلة للنظام. بقيت

فئة "المحايدین" عند 14%؛ وهي شريحة تنتظر براهین عملية ملموسة قبل حسم موقفها. التفاوت في النسب يشير إلى أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في التخطيط يواجه تحديات تتعلق بالممارسة الفعلية؛ فالفائدة النظرية واضحة، لكن التخوف يظل قائماً من تعقيدات التنفيذ على أرض الواقع الصناعي.

يسهم استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحسين تخطيط برامج الصيانة الدورية في المرافق الصناعية.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
32.8	32.8	32.8	89	أوافق بشدة	Valid
56.1	23.2	23.2	63	أوافق	
73.8	17.7	17.7	48	لا أوافق	
87.8	14.0	14.0	38	محايد	
100.0	12.2	12.2	33	لا أوافق بشدة	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 7: التحليل الإحصائي لإسهام استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحسين تخطيط برامج الصيانة الدورية في المرافق الصناعية.



شكل توضيحي 4: التمثيل البياني لإسهام استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحسين تخطيط برامج الصيانة الدورية في المرافق الصناعية.

• تساعد تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ الإجراءات الوقائية.

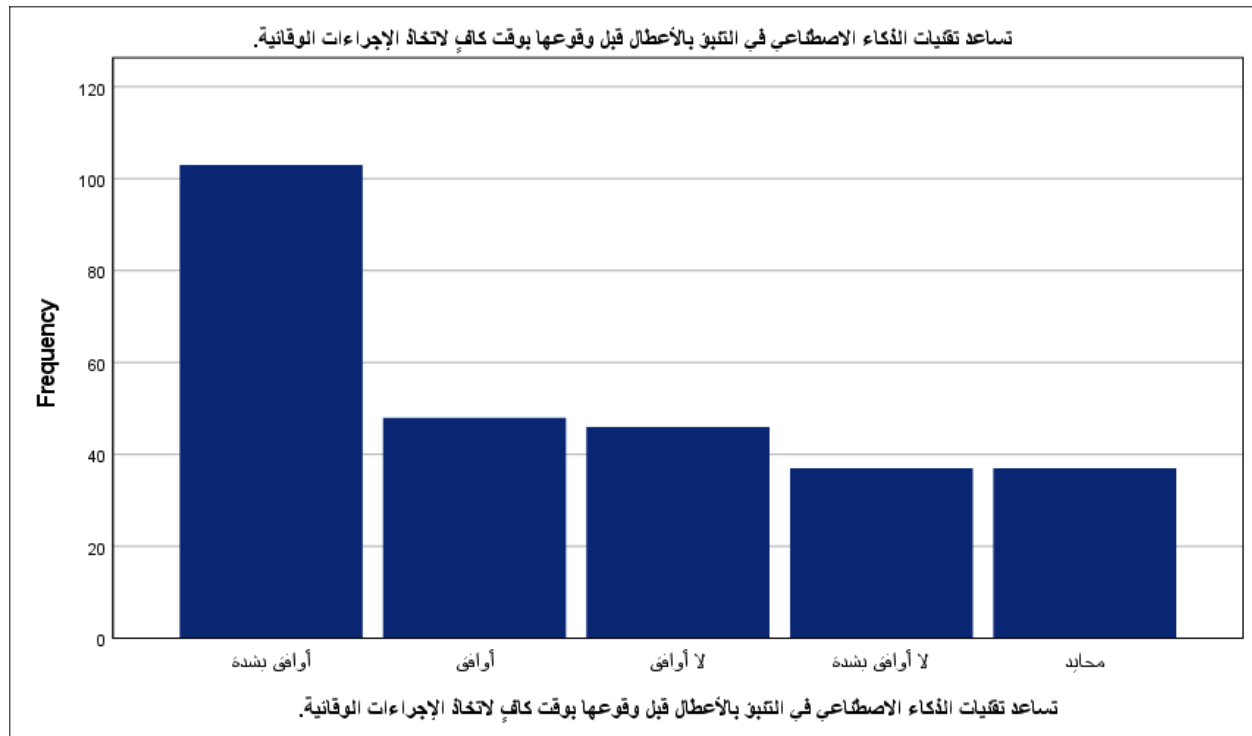
تبرز الفجوة بوضوح بين مؤيدي القدرة التنبؤية للذكاء الاصطناعي ومعارضها؛ فبينما يميل 38% من العينة (103 مشاركين) إلى التأييد المطلق، نجد تشتتاً في آراء البقية. النتيجة غير متجانسة. يعكس هذا التباين تفاوتاً في الخبرات التقنية داخل المرافق الصناعية؛ فالتنبؤ بالعطل قبل وقوعه يتطلب نضجاً في جودة البيانات وحساسات القياس. وافق 17.7% من المشاركين على العبارة، ليرتفع إجمالي الاتجاه الإيجابي إلى 55.7%. القناعة بالجانب الوقائي تفوق التخطيط الدوري؛ فالقدرة على استباق العطب تعني تقليل الهالك المادي وتجنب التوقفات المفاجئة التي تستنزف الميزانيات التشغيلية.

سجلت جبهة الرفض (لا أوافق ولا أوافق بشدة) نسبة 30.7%؛ وهي نسبة تشير إلى وجود عوائق واقعية تحول دون الوثوق الكامل في خوارزميات التنبؤ. تساوت فئة المحايد مع الراضين بشدة بنسبة 13.7% لكل منهما. يبدو أن عدم اليقين نابع من الخوف من "الإنذارات الكاذبة" أو قصور الأنظمة في فهم سلوك المعدات المتهالكة. هذا النقص في الثقة قد يؤدي إلى تباطؤ

في اعتماد استراتيجيات الصيانة الذكية داخل المواقع. التوجه العام إيجابي، لكنه مشروط بقدرة النظام على تقديم نتائج دقيقة وموثوقة تمنع فعلياً وقوع الكارثة الفنية قبل حدوثها.

تساعد تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ الإجراءات الوقائية.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
38.0	38.0	38.0	103	أوافق بشدة	Valid
55.7	17.7	17.7	48	أوافق	
72.7	17.0	17.0	46	لا أوافق	
86.3	13.7	13.7	37	لا أوافق بشدة	
100.0	13.7	13.7	37	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 8: التحليل الإحصائي لمساعدة تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ الإجراءات الوقائية.



شكل توضيحي 5: التمثيل البياني لمساعدة تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ الإجراءات الوقائية.

• يؤدي تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

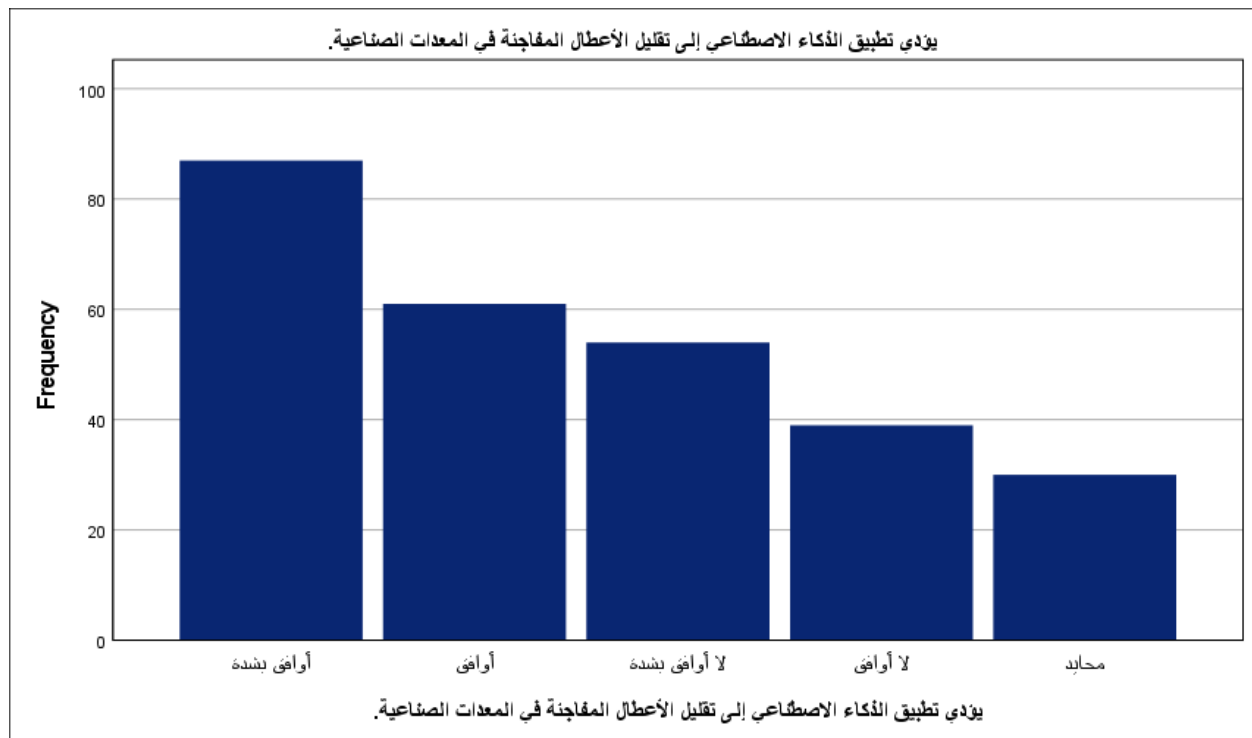
انحصرت الفئة المحايدة في أدنى مستويات الاستجابة بنسبة 11.1% فقط؛ ما يعني أن أغلبية المشاركين حسمو مواقفهم تجاه قدرة الذكاء الاصطناعي على كبح الأعطال المفاجئة. النتيجة تعكس استقطاباً واضحاً. حصد خيار "أوافق بشدة" المركز الأول بنسبة 32.1% (87 مشاركاً)؛ بينما وافق 22.5% من العينة على العبارة. يرتفع بذلك إجمالي القناعة بالدور الإيجابي لهذه التقنيات إلى 54.6%. هذه الكتلة التصويتية ترى في الذكاء الاصطناعي درعاً واقياً للمعدات؛ حيث تساهم قدرته على تحليل الأنماط التشغيلية المعقدة في تلافي التوقفات الاضطرابية التي تربك سلاسل الإمداد.

برز تباين في آراء الرافضين؛ إذ اختار 19.9% من المشاركين "لا أوافق بشدة"؛ وهي نسبة تفوق من اختاروا "لا أوافق" (14.4%). يشير هذا التوزيع إلى تجارب سلبية عميقة لدى شريحة من المستجيبين؛ فربما عانت مرافقهم من أعطال لم تنجح الأنظمة الذكية في رصدها، أو أن طبيعة الآلات لديهم لا تستجيب للنمذجة الرقمية بسهولة. هذا الاعتراض القوي يمثل تحذيراً فنياً؛

فإهمال هذه النسبة قد يؤدي إلى سوء تقدير للمخاطر عند الانتقال الكامل للصيانة الذكية. النتيجة النهائية تؤكد وجود ميل عام نحو الفاعلية؛ لكنه ميل محفوف بحذر نابع من تعقيدات البيئة الصناعية على أرض الواقع.

يؤدي تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	32.1	32.1	32.1	87	أوافق بشدة
	54.6	22.5	22.5	61	أوافق
	74.5	19.9	19.9	54	لا أوافق بشدة
	88.9	14.4	14.4	39	لا أوافق
	100.0	11.1	11.1	30	محايد
		100.0	100.0	271	Total

جدول 9: التحليل الإحصائي لأداء تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.



شكل توضيحي 6: التمثيل البياني لأداء تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

• تسهم أدوات تحليل البيانات الذكية في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال.

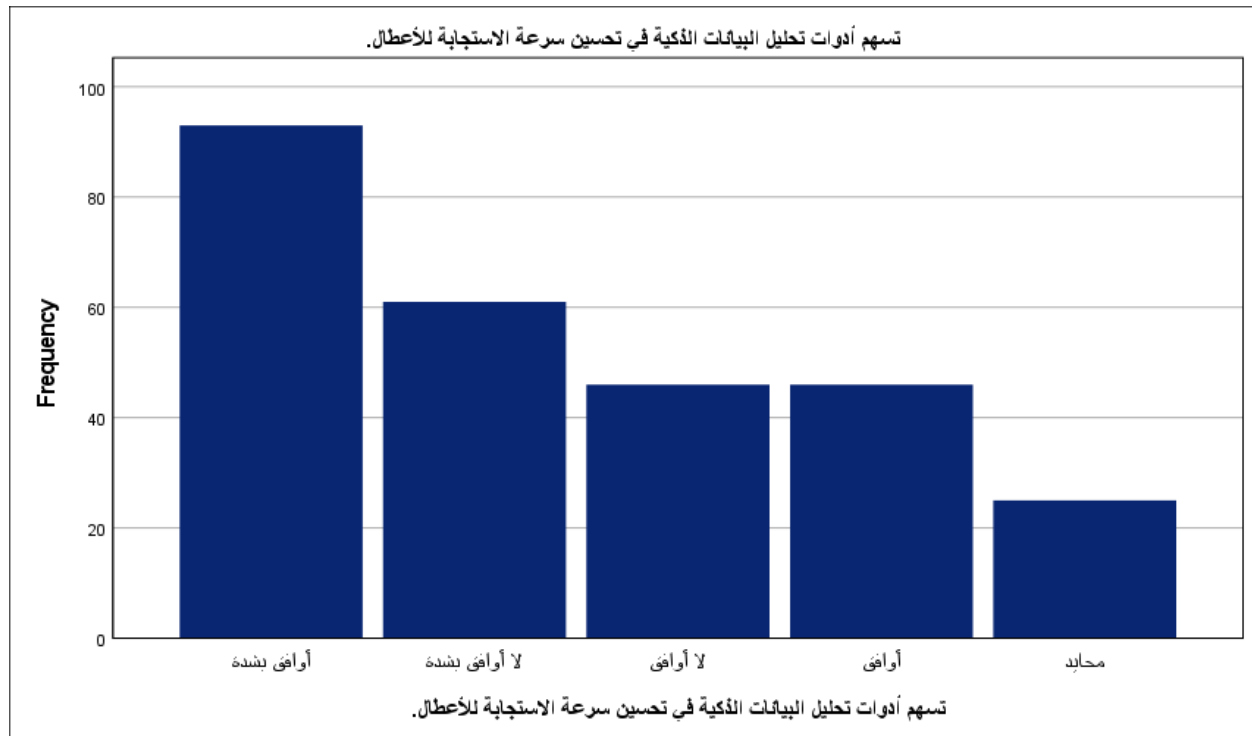
سجل خيار "أوافق بشدة" النسبة الأعلى بـ 34.3%؛ ما يشير إلى قناعة ثلث العينة تقريباً بأن ذكاء البيانات يختصر زمن المناورة الفنية عند وقوع الخلل. هذه الرؤية تربط بين التحليل اللحظي وسرعة اتخاذ القرار في الورش الميكانيكية والكهربائية. ومع ذلك، نجد نظرة إحصائية؛ فخيار "لا أوافق بشدة" حل ثانياً بنسبة 22.5%. النتيجة تعكس انقساماً جوهرياً. يبدو أن سرعة الاستجابة في المواقع لا تتوقف فقط على التنبيه الذكي؛ بل تصطدم في الواقع ببيروقراطية توفير قطع الغيار أو نقص الكوادر المؤهلة للتعامل مع الأعطال المعقدة فور ظهورها على الشاشات.

تساوت نسبة المؤيدين (أوافق) مع المعارضين (لا أوافق) عند 17% لكل منهما. هذا التعادل الإحصائي يعزز فرضية وجود تباين في البنية التحتية بين المرافق؛ فالمنشآت التي تمتلك أنظمة متكاملة تشعر بالفارق، بينما تظل الاستجابة بطيئة في المرافق التي تفتقر للربط الشبكي. استقرت الفئة المحايدة عند أدنى مستوياتها بنسبة 9.2%. الرؤية هنا ليست رمادية؛ فالأرقام تقول إن

التكنولوجيا توفر البيانات، لكنها لا تضمن سرعة "الفعل" إذالم تكن العمليات اللوجستية مرنة بما يكفي. هذا التعثر في سرعة الرد قد يؤدي إلى تفاقم الأثر التشغيلي للعطل رغم اكتشافه المبكر.

تسهم أدوات تحليل البيانات الذكية في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
34.3	34.3	34.3	93	أوافق بشدة	Valid
56.8	22.5	22.5	61	لا أوافق بشدة	
73.8	17.0	17.0	46	لا أوافق	
90.8	17.0	17.0	46	أوافق	
100.0	9.2	9.2	25	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 10 : التحليل الإحصائي لإسهام أدوات تحليل البيانات الذكية في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال.



شكل توضيحي 7: التمثيل البياني لإسهام أدوات تحليل البيانات الذكية في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال.

• يدعم الذكاء الاصطناعي اتخاذ قرارات صيانة مبنية على بيانات دقيقة وفورية.

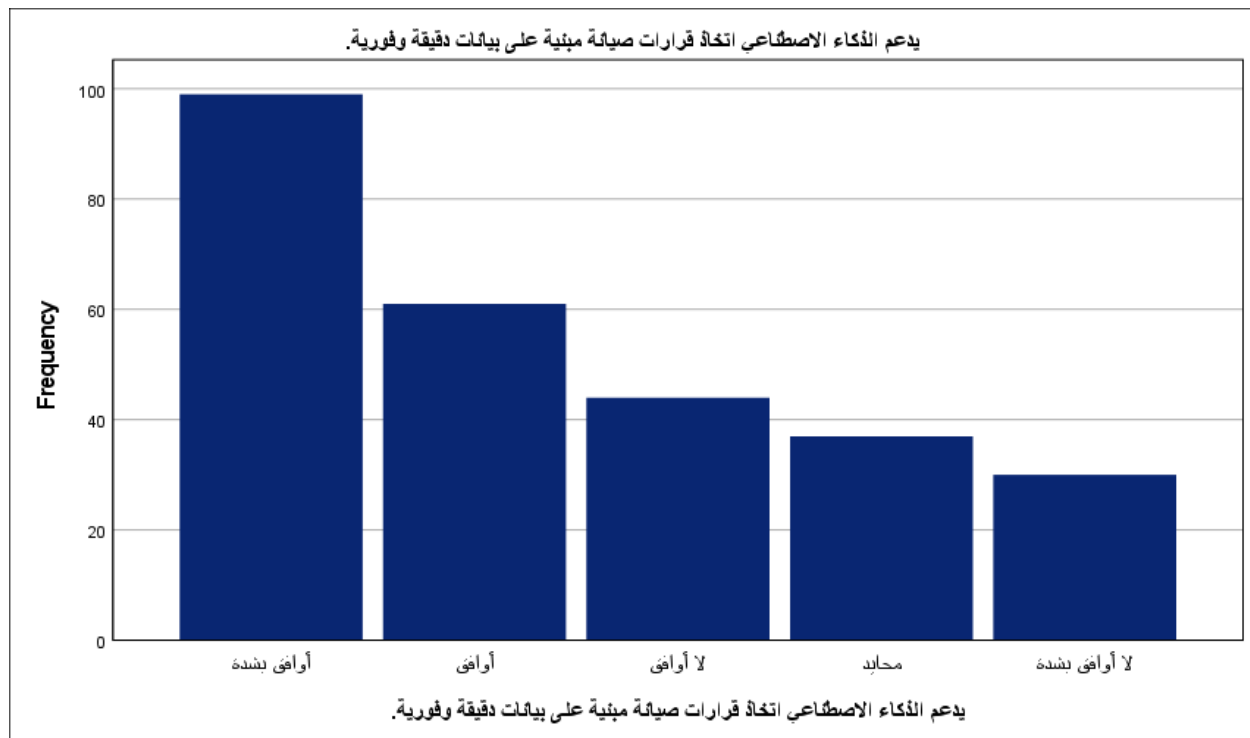
حقق خيار "أوافق بشدة" أعلى تكرار بـ 99 استجابة ونسبة 36.5%؛ النتيجة تؤكد ثقة العينة في جودة المخرجات الرقمية. يرتفع إجمالي التأييد عند دمج فئتي الموافقة إلى 59%. البيانات الفورية هي المحرك الأساسي هنا. يرى أغلب المستجيبين أن القرار الفني لم يعد رهينة للتقدير الشخصي المحض. التكنولوجيا تمنح المدير دقة تتجاوز الحدس البشري. الاعتماد على الأرقام يقلل من هامش الخطأ التشغيلي؛ فالذكاء الاصطناعي يحلل آلاف المتغيرات في ثوانٍ. هذا الانضباط المعلوماتي يعزز من كفاءة إدارة المرافق الصناعية.

وفي وجود 27.3% من العينة في معسكر المعارضة (لا أوافق ولا أوافق بشدة). هذه الشريحة تشكك في دقة البيانات أو حداثتها. التباين في الآراء يعود غالباً إلى ضعف الربط بين الحساسات الميدانية وأنظمة التحليل؛ فالبيانات غير الدقيقة تؤدي حتماً إلى قرارات صيانة مشوهة. استقرت نسبة المحايد عند 13.7%. يبدو أن القبول الكامل مشروط بجودة "المدخلات". النتيجة

قوية لصالح التكنولوجيا؛ لكنها تضع شرطاً تقنياً صارماً للتطبيق الناجح. غياب الدقة اللحظية قد يعصف بجدوى النظام بالكامل داخل المواقع.

يدعم الذكاء الاصطناعي اتخاذ قرارات صيانة مبنية على بيانات دقيقة وفورية.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
36.5	36.5	36.5	99	أوافق بشدة	Valid
59.0	22.5	22.5	61	أوافق	
75.3	16.2	16.2	44	لا أوافق	
88.9	13.7	13.7	37	محايد	
100.0	11.1	11.1	30	لا أوافق بشدة	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 11 : التحليل الإحصائي لدعم الذكاء الاصطناعي اتخاذ قرارات صيانة مبنية على بيانات دقيقة وفورية.



شكل توضيحي 8: التمثيل البياني لمدى دعم الذكاء الاصطناعي لاتخاذ قرارات صيانة مبنية على بيانات دقيقة وفورية.

• يساهم استخدام الخوارزميات التنبؤية في تقليل تكاليف الصيانة التصحيحية.

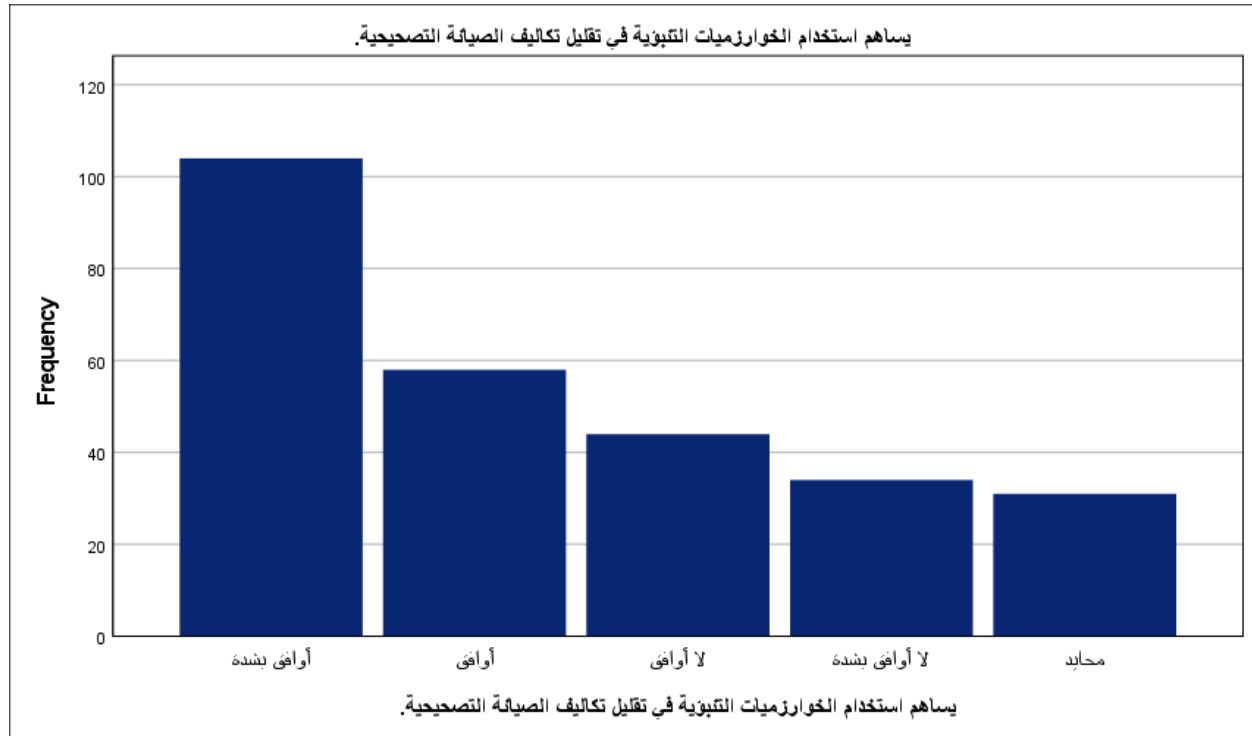
سجلت استجابة "أوافق بشدة" أعلى نسبة بوزن 38.4%؛ فالقناعة راسخة لدى 104 مشاركين بأن الخوارزميات التنبؤية هي المفتاح لتقليل نفقات الصيانة التصحيحية. يرتفع إجمالي التأييد عند دمج فئتي الموافقة ليصل إلى 59.8%. النتيجة تعكس إدراكاً اقتصادياً ناضجاً. الصيانة التصحيحية (التي تلي وقوع العطل) هي الأعلى تكلفة دائماً. التكنولوجيا تمنح الإدارة فرصة استبدال القطع قبل دمارها الشامل. هذا التحول من "رد الفعل" إلى "الاستباق" يوفر مبالغ طائلة كانت تضيع في الإصلاحات الطارئة وقطع الغيار باهظة الثمن؛ فضلاً عن تجنب خسائر تعطل خطوط الإنتاج.

على النقيض تماماً، أظهر 28.7% من المشاركين رفضاً واضحاً لهذه الفرضية. هؤلاء المستجيبون (بين لا أوافق ولا أوافق بشدة) ربما يقارنون بين وفر التكاليف المرجو وبين التكاليف التشغيلية العالية لتشغيل أنظمة الذكاء الاصطناعي نفسها. شراء الحساسات المتطورة وتوظيف المبرمجين وصيانة النظام الرقمي يتطلب ميزانيات ضخمة. استقرت الفئة المحايدة عند 11.4%.

الانقسام هنا منطقي؛ فالعائد على الاستثمار في الذكاء الاصطناعي لا يظهر فوراً في كافة المرافق الصناعية. نجاح الخوارزميات في خفض التكاليف مرهون بقدرة الإدارة على تحويل التنبيه التقني إلى إجراء ميكانيكي سريع وفعال.

يساهم استخدام الخوارزميات التنبؤية في تقليل تكاليف الصيانة التصحيحية.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
38.4	38.4	38.4	104	أوافق بشدة	Valid
59.8	21.4	21.4	58	أوافق	
76.0	16.2	16.2	44	لا أوافق	
88.6	12.5	12.5	34	لا أوافق بشدة	
100.0	11.4	11.4	31	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 12: التحليل الإحصائي لمساهمة استخدام الخوارزميات التنبؤية في تقليل تكاليف الصيانة التصحيحية.



شكل توضيحي 9: التمثيل البياني لمساهمة استخدام الخوارزميات التنبؤية في تقليل تكاليف الصيانة التصحيحية.

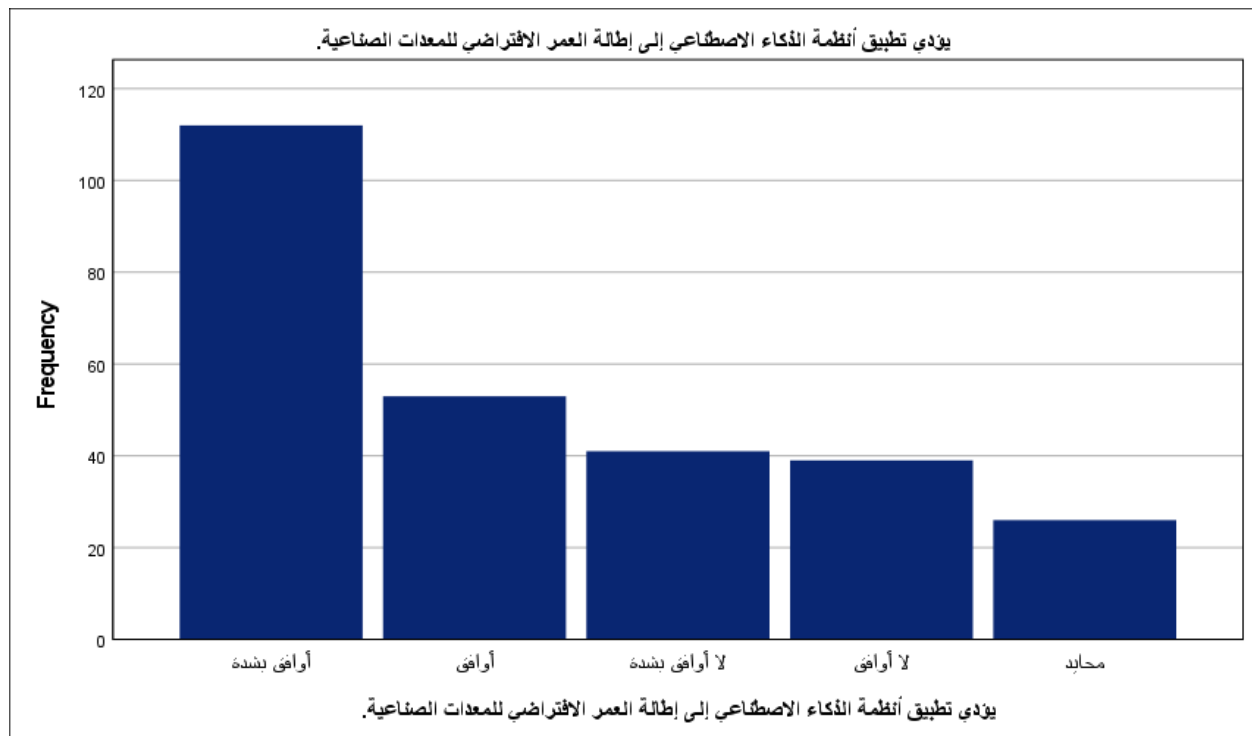
- يؤدي تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات الصناعية.

صعد خيار "أوافق بشدة" إلى القمة بنسبة 41.3%؛ هذه الكتلة التصويتية (112 مشاركاً) تعي تماماً الارتباط الوثيق بين الرقمنة وديمومة الأصول. النتيجة قوية وقوية. مجموع المؤيدين تجاوز 60%. الاستثمار في الذكاء الاصطناعي لا يتوقف عند الإصلاح؛ بل يمتد للحفاظ على الحالة الفنية للمعدات لأطول فترة ممكنة. تلافي الضغوط التشغيلية المفرطة يحمي المكونات الميكانيكية من التهالك المبكر. هذه القناعة تترجم رغبة المؤسسات في تعظيم العائد من أصولها الرأسمالية.

برز انقسام واضح في معسكر الراضين؛ حيث بلغت نسبة المعارضة الإجمالية 29.5%. اختار 41 مشاركاً "لا أوافق بشدة"؛ وهو ما يعكس تشككاً في قدرة الخوارزميات على مواجهة تقادم المعدات الطبيعي. قد يرى هؤلاء أن التكنولوجيا مجرد أداة مراقبة لا تمنع تآكل المكونات فعلياً. انخفضت نسبة الحياد إلى 9.6% فقط. الإجابات تميل بشدة نحو الجدوى التشغيلية. غياب التردد في العينة يشير إلى أن النقاش داخل القطاع الصناعي انتقل من "هل يفيد الذكاء الاصطناعي؟" إلى "كيف نضمن استمرارية كفاءة الآلة من خلاله؟".

يؤدي تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات الصناعية.					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent	
Valid	أوافق بشدة	41.3	41.3	41.3	112
	أوافق	19.6	19.6	60.9	53
	لا أوافق بشدة	15.1	15.1	76.0	41
	لا أوافق	14.4	14.4	90.4	39
	محايد	9.6	9.6	100.0	26
	Total	100.0	100.0		271

جدول 13 : التحليل الإحصائي لأداء تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات الصناعية.



شكل توضيحي 10 : التمثيل البياني لأداء تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات الصناعية.

• يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية في أعمال الصيانة.

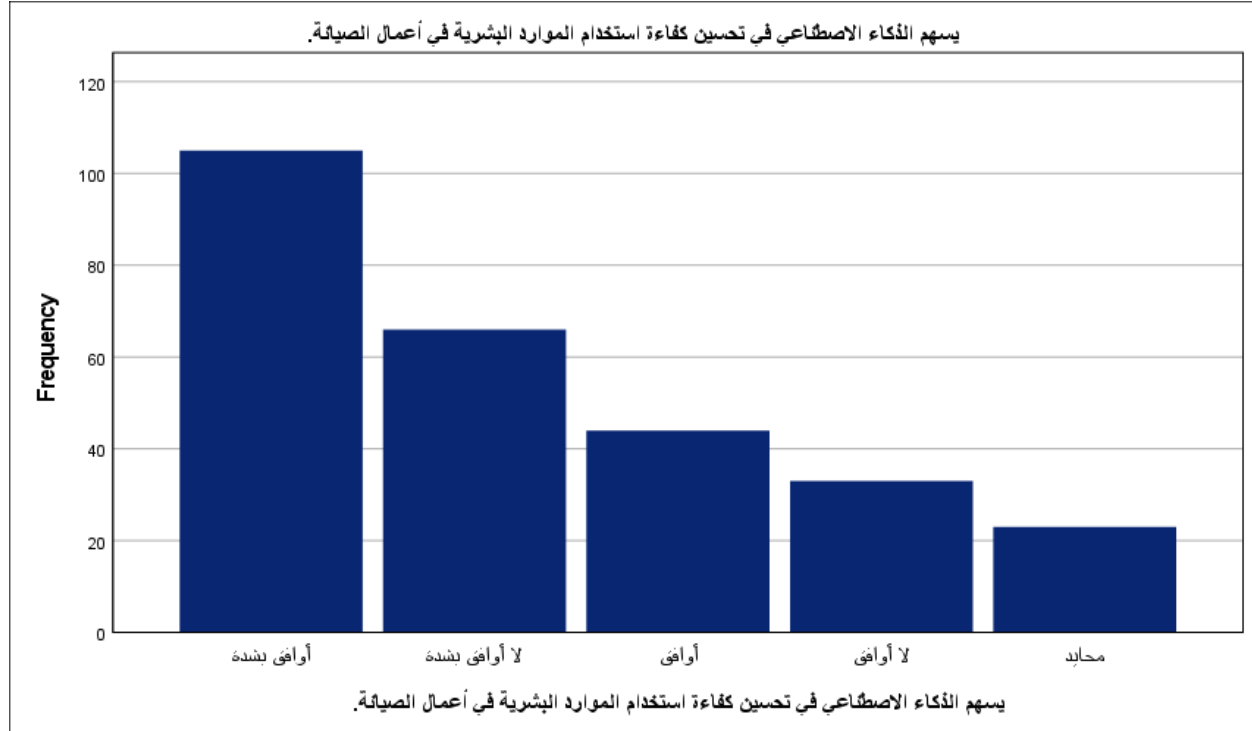
يكشف التباين في الآراء عن وجود انقسام جوهري حول دور التكنولوجيا في إدارة العنصر البشري؛ فبينما حصد خيار "أوافق بشدة" المركز الأول بنسبة 38.7% بواقع 105 مشاركين، قفز خيار "لا أوافق بشدة" ليحتل المركز الثاني بنسبة 24.4%. النتيجة تعكس استقطاباً شديداً. يعتقد المؤيدون أن الأتمتة والذكاء الاصطناعي يحرران الفنيين من المهام الروتينية ويوجهان جهودهم نحو إصلاحات أكثر تعقيداً وأهمية. هذا التوجه يرفع الإنتاجية الفردية ويقلل من هدر الوقت في عمليات الفحص اليدوي التقليدية. في المقابل، يرى قرابة ربع العينة أن هذه الأنظمة قد لا تحقق الكفاءة المرجوة؛ وربما يعود ذلك إلى تعقيد التعامل مع الواجهات البرمجية الجديدة التي قد تستنزف وقتاً إضافياً في التدريب والمتابعة بدلاً من توفيره.

تراجعت نسبة الحياد إلى أدنى مستوياتها في الدراسة مسجلة 8.5% فقط. المستجيبون لديهم مواقف قوية؛ إما بالثقة المطلقة في قدرة النظام على تنظيم الورديات وتوزيع المهام، أو بالتخوف من فشل التقنية في استيعاب المتغيرات البشرية الميدانية. انحصرت نسبة الموافقة العادية عند 16.2%؛ بينما بلغت نسبة "لا أوافق" 12.2%. هذا التشتت في الإجابات يشير إلى أن نجاح الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الأفراد مرتبط بشكل وثيق بمدى نضج الثقافة الرقمية داخل المرفق الصناعي. غياب التوافق يعني أن التأثير على الموارد البشرية ليس تلقائياً؛ بل يعتمد على جودة التكامل بين ذكاء الآلة ومهارة الإنسان على أرض الواقع.

يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية في أعمال الصيانة.					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent	
أوافق بشدة	105	38.7	38.7	38.7	Valid
لا أوافق بشدة	66	24.4	24.4	63.1	
أوافق	44	16.2	16.2	79.3	
لا أوافق	33	12.2	12.2	91.5	
محايد	23	8.5	8.5	100.0	

	100.0	100.0	271	Total	
--	-------	-------	-----	-------	--

جدول 14: التحليل الإحصائي لإسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية في أعمال الصيانة.



شكل توضيحي 11: التمثيل البياني لإسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية في أعمال الصيانة.

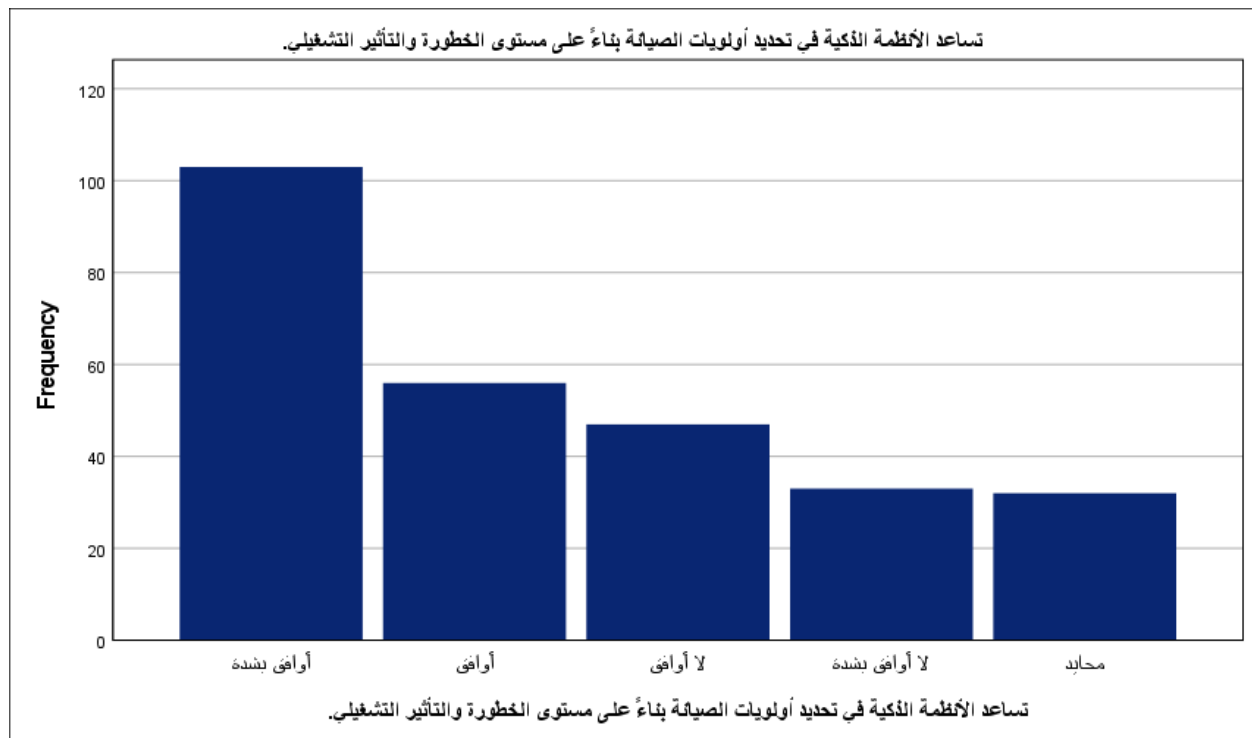
• تساعد الأنظمة الذكية في تحديد أولويات الصيانة بناءً على مستوى الخطورة والتأثير التشغيلي.

مالئت كفاءة الاستجابات بوضوح نحو التأييد؛ حيث اختار 38% من المشاركين فئة "أوافق بشدة" بإجمالي 103 تكرارات. النتيجة تعكس إدراكاً حيوياً لجوهر الإدارة الرشيدة. يرى أغلب المستجيبين أن الذكاء الاصطناعي يتجاوز مجرد رصد العطل إلى ترتيب التدخلات الفنية حسب حرجية المعدة. وافق 20.7% من العينة أيضاً على هذا الدور؛ ليرتفع إجمالي القناعة بقدرة الأنظمة على فرز الأولويات إلى 58.7%. التوجه منطقي تماماً. تحديد الأولويات يضمن عدم هدر موارد القسم في أعطال ثانوية بينما تواجه الماكينات الرئيسية خطر التوقف. هذه الممارسة تحمي تدفق الإنتاج من الارتباك الناتج عن سوء التقدير البشري للخطورة اللحظية.

ظهر تباين ملموس في وجهات النظر المعارضة؛ إذ بلغت نسبة الرافضين إجمالاً 29.5%. توزع هؤلاء بين "لا أوافق" بنسبة 17.3% و"لا أوافق بشدة" بنسبة 12.2%. هذا التحفظ قد يشير إلى معضلة تقنية؛ فالآلة قد لا تدرك دائماً "السياق" المحيط بالعتل والذي يفهمه الفني الخبير. استقرت نسبة المحايدون عند 11.8%. يبدو أن الفجوة في الثقة تنبع من الخوف من الاعتماد الكلي على خوارزمية قد تغفل متغيراً بيئياً أو بشرياً يغير من ترتيب الأولويات ميدانياً. استمرار هذا النقص في الإجماع قد يؤدي إلى صراعات بين توصيات النظام وبين رؤية المهندسين المسؤولين عن المواقع الصناعية.

تساعد الأنظمة الذكية في تحديد أولويات الصيانة بناءً على مستوى الخطورة والتأثير التشغيلي.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
38.0	38.0	38.0	103	أوافق بشدة	Valid
58.7	20.7	20.7	56	أوافق	
76.0	17.3	17.3	47	لا أوافق	
88.2	12.2	12.2	33	لا أوافق بشدة	
100.0	11.8	11.8	32	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 15: التحليل الإحصائي لمساعدة الأنظمة الذكية في تحديد أولويات الصيانة بناءً على مستوى الخطورة والتأثير التشغيلي.



شكل توضيحي 12: التمثيل البياني لمساعدة الأنظمة الذكية في تحديد أولويات الصيانة بناءً على مستوى الخطورة والتأثير التشغيلي.

- يسهم استخدام تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة أداء المعدات بشكل مستمر.

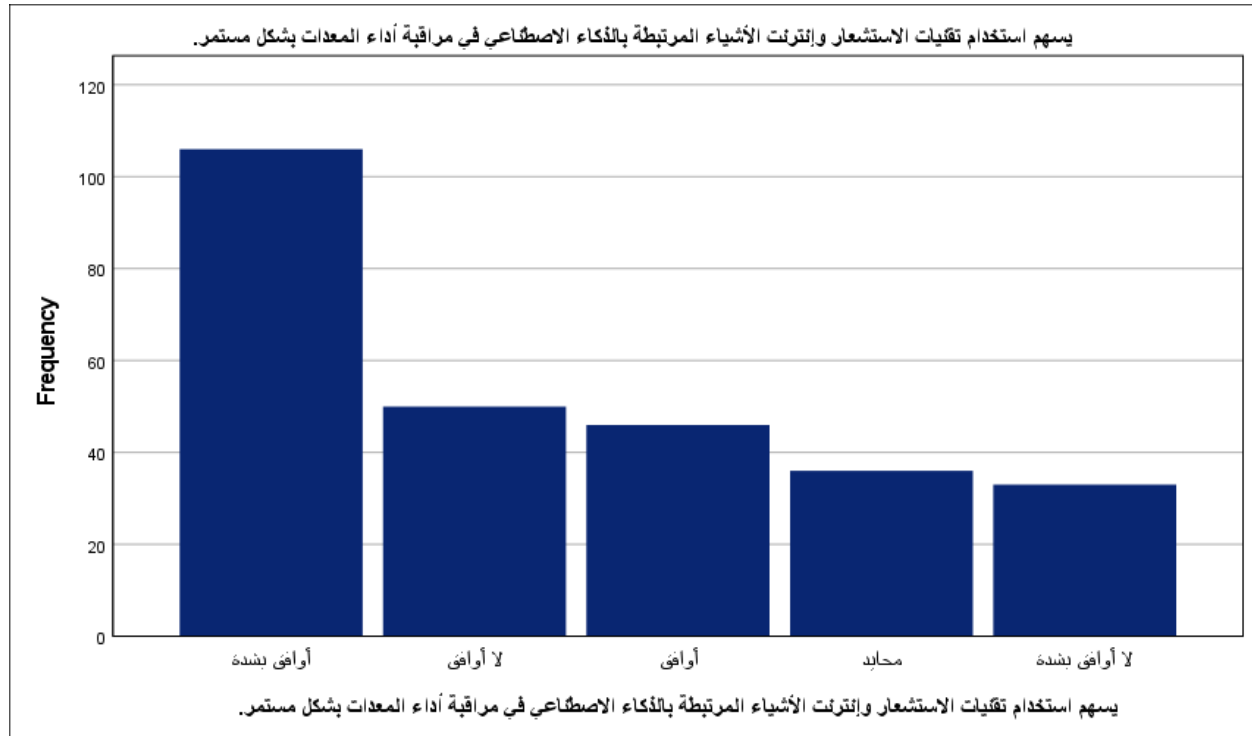
حقق خيار "أوافق بشدة" الصدارة بنسبة 39.1%؛ ما يعكس قناعة 106 مشاركين بأن التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي هو المحرك الفعلي للمراقبة اللحظية. النتيجة منطقية من الناحية التشغيلية. الاستشعار المستمر ينهي عصر "الصيانة بالصدفة" أو الفحص اليدوي الدوري الذي قد يغفل مؤشرات التآكل غير المرئية. يرتفع إجمالي التأييد عند دمج فئتي الموافقة إلى 56.1%. يدرك المستجيبون أن تدفق البيانات من المعدة إلى النظام مباشرة يقلل من التدخل البشري في رصد المتغيرات. هذا الربط الرقمي يحيي الأصول من الإجهاد المفاجئ ويضمن بقاءها ضمن حدود الأداء الآمنة طوال ساعات التشغيل.

ظهر انقسام في جبهة المعارضة؛ حيث جاء خيار "لا أوافق" في المركز الثاني بنسبة 18.5%. بلغت نسبة الرفض الإجمالية (لا أوافق ولا أوافق بشدة) حوالي 30.7%. قد يعود هذا التحفظ إلى مشكلات تقنية تتعلق باستقرار شبكات الاتصال داخل

المصانع أو تعطل الحساسات في البيئات القاسية ذات الحرارة العالية والأتربة. استقرت فئة المحايد عند 13.3%. يبدو أن الفجوة في القبول نابعة من تجارب واقعية اصطدمت فيها التكنولوجيا بصعوبات الصيانة الخاصة بأجهزة الاستشعار ذاتها. غياب الثقة لدى قرابة ثلث العينة يعني أن الاعتماد الكلي على المراقبة الآلية لا يزال يواجه تحديات ميدانية تتعلق بدقة الأجهزة ومقاومتها لظروف العمل الصعبة.

يسهم استخدام تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة أداء المعدات بشكل مستمر.					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent	
أوافق بشدة	106	39.1	39.1	39.1	Valid
لا أوافق	50	18.5	18.5	57.6	
أوافق	46	17.0	17.0	74.5	
محايد	36	13.3	13.3	87.8	
لا أوافق بشدة	33	12.2	12.2	100.0	
Total	271	100.0	100.0		

جدول 16: التحليل الإحصائي لإسهام استخدام تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة أداء المعدات بشكل مستمر.



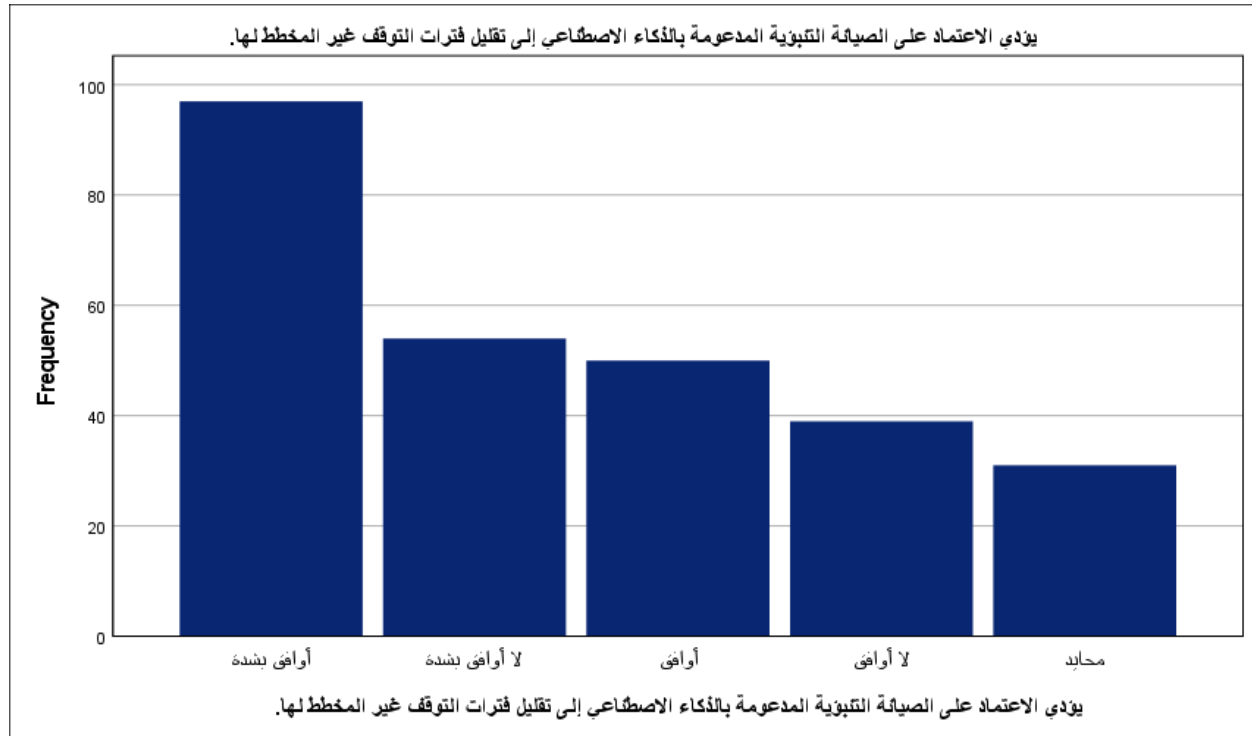
شكل توضيحي 13: التمثيل البياني لإسهام استخدام تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة أداء المعدات بشكل مستمر.

- يؤدي الاعتماد على الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.
- سجلت الفئة المحايدة أدنى مستويات الاستجابة بنسبة 11.4% فقط؛ ما يعني أن الغالبية العظمى من المشاركين لديهم رؤية قطعية تجاه دور الصيانة التنبؤية في تقليص فترات التوقف. النتيجة تميل نحو الإيجابية. تصدر خيار "أوافق بشدة" التكرارات بـ 97 استجابة ونسبة 35.8%؛ يضاف إليها 18.5% ممن اختاروا "أوافق". هذا التوجه يؤكد أن السيطرة على التوقفات الفجائية هي الميزة الأكثر جاذبية للذكاء الاصطناعي في الأوساط الصناعية. تقليل التوقف غير المخطط له يعني حماية خطوط الإنتاج من الشلل التشغيلي؛ وهو الهدف الأسى لأي مهندس صيانة يسعى لرفع الكفاءة الكلية للمعدات.
- وفي معسكر الرفض؛ إذ حل خيار "لا أوافق بشدة" ثانياً بنسبة 19.9%. النتيجة تظهر انقساماً تقنياً. يرى قرابة خمس العينة أن التكنولوجيا قد لا تمنع التوقفات بالقدر المأمول. ربما يعود ذلك إلى تعقيد بعض الأعطال الميكانيكية التي لا تعطي إشارات تحذيرية رقمية واضحة قبل وقوعها. بلغت نسبة "لا أوافق" 14.4%. هذا التشتت يشير إلى أن فاعلية التنبؤ تصطدم أحياناً

بواقع المعدات القديمة أو غياب التكامل بين النظام والواقع الميداني. الثقة في النتائج قوية إجمالاً؛ لكنها تظل محاطة بحذر ناتج عن تحديات التطبيق الفعلي في بيئات العمل المعقدة.

يؤدي الاعتماد على الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
35.8	35.8	35.8	97	أوافق بشدة	Valid
55.7	19.9	19.9	54	لا أوافق بشدة	
74.2	18.5	18.5	50	أوافق	
88.6	14.4	14.4	39	لا أوافق	
100.0	11.4	11.4	31	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 17: التحليل الإحصائي لأداء الاعتماد على الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.



شكل توضيحي 14: التمثيل البياني لأداء الاعتماد على الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.

• توفر أنظمة الذكاء الاصطناعي تقارير تحليلية تساهم في تحسين الأداء التشغيلي العام.

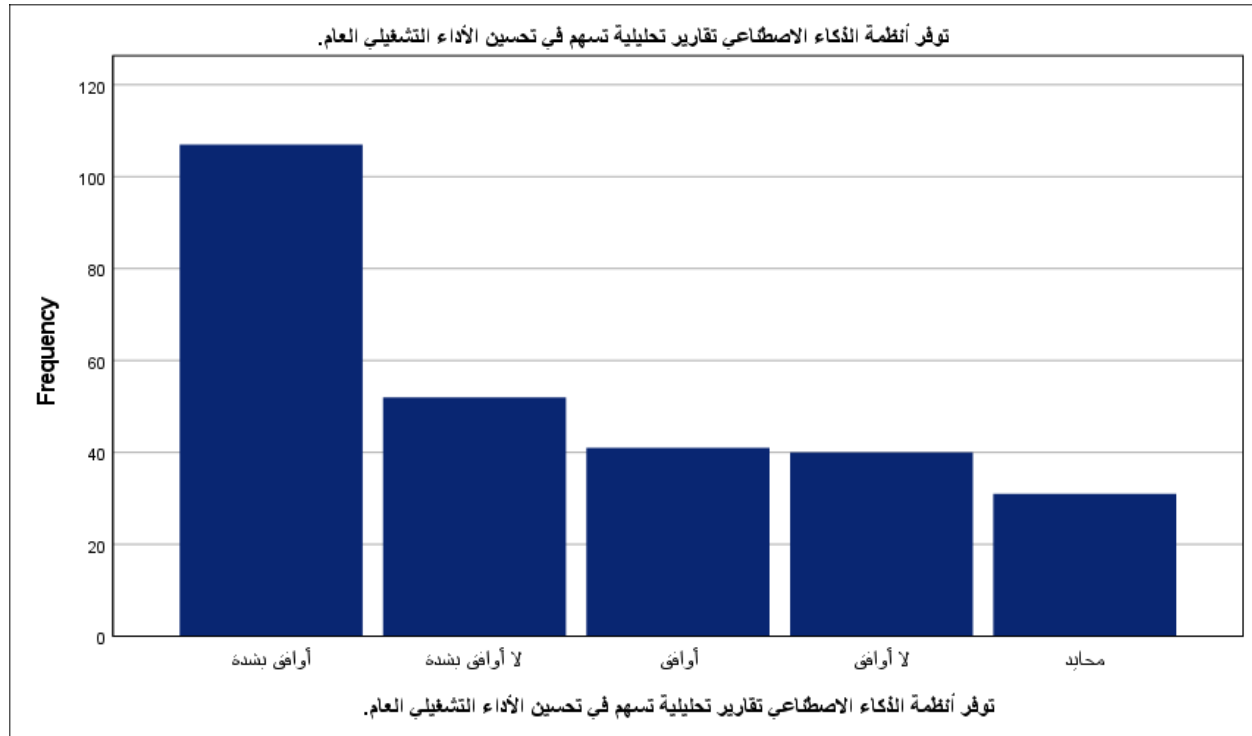
يظهر جلياً اتساع الفجوة بين الفئات التي تلمس قيمة التقارير الذكية وتلك التي تشكك في فاعليتها؛ حيث انقسمت العينة بين تأييد صريح ومعارضة. استحوذ خيار "أوافق بشدة" على المركز الأول بنسبة 39.5% بواقع 107 مشاركين. تعكس هذه القناة إدراكاً بأهمية البيانات المحللة في دعم استدامة العمليات. يضيف إليها 15.1% ممن اختاروا "أوافق"، ليتجاوز معسكر التأييد حاجز نصف العينة. النتيجة تعني أن التقارير الآلية لم تعد مجرد ترف تقيني؛ بل تحولت إلى أداة لضبط الهدر التشغيلي وتوجيه الموارد نحو الأصول الأكثر حرجاً.

وأما حلول خيار "لا أوافق بشدة" ثانياً بنسبة 19.2%. هذا الرقم، مع إضافة نسبة "لا أوافق" البالغة 14.8%، يشير إلى أن ثلث العينة تقريباً لا يجد انعكاساً ملموساً لهذه التقارير على أرض الواقع. قد يرجع ذلك إلى تعقيد صياغة التقارير أو عدم مواءمتها لاحتياجات الفنيين في المواقع الصناعية. استقرت نسبة المحايدين عند 11.4%. يبدو أن هناك نقصاً في الربط بين المخرجات

الرقمية وبين القرارات الإدارية الفعلية. هذا الخلل قد يحرم الإدارة من رؤى استراتيجية قادرة على رفع كفاءة المرفق بالكامل؛ فالعبرة ليست بصدور التقرير، بل بقدرته على إحداث تغيير حقيقي في مسار التشغيل اليومي.

توفر أنظمة الذكاء الاصطناعي تقارير تحليلية تسهم في تحسين الأداء التشغيلي العام.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
39.5	39.5	39.5	107	أوافق بشدة	Valid
58.7	19.2	19.2	52	لا أوافق بشدة	
73.8	15.1	15.1	41	أوافق	
88.6	14.8	14.8	40	لا أوافق	
100.0	11.4	11.4	31	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 18 : التحليل الإحصائي لتوفير أنظمة الذكاء الاصطناعي تقارير تحليلية تسهم في تحسين الأداء التشغيلي العام.



شكل توضيحي 15: التمثيل البياني لتوفير أنظمة الذكاء الاصطناعي تقارير تحليلية تسهم في تحسين الأداء التشغيلي العام.

• يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين مستوى السلامة في بيئة العمل الصناعية.

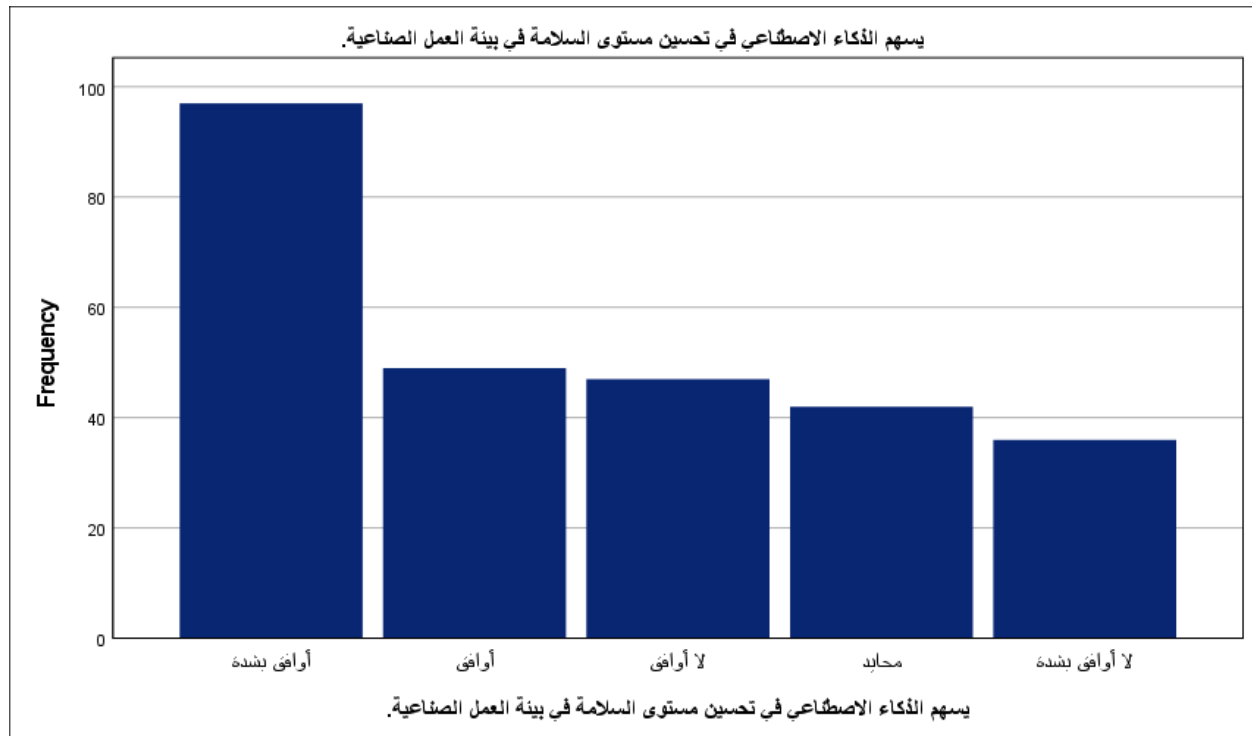
تتباعد الرؤى بشكل ملموس حول الدور الوقائي للذكاء الاصطناعي في حماية العنصر البشري؛ إذ تشتت إجابات العينة بين التأييد القوي والحياد الحذر. حصد خيار "أوافق بشدة" المركز الأول بنسبة 35.8% بواقع 97 مشاركاً. النتيجة منطقية. يرى هؤلاء أن التنبؤ بالأعطال يمنع وقوع الحوادث الناجمة عن الانفجارات المفاجئة أو انهيار المعدات. وافق 18.1% من العينة أيضاً على هذا الدور؛ ليرتفع إجمالي القناعة بمساهمة التقنية في السلامة إلى 53.9%. التوجه الإيجابي يعكس وعياً بأن الرقابة الرقمية تقلل من اضطراب الفنيين للتعامل مع الماكينات في ظروف تشغيل خطرة أو غير مستقرة.

وفي ارتفاع نسبة المحايد والرافضين معاً؛ إذ بلغت نسبة الحياد 15.5%، بينما عارض العبارة 30.6% من المستجيبين (توزعوا بين "لا أوافق" 17.3% و"لا أوافق بشدة" 13.3%). هذا التحفظ يطرح تساؤلاً جوهرياً. قد يرى هؤلاء أن الاعتماد المفرط على الأنظمة الذكية قد يولد ثقة زائفة، أو أن مخاطر الصيانة التقليدية تظل قائمة طالما وجد تدخل بشري ميداني. استقرار هذه النسب يشير إلى أن تحسين السلامة عبر الذكاء الاصطناعي لا يزال "فرضية" لم تتحول إلى واقع ملموس في كافة المواقع

الصناعية. هذا النقص في الإجماع قد يؤثر على سرعة تبني بروتوكولات الأمان الرقمية؛ فالعاملون يحتاجون لرؤية نتائج ميدانية تربط بين التنبؤ التقني وخفض معدلات الإصابة فعلياً.

يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين مستوى السلامة في بيئة العمل الصناعية.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
35.8	35.8	35.8	97	أوافق بشدة	Valid
53.9	18.1	18.1	49	أوافق	
71.2	17.3	17.3	47	لا أوافق	
86.7	15.5	15.5	42	محايد	
100.0	13.3	13.3	36	لا أوافق بشدة	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 19 : التحليل الإحصائي لإسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين مستوى السلامة في بيئة العمل الصناعية.



شكل توضيحي 16: التمثيل البياني لإسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين مستوى السلامة في بيئة العمل الصناعية.

• يعزز تطبيق الذكاء الاصطناعي من كفاءة عمليات المتابعة والتقييم لأعمال الصيانة.

نالت استجابة "أوافق بشدة" الحصة الأكبر بنسبة 32.5%؛ إذ يرى 88 مشاركاً أن الذكاء الاصطناعي يمثل محركاً حقيقياً لتطوير آليات المتابعة والتقييم. النتيجة منطقية وتتسق مع طبيعة الأنظمة الرقمية. يرتفع إجمالي التأييد عند دمج فئتي الموافقة ليصل إلى 58%. القناعة هنا نابعة من قدرة الخوارزميات على تقديم سجلات تاريخية دقيقة ومقارنتها بالأداء اللحظي. هذا النوع من الرقابة الآلية يقلل من التحيز البشري في تقييم جودة الصيانة. يوفر النظام بيانات موضوعية حول زمن الإصلاح ومدى نجاح التدخل الفني؛ ما يسمح للإدارة برصد الانحرافات التشغيلية ومعالجتها قبل تفاقمها.

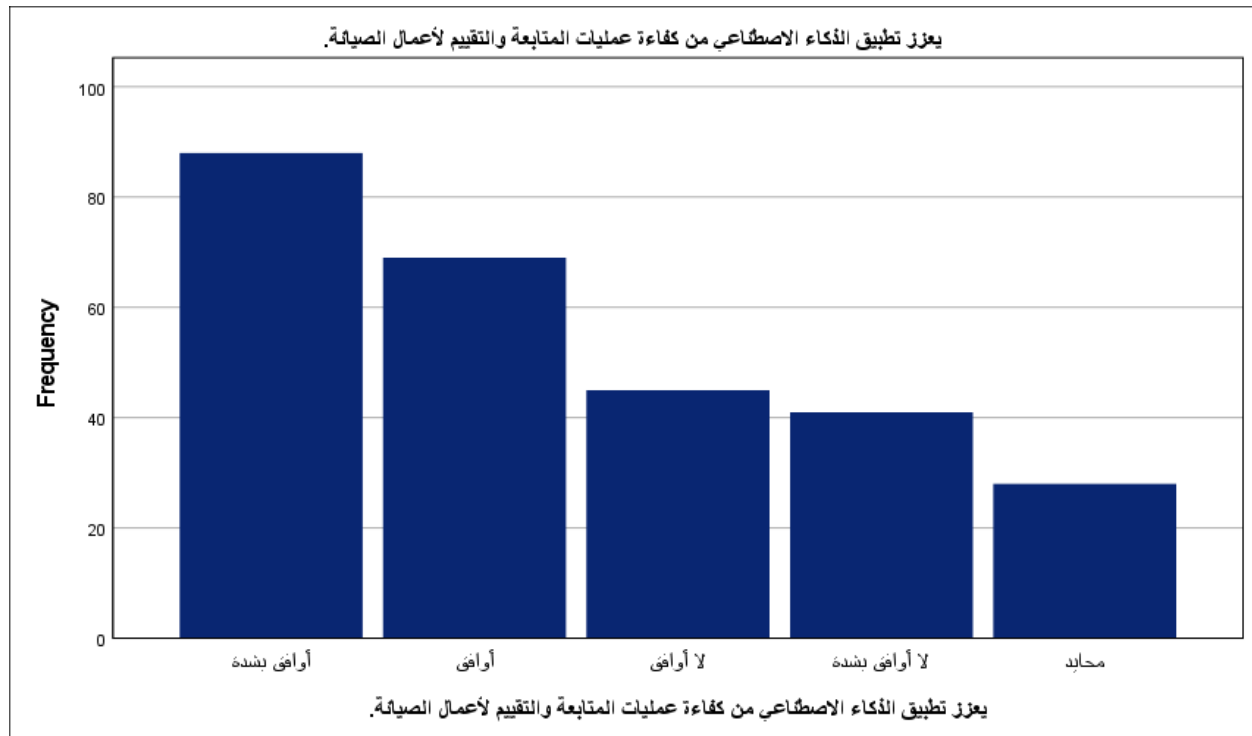
برزت تشكيت ملموس في وجهات النظر المعارضة؛ حيث بلغت نسبة الرافضين إجمالاً 31.7% توزعوا بين "لا أوافق" و "لا أوافق بشدة". هذا التحفظ يشير إلى معضلة في التطبيق الميداني. ربما يرى هؤلاء أن التقييم الرقمي يغفل الجوانب النوعية التي لا تقاس بالأرقام وحدها؛ كمهارة الفني أو الظروف الاستثنائية للموقع. استقرت نسبة المحايدين عند أدنى مستوياتها بواقع

10.3%. المواقف قوية. الفجوة بين المؤيدين والمعارضين تعكس تفاوتاً في نضج أنظمة التقارير المستخدمة: فغياب معايير تقييم

واضحة ومؤتمتة قد يؤدي إلى فقدان السيطرة على جودة المخرجات الفنية رغم وجود التكنولوجيا.

يعزز تطبيق الذكاء الاصطناعي من كفاءة عمليات المتابعة والتقييم لأعمال الصيانة.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
32.5	32.5	32.5	88	أوافق بشدة	Valid
57.9	25.5	25.5	69	أوافق	
74.5	16.6	16.6	45	لا أوافق	
89.7	15.1	15.1	41	لا أوافق بشدة	
100.0	10.3	10.3	28	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 20: التحليل الإحصائي لتعزيز تطبيق الذكاء الاصطناعي من كفاءة عمليات المتابعة والتقييم لأعمال الصيانة.



شكل توضيحي 17: التمثيل البياني لتعزيز تطبيق الذكاء الاصطناعي من كفاءة عمليات المتابعة والتقييم لأعمال الصيانة.

• توجد بنية تحتية تقنية كافية لدعم تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.

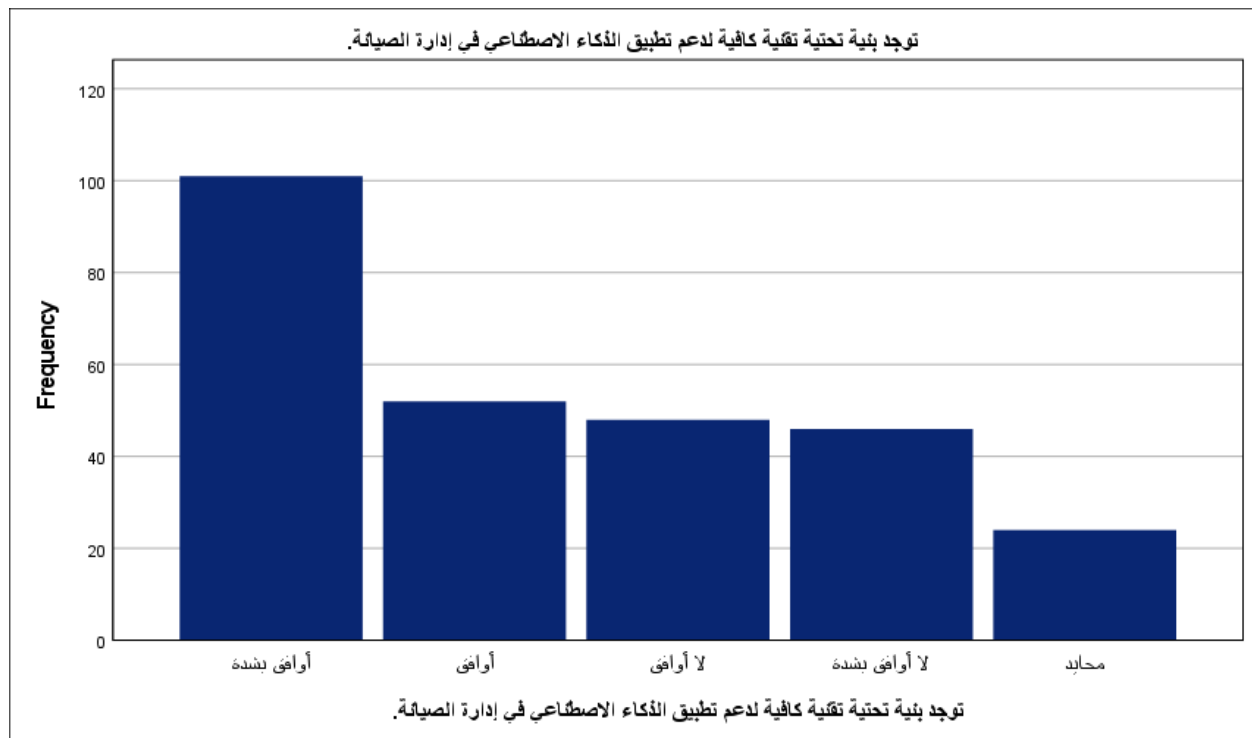
سجلت الفئة المحايدة النسبة الأقل بواقع 8.9% فقط؛ ما يبرهن على أن أغلب المشاركين لديهم وعي قطعي بوضعية التجهيزات التقنية في منشآتهم. حاز خيار "أوافق بشدة" على المركز الأول بنسبة 37.3% بواقع 101 استجابة. النتيجة تشير إلى وجود نواة صلبة من المرافق الصناعية التي قطعت شوطاً في التأسيس الرقمي. يرتفع إجمالي التأييد إلى 56.5% عند إضافة فئة "أوافق". يبدو أن نصف العينة تقريباً يمتلك المقومات الأساسية من شبكات وحساسات وقواعد بيانات تسمح بدمج تطبيقات الذكاء الاصطناعي في دورة الصيانة. هذا التوافر المبدئي يقلل من مخاطر فشل التحول التكنولوجي؛ فالبنية التحتية هي العمود الفقري لأي نظام تنبؤي فعال.

برز انقسام في الجانب المقابل؛ إذ بلغت نسبة الراضين إجمالاً 34.7%، وهي موزعة بشكل شبه متساوٍ بين "لا أوافق" (17.7%) و"لا أوافق بشدة" (17%). الانقسام يعكس تفاوتاً طبقياً بين الشركات الكبرى والمنشآت المتوسطة أو القديمة. يرى ثلث العينة أن العجز في التجهيزات التقنية قد يعطل الاستفادة من الذكاء الاصطناعي. هذا النقص في البنية التحتية لدى شريحة كبيرة

يضع قيوداً تشغيلية واضحة؛ فالنظام الذكي لا يعمل في فراغ. التباين في هذه الأرقام يستوجب إعادة النظر في ميزانيات التطوير التقني؛ فالفجوة الرقمية بين الأقسام قد تؤدي إلى نتائج مضللة عند محاولة تعميم الصيانة التنبؤية في كافة المواقع الصناعية.

توجد بنية تحتية تقنية كافية لدعم تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
37.3	37.3	37.3	101	أوافق بشدة	Valid
56.5	19.2	19.2	52	أوافق	
74.2	17.7	17.7	48	لا أوافق	
91.1	17.0	17.0	46	لا أوافق بشدة	
100.0	8.9	8.9	24	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 21: التحليل الإحصائي لوجود بنية تحتية تقنية كافية لدعم تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.



شكل توضيحي 18: التمثيل البياني لوجود بنية تحتية تقنية كافية لدعم تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.

- يمتلك العاملون المهارات اللازمة للتعامل مع أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.

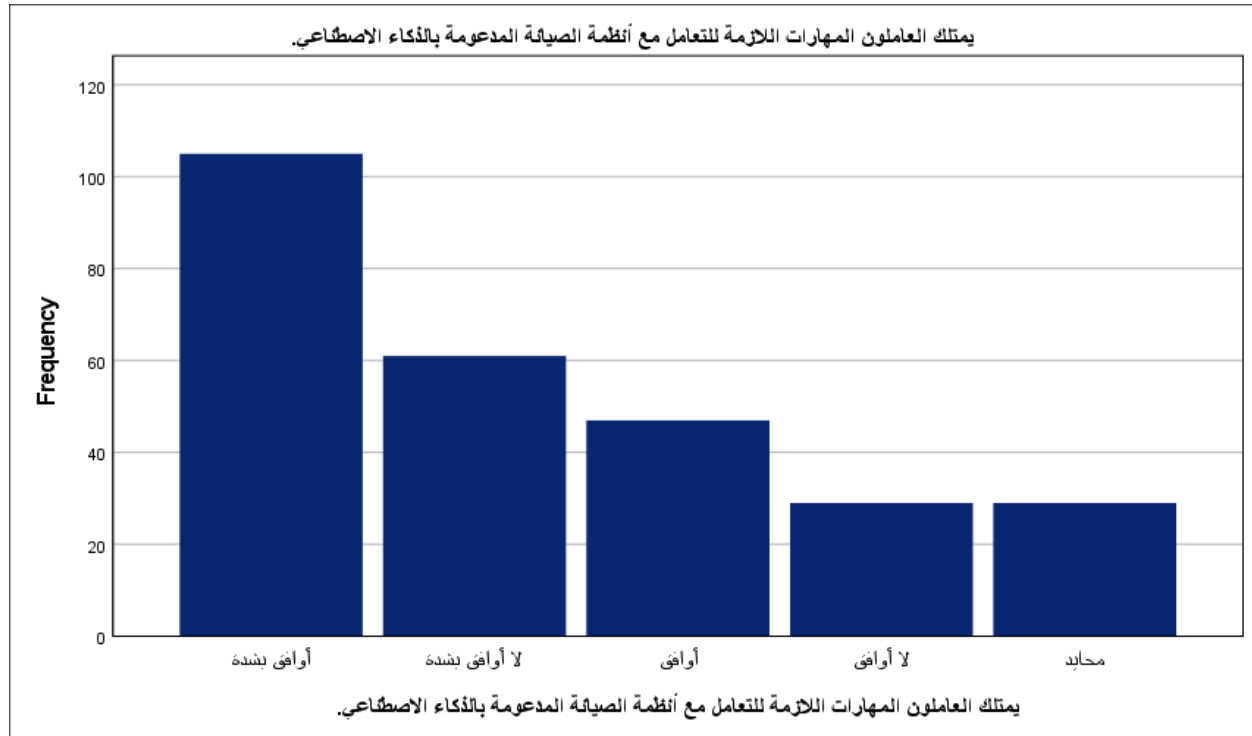
سجل خيار "أوافق بشدة" التكرار الأعلى بـ 105 استجابات ونسبة 38.7%؛ النتيجة تعكس ثقة فئة من المستجيبين في قدراتهم الذاتية. يرى هؤلاء أن الكوادر الحالية مؤهلة تقنياً. ومع ذلك، برز انقسام في الآراء. حل خيار "لا أوافق بشدة" في المركز الثاني بنسبة 22.5%. الفجوة المهارية واضحة هنا. يرتفع إجمالي التأييد إلى 56%؛ لكن تظل نسبة المعارضة (33.2%) مؤشراً مقلماً. المهارة البشرية هي الحلقة الأضعف في سلسلة التحول الرقمي. غياب التدريب المتخصص قد يعطل الاستفادة من الأنظمة الذكية؛ فالبنية التحتية القوية لا تكفي وحدها دون مشغل بارع.

تساوت فئة المحايد مع الراضين (لا أوافق) بنسبة 10.7% لكل منهما. المستجيبون منقسمون بين تفاؤل بقدراتهم وبين واقع ميداني معقد. النجاح في تطبيق الذكاء الاصطناعي يتطلب سد فجوة المعرفة التقنية. التباين الإحصائي يوحي بأن المهارات الحالية تتركز في الجوانب التقليدية؛ بينما تفتقر للقدرة على تفسير البيانات الضخمة التي تنتجها الخوارزميات. هذا النقص

في الكفاءة قد يؤدي إلى سوء التعامل مع الأنظمة التنبؤية. الاستثمار في البشر يجب أن يسبق الاستثمار في البرمجيات؛ فالاستجابة البشرية الخاطئة للتنبيهات التقنية قد تكلف المرفق الصناعي مبالغ طائلة رغم دقة النظام الرقمي.

يمتلك العاملون المهارات اللازمة للتعامل مع أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
38.7	38.7	38.7	105	أوافق بشدة	Valid
61.3	22.5	22.5	61	لا أوافق بشدة	
78.6	17.3	17.3	47	أوافق	
89.3	10.7	10.7	29	لا أوافق	
100.0	10.7	10.7	29	محايد	
	100.0	100.0	271	Total	

جدول 22: التحليل الإحصائي لامتلاك العاملون المهارات اللازمة للتعامل مع أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.



شكل توضيحي 19: التمثيل البياني لامتلاك العاملون المهارات اللازمة للتعامل مع أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.

- يسهم استخدام الذكاء الاصطناعي في رفع مستوى رضا الإدارة العليا عن أداء إدارة الصيانة.

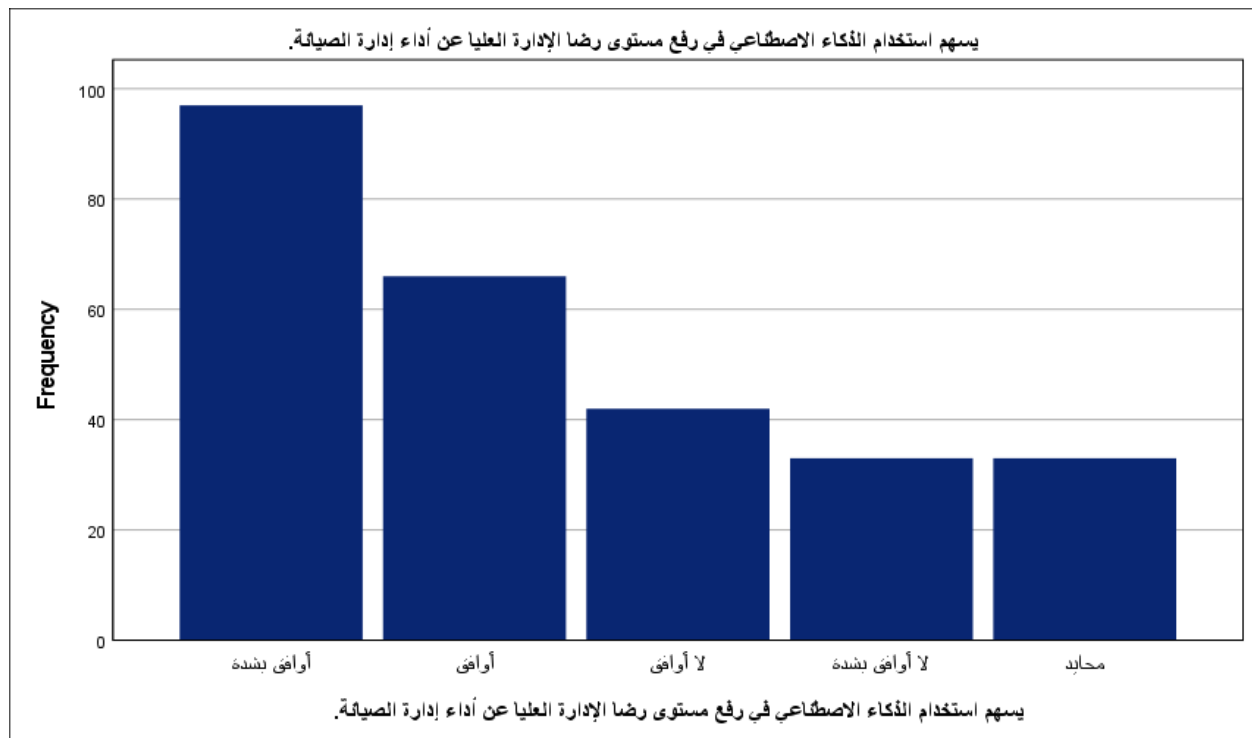
سجل خيار "أوافق بشدة" التكرار الأعلى بـ 97 استجابة ونسبة 35.8%؛ النتيجة تعكس إدراكاً لمدى تأثير النتائج الرقمية على انطباعات القيادة. يرتفع إجمالي التأييد إلى 60.1% عند إضافة فئة "أوافق". الإدارة العليا تعشق لغة الأرقام الموثقة. الذكاء الاصطناعي يوفر هذه اللغة بامتياز. تقليل فترات التوقف وخفض التكاليف يرفع أسهم قطاع الصيانة لدى متخذي القرار. القناعة هنا نابعة من تحول الصيانة من "مركز تكلفة" إلى "شريك في الأرباح". الوضوح الذي تمنحه التقارير الذكية يبدد ضبابية القرارات التقليدية.

برز تباين في وجهات نظر المعارضين والمحايدين؛ إذ توزعت النسب المتبقية بين الرفض بنسبة إجمالية 27.7% والحياد بنسبة 12.2%. النتيجة تظهر حذراً مبرراً. قد يرى هؤلاء أن الإدارة العليا لا تزال تقيس الأداء بالنتائج الميدانية الملموسة لا بالتقارير البرمجية. فجوة التوقعات قد تؤدي إلى تراجع الرضا إذا فشل النظام في تحقيق وفر مالي سريع. تساوت نسبة "لا أوافق بشدة"

مع "محايد" بـ 33 استجابة لكل منهما. يبدو أن كسب ثقة الإدارة يتطلب برهنة عملية تتجاوز مجرد تركيب الأنظمة. نجاح التكنولوجيا يظل رهينة قدرتها على تحسين المؤشرات المالية النهائية للمرفق الصناعي.

يسهم استخدام الذكاء الاصطناعي في رفع مستوى رضا الإدارة العليا عن أداء إدارة الصيانة.					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	35.8	35.8	35.8	97	أوافق بشدة
	60.1	24.4	24.4	66	أوافق
	75.6	15.5	15.5	42	لا أوافق
	87.8	12.2	12.2	33	لا أوافق بشدة
	100.0	12.2	12.2	33	محايد
		100.0	100.0	271	Total

جدول 23: التحليل الإحصائي لإسهام استخدام الذكاء الاصطناعي في رفع مستوى رضا الإدارة العليا عن أداء إدارة الصيانة.



شكل توضيحي 20: التمثيل البياني لإسهام استخدام الذكاء الاصطناعي في رفع مستوى رضا الإدارة العليا عن أداء إدارة الصيانة.

- تحليل الجداول المتقاطعة لمتغيرات الدراسة:
- اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وتقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة

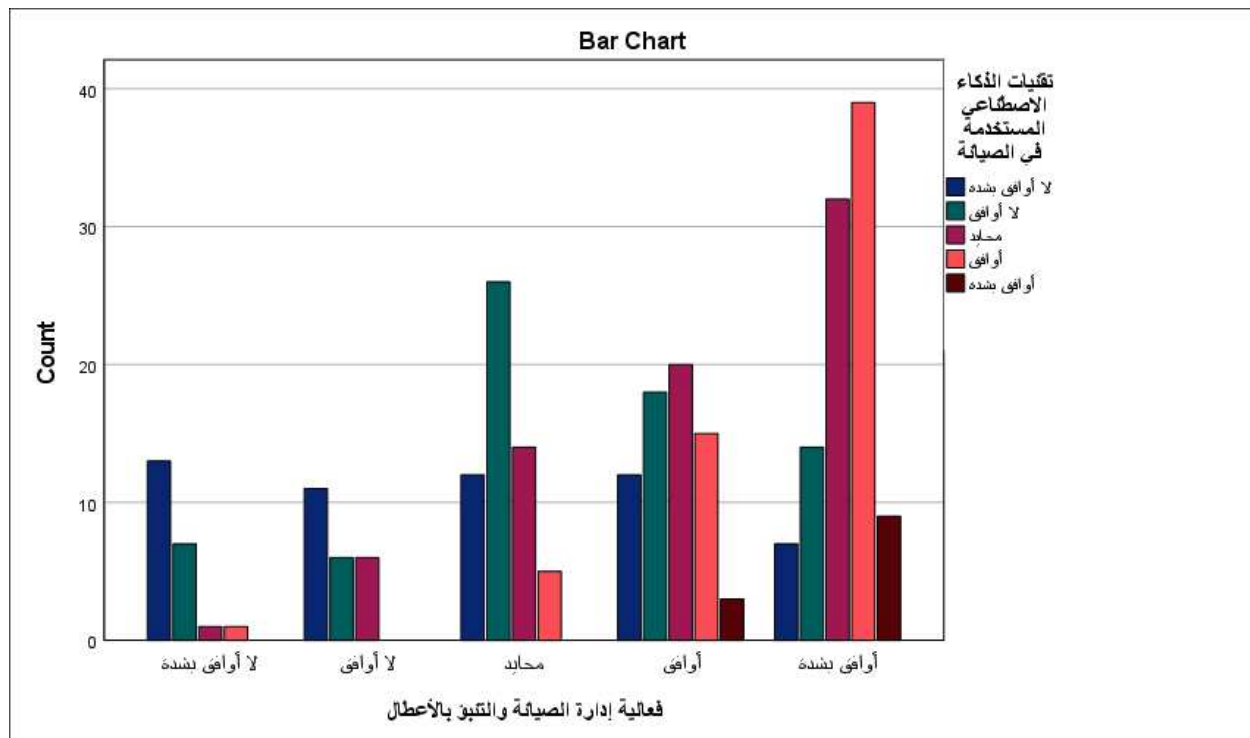
في الصيانة

بلغت القيمة الاحتمالية (Asymptotic Significance) لدرجة 0.000؛ النتيجة تقطع الشك باليقين بوجود علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية بين تقنيات الذكاء الاصطناعي ورفع كفاءة إدارة الصيانة. سجل اختبار "كاي تربيع" لبيرسون (Pearson Chi-Square) قيمة مرتفعة بلغت 87.850 عند درجة حرية 16. هذه القوة في الارتباط تعني أن التحسينات التي طرأت على نظام التنبؤ بالأعطال لم تكن وليدة الصدفة. يبدو أن اعتماد المرافق الصناعية على أدوات الذكاء الاصطناعي أحدث أثراً جوهرياً في بنية العمليات؛ فالتغير في فعالية الصيانة يتبع طردياً التطور في التقنيات المستخدمة. نلاحظ أن الدلالة الإحصائية كانت ثابتة في اختبارات "نسبة الاحتمالية" و"الارتباط الخطي"؛ ما يعزز من متانة هذه العلاقة وواقعيتها داخل بيئة العمل.

تشير الملاحظة الفنية في أسفل الجدول إلى وجود 8 خلايا (32%) تمتلك تكراراً متوقعاً أقل من 5. الرقم يسترعي الانتباه؛ لكنه لا يضعف من جوهر النتيجة نظراً لحجم العينة الإجمالي البالغ 271 حالة. هذا التوزيع داخل الخلايا قد يعكس تركيز استخدام تقنيات محددة دون غيرها في بعض المرافق؛ أو ربما يشير إلى حادثة تطبيق بعض الحلول الذكية التي لم تكتمل قاعدة بياناتها بعد. رغم هذا التباين، تظل العلاقة قوية. إن نجاح النموذج التنبؤي في تقليص فترات التوقف يرتبط هيكلياً بالبنية التقنية المطبقة؛ وهو ما تؤكد قيمة الارتباط الخطي البالغة 69.945. الواقع الصناعي يثبت أن فاعلية الصيانة أصبحت رهينة التمكين التكنولوجي.

Chi-Square Tests			
Asymptotic Significance (2-sided)	df	Value	
.000	16	87.850 ^a	Pearson Chi-Square
.000	16	93.960	Likelihood Ratio
.000	1	69.945	Linear-by-Linear Association
		271	N of Valid Cases
a. 8 cells (32.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .97.			

جدول 24 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وتقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة



شكل توضيحي 21 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وتقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة

• اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وجودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة

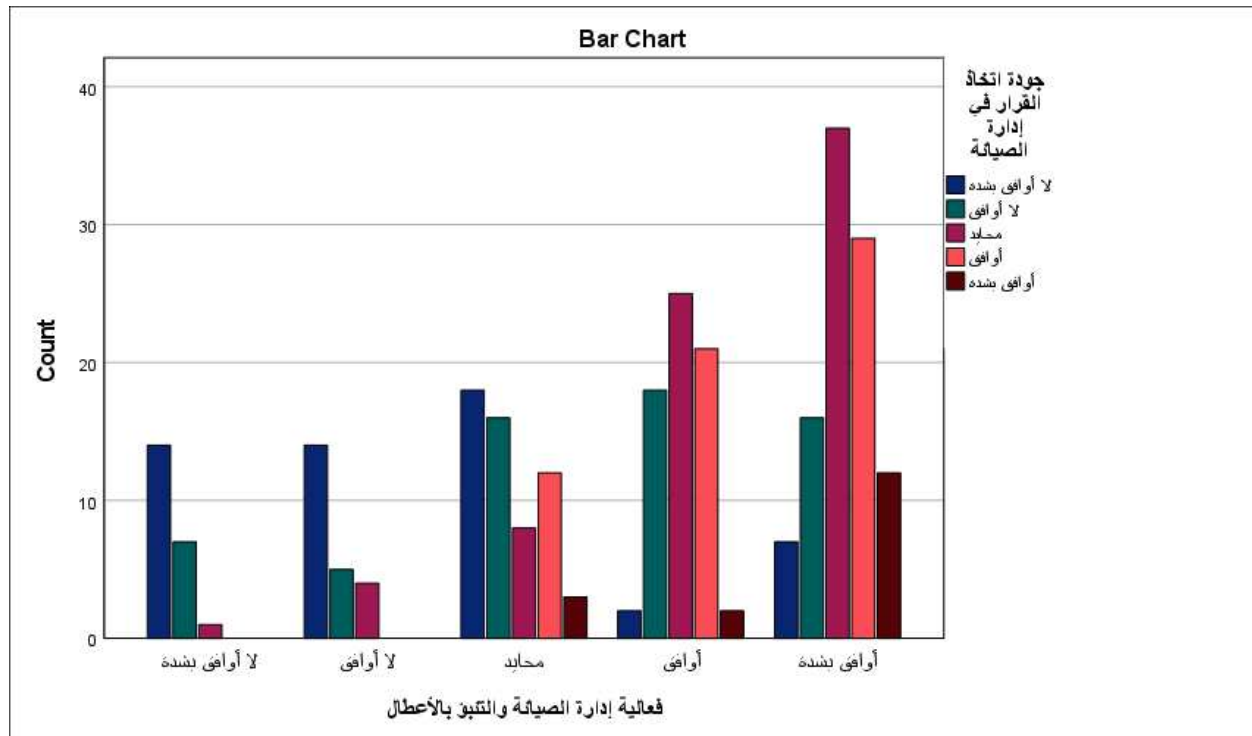
أظهرت النتائج علاقة ارتباطية متينة بين مستوى التنبؤ بالأعطال وجودة اتخاذ القرار داخل مرافق الصيانة؛ فقد سجلت قيمة "كاي تربيع" لبيرسون (Pearson Chi-Square) مستوى مرتفعاً بلغ 102.488. هذه القيمة، المقترنة بمستوى دلالة إحصائية 0.000، تؤكد أن جودة القرار الفني ليست بمعزل عن كفاءة النظم الذكية المستخدمة. يبدو أن القدرة على استشراف العطل قبل وقوعه تمنح متخذ القرار رفاة الوقت والدقة؛ فتنتقل العملية من الارتجال تحت ضغط التوقفات المفاجئة إلى التخطيط المبني على شواهد رقمية. إن استقرار مستوى الدلالة عند أقصى درجات اليقين الإحصائي يعزز من فرضية أن الذكاء الاصطناعي يعمل كمحفز مباشر لرفع كفاءة القيادات الفنية في المواقع الصناعية.

حققت قيمة "الارتباط الخطي" (Linear-by-Linear Association) رقماً حاسماً قدره 70.004؛ ما يشير إلى أن كل تحسن في آليات التنبؤ يتبعه بالضرورة نضج في القرارات التشغيلية. نلاحظ وجود 6 خلايا (24%) بتكرارات متوقعة أقل من 5؛ لكن هذا لا ينال من جوهر النتيجة نظراً لاتساق قيمة "نسبة الاحتمالية" (Likelihood Ratio) البالغة 111.824. دلالة هذه الأرقام

تتجاوز الجانب الإحصائي لتلمس الواقع الميداني؛ فغياب البيانات التنبؤية الدقيقة قد يجر الإدارة إلى قرارات صيانة عشوائية تزيد من معدلات الهدر المالي. تبرهن الدراسة هنا على أن الاستثمار في خوارزميات التنبؤ هو في جوهره استثمار في "عقل" المؤسسة وقدرتها على إدارة مواردها بذكاء تشغيلي عالٍ.

Chi-Square Tests			
Asymptotic Significance (2-sided)	df	Value	
.000	16	102.488 ^a	Pearson Chi-Square
.000	16	111.824	Likelihood Ratio
.000	1	70.004	Linear-by-Linear Association
		271	N of Valid Cases
a. 6 cells (24.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.38.			

جدول 25: اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وجودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة



شكل توضيحي 22 : المقاييس المتمثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال وجودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة

• اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال والتحديات الفنية والإدارية في تطبيق

نظم الذكاء الاصطناعي

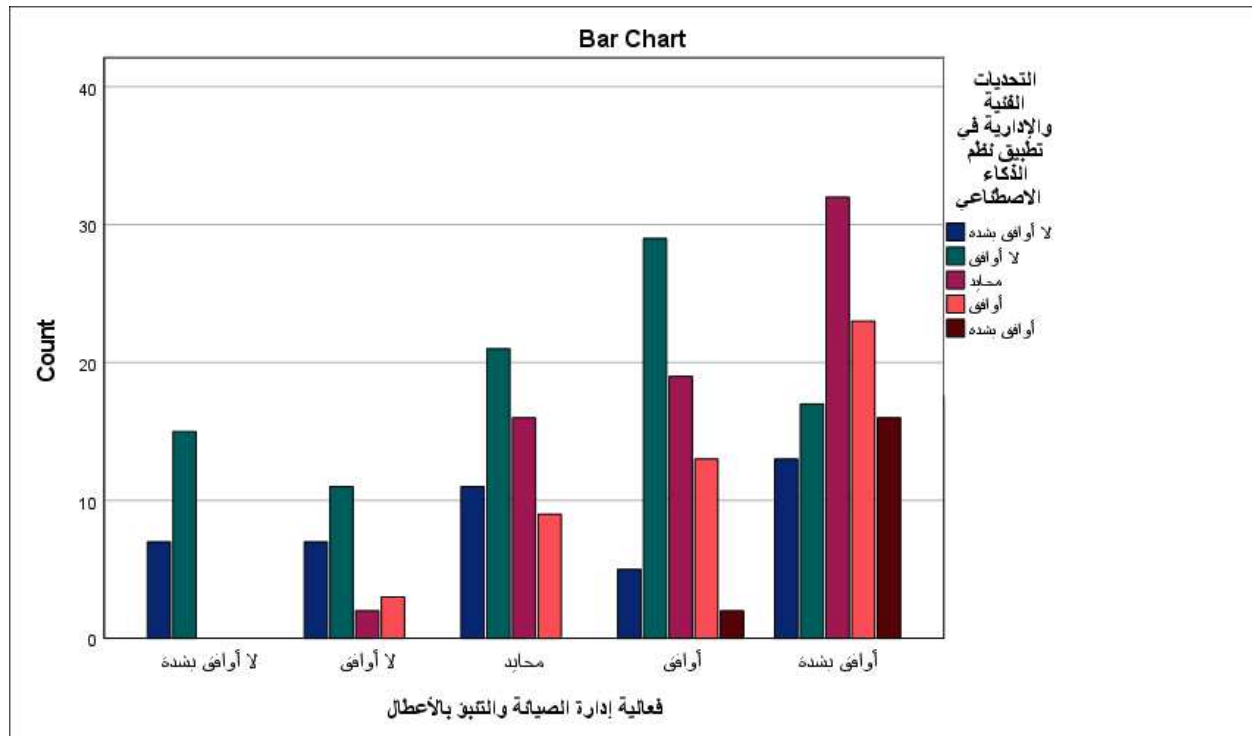
سجل اختبار "كاي تربيع" قيمة 66.633 عند مستوى دلالة 0.000؛ النتيجة تؤكد وجود ترابط جوهري ومستمر بين كفاءة نظم التنبؤ بالأعطال وبين طبيعة التحديات التي تواجهها المنشأة الصناعية. التحديات الفنية والإدارية ليست مجرد عوائق معزولة. هي متغيرات تؤثر طردياً على مستوى النجاح المحقق. كشفت قيمة "الارتباط الخطي" البالغة 41.791 أن استقرار الأنظمة الذكية يظل مرهوناً بمدى قدرة الإدارة على تذليل العقبات الميدانية. النتيجة قوية إحصائياً. وجود 8 خلايا (32%) بتكرارات متوقعة أقل من 5 يعكس تبايناً في نوعية المشكلات التي تواجهها المرافق المختلفة؛ فبعضها يعاني من نقص المهارات البشرية بينما يصطدم الآخر بتهالك البنية التحتية للحساسات.

يكشف مستوى الدلالة الصفرية أن أي خلل في مواجهة هذه التحديات سيؤدي حتماً إلى تآكل فاعلية الصيانة التنبؤية بالكامل. القوة الإحصائية هنا (Likelihood Ratio 79.842) تعطي مؤشراً لخبراء الصناعة؛ فالتنبؤ بالعطل لا يكتمل دون بيئة

إدارية مرنة تستجيب للتحذيرات الآلية. التحدي الفني قد يشوه دقة البيانات؛ الأمر الذي يترتب عليه اتخاذ قرارات صيانة غير مجدية اقتصادياً. تبرز الأرقام على أن الذكاء الاصطناعي ليس "عصا سحرية" تعمل في معزل عن الواقع المؤسسي. النجاح في تقليل فترات التوقف يتطلب تكاملاً بين دقة الخوارزمية وبين كفاءة المنظومة الإدارية في احتواء المخاطر التشغيلية الطارئة.

Chi-Square Tests			
Asymptotic Significance (2-sided)	df	Value	
.000	16	66.633 ^a	Pearson Chi-Square
.000	16	79.842	Likelihood Ratio
.000	1	41.791	Linear-by-Linear Association
		271	N of Valid Cases
a. 8 cells (32.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.46.			

جدول 26 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتننبؤ بالأعطال والتحديات الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي



شكل توضيحي 23 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال والتحديات الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي

• اختبار التباين الأحادي لمتغيرات الدراسة

سجل اختبار التباين (ANOVA) قيمة (F) بلغت 20.868 عند مستوى دلالة 0.000؛ النتيجة تؤكد كفاءة النموذج التفسيري للدراسة. ترفض هذه الأرقام الفرضية الصفرية تماماً. المتغيرات المستقلة المتمثلة في تقنيات الذكاء الاصطناعي وجودة القرار وتحديات التطبيق تمتلك قدرة تفسيرية حقيقية. مجموع مربعات الانحدار (212.254) يقارب مجموع مربعات البواقي؛ ما يشير إلى أن النموذج يفسر جزءاً كبيراً من التباين في فعالية الصيانة. القوة التنبؤية هنا ليست وليدة الصدفة. تعكس البيانات واقعاً تشغيلياً مترابطاً.

كشف معامل التحديد (R Square) أن النموذج يفسر 49.3% من التغيرات الحاصلة في إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال. النسبة جيدة جداً في العلوم الإدارية والهندسية. بلغت قيمة معامل "بايز" رقمياً فلكياً؛ الأمر الذي يعطي دعماً إحصائياً ساحقاً للنموذج المقترح مقابل النموذج الصفري. الارتباط القوي (0.702) يبرهن على أن دمج الذكاء الاصطناعي ليس مجرد إضافة تقنية. هو تغيير بنيوي في جودة المخرجات الصناعية. الخطأ المعياري للتقدير استقر عند 0.92؛ وهي قيمة منخفضة تعزز من

دقة النموذج في استشراف النتائج المستقبلية. اعتماد المرافق على هذه المتغيرات سيؤدي حتماً إلى تحسين ملموس في استدامة الأصول.

ANOVA ^{a,b}					
Sig.	F	Mean Square	df	Sum of Squares	Source
.000	20.868	17.688	12	212.254	Regression
		.848	258	218.683	Residual
			270	430.937	Total
a. Dependent Variable: فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال					
b. Model: (Intercept), تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة, التحديات, الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي, جودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة					

جدول 27: اختبار التباين الأحادي

Bayes Factor Model Summary ^{a,b}				
Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Bayes Factor ^c
.92	.469	.493	.702	0.000
a. Method: JZS				
b. Model: (Intercept), تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الصيانة, التحديات, الفنية والإدارية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي, جودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة				
c. Bayes factor: Testing model versus null model (Intercept).				

جدول 28: ملخص نموذج معامل بايز

4.5. اختبار الفرضيات ومناقشة النتائج:

- فرضيات الدراسة: تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في

المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة.

يظهر التشتت المحدود في استجابات العينة، والمتمثل في انحراف معياري قدره 1.052، وجود شبه إجماع بين المشاركين على الدور المحوري للذكاء الاصطناعي؛ فالمتوسط الحسابي المرتفع البالغ 4.45 يعكس قناعة راسخة تتجاوز مجرد القبول النظري إلى الإقرار بالجدوى التشغيلية الفعلية. النتيجة كانت قوية. سجل اختبار "ت" (t-test) قيمة ضخمة بلغت 69.561 بمستوى دلالة 0.000، مما يقطع بصحة الفرضية ويؤكد أن الفوائد المرجوة من هذه التقنيات في تقليل الأعطال وخفض التكاليف ليست نتاج صدفة إحصائية. يبدو أن الخبرات الميدانية للعينة تتلاقى عند نقطة واحدة؛ الذكاء الاصطناعي هو المحرك الفعلي لتعزيز الكفاءة في المرافق الصناعية الحديثة. الفشل في تبني هذه الأدوات قد يحرم الإدارة من وفر مالي محقق ويجعل العمليات عرضة لمخاطر التوقفات المفاجئة.

تجاوز حجم التأثير المقاس بمعامل "كوهين" (Cohen's d) قيمة 4.226؛ وهي قيمة استثنائية تشير إلى أن أثر الذكاء الاصطناعي على إدارة الصيانة ليس طفيفاً أو عابراً، بل هو تأثير جوهري وعميق يغير من فلسفة العمل بالكامل. يتطابق هذا مع تقدير "هيدجز" (Hedges' correction) البالغ 4.214، مما يعزز من ثبات هذه النتائج وقدرتها على التعميم. تشير هذه الأرقام إلى أن الفجوة بين أنظمة الصيانة التقليدية والذكاء الاصطناعي فجوة نوعية وليست مجرد تحسينات طفيفة. القوة الإحصائية هنا تمنح صانع القرار مبرراً تقنياً قوياً للاستثمار في هذه النظم؛ فالمنافع المتوقعة في تحسين التنبؤ بالأعطال تقع ضمن نطاق ثقة ضيق يتراوح بين 4.32 و4.57، وهو ما يضمن استقرار النتائج عند التطبيق الفعلي على أرض الواقع.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	

0.064	1.052	4.45	271	تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية
-------	-------	------	-----	---

جدول 29: التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة.

One-Sample Test							
Test Value = 0							
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df			t
Upper	Lower						
4.57	4.32	4.446	.000	270	69.561	تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية	

جدول 30: اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
4.601	3.849	4.226	1.052	Cohen's d	تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية
4.588	3.839	4.214	1.055	Hedges' correction	
a. The denominator used in estimating the effect sizes.					
Cohen's d uses the sample standard deviation.					
Hedges' correction uses the sample standard deviation, plus a correction factor.					

جدول 31: حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: تُفيد تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال في المرافق الصناعية، مما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة.

• فرضيات الدراسة: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي

والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

يكشف التشتت الواضح في الآراء، والمتمثل في انحراف معياري قدره 1.128، عن تفاوت في التجارب الميدانية للعينة تجاه قدرة الذكاء الاصطناعي على كبح الأعطال المفاجئة؛ فبينما يميل المتوسط العام نحو الإيجاب بقيمة 3.71، إلا أن هذا التباين يشير إلى أن فاعلية التقنية قد لا تظهر بذات القوة في جميع المرافق الصناعية. ربما يعود ذلك إلى اختلاف طبيعة المعدات أو تفاوت جودة البيانات المغذية لخوارزميات التنبؤ. سجلت قيمة ت (t) رقماً مرتفعاً بلغ 54.175 بمستوى دلالة 0.000. النتيجة قوية إحصائياً. تؤكد هذه الأرقام أن الفرضية القائلة بوجود علاقة إيجابية بين الحلول الذكية وتقليل الأعطال غير المخطط لها هي فرضية صادقة وقابلة للتعميم؛ فالذكاء الاصطناعي يمنح فرق الصيانة القدرة على التدخل قبل وصول العطب إلى مرحلة الانهيار الكلي للمعدة.

بلغ حجم التأثير المقاس بمعامل كوهين (Cohen's d) قيمة 3.291؛ وهي قيمة ضخمة تعكس وزناً جوهرياً للمتغير المستقل في التأثير على استقرار الحالة الفنية للأصول. يرتفع مستوى الثقة في هذه النتيجة مع تقارب القيمة مع تصحيح هيدجز (Hedges' correction) البالغ 3.282. الدلالة هنا تتخطى الأرقام لتلمس صلب العمليات؛ فاستخدام هذه التقنيات لا يحسن الأداء فحسب، بل يغير من الثقافة التشغيلية من رد الفعل إلى الاستباق. انحصار الفرق المتوسط بين 3.58 و3.85 ضمن حدود الثقة يبرهن على أن الاعتماد على الذكاء الاصطناعي كأداة وقائية يقلل من فترات التوقف المبررة؛ ما يحمي سلاسل الإمداد من الارتباك الناتجة عن تعطل الماكينات المفاجئ في قلب العملية الإنتاجية.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.069	1.128	3.71	271	هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

جدول 32: التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

One-Sample Test							
Test Value = 0							
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df			t
Upper	Lower						
3.85	3.58	3.712	.000	270	54.175	هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.	

جدول 33 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
3.592	2.988	3.291	1.128	Cohen's d	هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين
3.582	2.980	3.282	1.131	Hedges' correction	استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

a. The denominator used in estimating the effect sizes.

Cohen's d uses the sample standard deviation.

Hedges' correction uses the sample standard deviation, plus a correction factor.

جدول 34 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتقليل من عدد الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.

• **فرضيات الدراسة: استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسّن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة**

بالمرفق الصناعية.

سجل الخطأ المعياري للمتوسط أدنى قيمة له عند 0.077؛ مما يمنح استقراراً إحصائياً للنتائج المستخلصة من عينة الدراسة. حققت الفرضية متوسطاً حسابياً قدره 3.45. النتيجة إيجابية لكنها مشروطة. نلاحظ ارتفاعاً في الانحراف المعياري ليصل إلى 1.275؛ الأمر الذي يعكس تبايناً واضحاً في الآراء حول مدى مساهمة الذكاء الاصطناعي في جودة القرار. يبدو أن هذا التشتت ناتج عن اختلاف مستويات "النضج الرقمي" في المرافق محل الدراسة؛ فدقة القرار ليست مرتبطة بالخوارزمية وحدها بل بمدى تكاملها مع العمليات الإدارية القائمة. سجل اختبار تي (t) قيمة 44.539 بمستوى دلالة 0.000. الفرضية مقبولة إحصائياً. التحسن في دقة القرارات التشغيلية يقع ضمن نطاق ثقة يتراوح بين 3.30 و3.60؛ وهو ما يعزز الثقة في أن الأنظمة الذكية ترفع من فاعلية المتابعة الفنية وتقلل من חדسية الاختيارات البشرية في مواقف الصيانة الحرجة.

بلغ حجم التأثير المقاس بمعامل كوهين (Cohen's d) قيمة 2.706؛ وهي دلالة قوية على أن المتغير المستقل يمتلك تأثيراً كبيراً وملموساً على المتغير التابع. تقاربت هذه القيمة مع تصحيح هيدجز (Hedges' correction) البالغ 2.698؛ مما يؤكد متانة النموذج الإحصائي. دقة اتخاذ القرار في الصيانة تعني ببساطة تقليل "زمن الضياع" بين رصد العطل وبدء الإصلاح. هذا النقص في التردد الإداري قد يؤثر إيجاباً على تقليص فترات التوقف الكلية للمرفق. رغم ذلك، فإن التباين في وجهات النظر يحذرنا من أن الاعتماد الكلي على التكنولوجيا دون مراجعة بشرية قد يؤدي إلى نتائج عكسية في بيئات العمل غير المهيأة تقنياً. الاستثمار في "العقل الرقمي" يحتاج إلى بنية تحتية مرنة تستوعب مخرجات هذا الذكاء وتحولها إلى إجراءات ميدانية فورية وناجعة.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.077	1.275	3.45	271	استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسّن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرفق الصناعية.

جدول 35: التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسّن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرفق الصناعية.

One-Sample Test							
Test Value = 0							
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df			t
Upper	Lower						
3.60	3.30	3.450	.000	270	44.539	استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسّن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية.	

جدول 36: اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
2.962	2.448	2.706	1.275	Cohen's d	استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية.
2.954	2.441	2.698	1.279	Hedges' correction	

a. The denominator used in estimating the effect sizes.

Cohen's d uses the sample standard deviation.

Hedges' correction uses the sample standard deviation, plus a correction factor.

جدول 37: حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: استخدام الذكاء الاصطناعي يُحسن من دقة وفعالية اتخاذ القرار في عمليات الصيانة بالمرافق الصناعية.

- فرضيات الدراسة: تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة

وقت التشغيل الفعلي للمعدات.

سجل المتوسط الحسابي 3.65 درجة؛ مما يعكس ميلاً عاماً لدى العينة نحو تأييد دور الذكاء الاصطناعي في تقليص فترات التوقف الفجائية. النتيجة واعدة. رافق هذا المتوسط انحراف معياري قدره 1.317؛ وهو رقم يشير إلى تباين ملحوظ في وجهات النظر. يبدو أن الخبرات الميدانية للمستجيبين تختلف باختلاف الحالة الفنية للمعدات التي يشرفون عليها. كشف اختبار تي

(t) عن قيمة بلغت 45.586 بمستوى دلالة 0.000. الفرضية مقبولة إحصائياً بيقين تام. يبرهن هذا الارتفاع في القيمة الاحتمالية على أن الربط بين التقنيات الذكية وزيادة وقت التشغيل الفعلي ليس مجرد استنتاج نظري؛ بل هو واقع يلمسه الممارسون في المواقع الصناعية. الخطأ المعياري للمتوسط البالغ 0.080 يؤكد دقة تقدير العينة لهذا الأثر التشغيلي.

حقق حجم التأثير بمعامل كوهين (Cohen's d) قيمة 2.769؛ وهي دلالة إحصائية قوية جداً تضع المتغير المستقل في موقع التأثير الجوهرية. تقاربت هذه القيمة مع تصحيح هيدجز (Hedges' correction) البالغ 2.761. الأرقام لا تكذب. استقرار فترات التوقف عند أدنى مستوياتها يقع ضمن نطاق ثقة يتراوح بين 3.49 و 3.80. النقص في هذا الجانب قد يؤثر سلباً على الوفاء بجداول التسليم الإنتاجية؛ فالمعدات التي تعمل تحت رقابة خوارزمية تنبؤية تمنح الإدارة مرونة أكبر في جدولة الورديات. القوة الإحصائية هنا تشجع على تبني نماذج الذكاء الاصطناعي كضمانة لاستمرارية العمليات؛ فالفارق الذي تحدثه هذه النظم يتجاوز مجرد الرصد إلى رفع الكفاءة الكلية للأصول الرأسمالية داخل المرفق.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.080	1.317	3.65	271	تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات.

جدول 38 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات.

One-Sample Test						
Test Value = 0						
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df		t
Upper	Lower					

3.80	3.49	3.646	.000	270	45.586	تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات.
------	------	-------	------	-----	--------	---

جدول 39 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
3.031	2.506	2.769	1.317	Cohen's d	تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات.
3.022	2.500	2.761	1.320	Hedges' correction	
a. The denominator used in estimating the effect sizes.					
Cohen's d uses the sample standard deviation.					
Hedges' correction uses the sample standard deviation, plus a correction factor.					

جدول 40 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وزيادة وقت التشغيل الفعلي للمعدات.

• فرضيات الدراسة: التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية

المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

سجل الخطأ المعياري للمتوسط أدنى مستوياته عند 0.066؛ مما يعكس دقة عالية في تمثيل العينة للواقع الميداني بخصوص المعوقات التشغيلية. بلغ المتوسط الحسابي لهذه الفرضية 3.69؛ وهي نتيجة تؤكد أن التحديات الفنية والإدارية ليست مجرد تفاصيل هامشية. هي عوائق حقيقية تقوض فاعلية الأنظمة الذكية. نلاحظ انحرافاً معيارياً قدره 1.092. يشير هذا الرقم إلى وجود تباين في تقدير حجم هذه العوائق بين المستجيبين؛ فالمرافق التي تمتلك بنية تحتية متهاكة قد ترى في هذه التحديات سداً منيعاً أمام التحول الرقمي. سجل اختبار تي (t) قيمة 55.628 بمستوى دلالة 0.000. الفرضية مقبولة بيقين إحصائي تام. الاستجابة لهذه التحديات تقع ضمن نطاق ثقة يتراوح بين 3.56 و3.82؛ وهو ما يفرض على الإدارة ضرورة معالجة القصور التقني قبل المراهنة على ذكاء الآلة.

حقق حجم التأثير المقاس بمعامل كوهين (Cohen's d) قيمة 3.379؛ وهي دلالة قوية على أن ثقل المعوقات يتجاوز التأثيرات العابرة إلى كونه متغيراً حرجاً يعيد رسم مسار المشروع بأكمله. تقاربت هذه القيمة مع تصحيح هيدجز (Hedges' correction) البالغ 3.370. الأرقام هنا لا تقبل التأويل. التحديات الإدارية (مثل نقص التدريب أو تعقيد الهياكل التنظيمية) والتحديات الفنية (مثل عدم استقرار الحساسات) تلهم جزءاً كبيراً من الجدوى المرجوة. هذا النقص في التوافق بين التقنية والبيئة المحيطة قد يؤثر على سير العمليات في الموقع بشكل سلبي؛ فالتنبؤ بالعطل لا قيمة له إذا اصطدم ببيروقراطية إدارية تمنع التدخل الفوري. تثبت القوة الإحصائية هنا أن نجاح الذكاء الاصطناعي في الصيانة ليس رهينة جودة الخوارزمية فحسب؛ بل هو مرتبط عضوياً بمدى قدرة المؤسسة على تذليل الصعاب الميدانية التي تعترض طريق الرقمنة.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.066	1.092	3.69	271	التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

جدول 41: التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

One-Sample Test							
Test Value = 0							
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df			t
Upper	Lower						
3.82	3.56	3.690	.000	270			55.628

جدول 42: اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
3.687	3.070	3.379	1.092	Cohen's d	التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.
3.677	3.061	3.370	1.095	Hedges' correction	
a. The denominator used in estimating the effect sizes.					
Cohen's d uses the sample standard deviation.					
Hedges' correction uses the sample standard deviation, plus a correction factor.					

جدول 43: حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: التحديات الفنية والإدارية تمثل عوائق مؤثرة على فعالية تطبيق نظم الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

• فرضيات الدراسة: هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية

والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

سجل المتوسط الحسابي 3.56 درجة؛ النتيجة تكشف عن قبول عام للأثر النفسي والمهني للرقمنة. المتوسط يتجاوز نقطة الحياد بوضوح. رافق ذلك انحراف معياري مرتفع نسبياً قدره 1.315. هذا الرقم يترجم وجود تباين في مستويات الرضا بين الفرق المختلفة. الفنيون الميدانيون قد يشعرون بضغط تقني يختلف عن ارتياح الفرق الإدارية للتقارير الآلية. القيمة التائية (t) بلغت 44.585 بمستوى دلالة 0.000. الفرضية حقيقية وصادقة إحصائياً. الرضا هنا ليس مجرد شعور عابر؛ بل هو نتاج تقليل الجهد البدني الشاق في البحث عن الأعطال التقليدية. الخطأ المعياري للمتوسط البالغ 0.080 يعزز من موثوقية هذه البيانات في التعبير عن مجتمع الدراسة.

بلغ حجم التأثير المقاس بمعامل كوهين (Cohen's d) قيمة 2.708؛ وهي دلالة قوية جداً على أن الذكاء الاصطناعي يغير من جودة الحياة المهنية داخل المرفق. تقاربت هذه النتيجة مع تصحيح هيدجز (Hedges' correction) البالغ 2.701. الأرقام تتحدث عن تحول جوهري. يقع نطاق الرضا بين 3.40 و3.72؛ ما يعني أن الفرق الفنية بدأت تلمس فاعلية التنبؤ في تقليل حالات الطوارئ الليلية والضغط النفسي المرتبطة بالتوقعات المفاجئة. هذا النقص في التوتر التشغيلي ينعكس إيجاباً على

ولاء العاملين واستقرارهم. القوة الإحصائية للنموذج تبرهن على أن التكنولوجيا ليست عبثاً دائماً؛ بل هي أداة تمكين ترفع من كفاءة العنصر البشري وتزيد من قناعاته بجدوى التطور الرقمي في البيئات الصناعية المعقدة.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.080	1.315	3.56	271	هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

جدول 44: التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

One-Sample Test						
Test Value = 0						
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df	t	
Upper	Lower					
3.72	3.40	3.561	.000	270	44.585	هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

جدول 45: اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

One-Sample Effect Sizes				
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a	
Upper	Lower			

2.965	2.450	2.708	1.315	Cohen's d	هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.
2.957	2.443	2.701	1.318	Hedges' correction	

a. The denominator used in estimating the effect sizes.

Cohen's d uses the sample standard deviation.

Hedges' correction uses the sample standard deviation, plus a correction factor.

جدول 46: حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: هناك تأثير إيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العاملين والفرق الفنية والإدارية تجاه نظم إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال.

4.6. الخاتمة:

يعد الفصل الرابع من الدراسة مرحلة محورية تم فيها ربط البيانات المجمعة من مجتمع البحث بالتحليل العلمي، مما أتاح فهماً عميقاً لكيفية تأثير المتغيرات المختلفة على الأداء التشغيلي للمرافق، وفعالية الصيانة والتنبؤ بالأعطال. فقد أظهر الفصل كيفية تحويل المعلومات الخام إلى معرفة دقيقة ومفيدة، تساعد في تقييم مدى نجاح تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين الأداء التشغيلي، وما إذا كانت النتائج تتوافق مع الأهداف المنشودة للدراسة.

لقد أتاح الفصل للباحث وللقارئ فهم خصائص العينة البحثية بشكل مفصل، حيث تم توضيح توزيع البيانات وخصائص المجتمع المستهدف، مما ساعد على تقديم صورة دقيقة وشاملة حول الواقع التشغيلي للمرافق المختلفة. وقد ساعد هذا التوصيف في تحديد مدى تمثيل العينة للمجتمع البحثي ككل، وكذلك التعرف على الأنماط السائدة في استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وأساليب إدارة الصيانة. هذا التوصيف الدقيق كان أساساً لفهم العلاقات بين المتغيرات، وتقييم أثرها على النتائج العملية التي يسعى النموذج المقترح لتحقيقها.

كما أبرز الفصل أهمية التحقق من موثوقية المعلومات ودقتها قبل الشروع في التحليل، وهو ما يعزز مصداقية النتائج النهائية ويضمن أن الاستنتاجات المستخلصة ليست مبنية على بيانات ناقصة أو مضللة. فقد ساعد هذا التحقق في التأكد من أن أدوات جمع البيانات كانت فعالة في قياس المتغيرات بشكل دقيق، وأن جميع النتائج التي تم تحليلها قابلة للتفسير العلمي. كما أسهم ذلك في تعزيز ثقة الباحث في الاستنتاجات، مما يعزز قوة التوصيات العملية التي سيتم تقديمها لاحقاً لتطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي.

قدم الفصل تحليلاً دقيقاً للبيانات بما يعكس كيفية الإجابة على الأسئلة البحثية وتحليل العلاقات بين المتغيرات. فقد أظهر التحليل اتجاهات واضحة حول فعالية تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة، والتحديات المؤثرة على جودة اتخاذ القرار، والعوامل التي تؤثر على القدرة على التنبؤ بالأعطال. ومن خلال هذا التحليل، أصبح بالإمكان تقديم توصيات عملية دقيقة ومبنية على أدلة واضحة، مما يعزز من إمكانية تطبيق النموذج المقترح في الواقع العملي.

كما ساهم الفصل في تقديم إطار علمي لتفسير النتائج، مما أتاح للباحث مناقشة النتائج بشكل منطقي ومنهجي، وتحديد العلاقة بين المتغيرات بشكل واضح ودقيق. هذا التفسير أسهم في الكشف عن الأنماط والتأثيرات المهمة، التي يمكن أن تستخدم لتطوير الاستراتيجيات العملية في إدارة المرافق، وتحسين الأداء التشغيلي، وتقليل الأعطال بشكل مستدام.

يمثل الفصل الرابع حجر الزاوية الذي يربط بين جمع البيانات والتحليل الإحصائي والتفسير العلمي، مما يجعل النتائج المستخلصة قابلة للتطبيق العملي. فهو يوضح كيف يمكن للباحث تحويل البيانات والمعلومات إلى معرفة عملية تدعم تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي، وتقديم حلول عملية لتحسين كفاءة الصيانة والتشغيل والتنبؤ بالأعطال. وبذلك، يضع الفصل الأساس لفهم أعمق لمدى فعالية النموذج المقترح، ويعزز من مصداقية الدراسة وموثوقية التوصيات النهائية التي ستدعم المؤسسات في تحسين الأداء التشغيلي وتحقيق استدامة العمليات.

5. الفصل الخامس: حدود البحث والتوصيات والاستنتاجات

5.1. حدود الدراسة والدراسات المستقبلية:

حدود الدراسة

- الحدود البشرية

تركز الدراسة على الأفراد والوحدات الإدارية والفنية المسؤولة عن عمليات الصيانة والتشغيل داخل المرافق، بما في ذلك الموظفون والمشرفون والفنيون المختصون، وذلك لأنها تمثل المصادر الرئيسية للمعلومات المتعلقة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة. وقد تم اختيار هذه الفئة بعناية لضمان الحصول على بيانات دقيقة وواقعية تعكس الخبرة العملية والقدرة على تفسير أثر استخدام التقنيات الحديثة على الأداء التشغيلي. هذا التحديد ساعد في التركيز على الأشخاص الأكثر معرفة بعمليات التشغيل والصيانة، مع استبعاد الفئات غير المرتبطة مباشرة بتنفيذ وإدارة عمليات الصيانة، لضمان دقة النتائج وقابليتها للتطبيق العملي.

- الحدود الزمانية

تمت دراسة البيانات وجمعها ضمن فترة زمنية محددة، تم اختيارها بعناية لتعكس الظروف التشغيلية المعتادة للمرافق، بما يشمل أوقات الذروة وفترات الصيانة الدورية. وقد ساعد هذا التحديد الزمني في تقليل التأثيرات الموسمية أو الطارئة التي قد تشوه النتائج، كما سمح بتحليل أداء الصيانة والتنبؤ بالأعطال في إطار زمني متناسق، مما يعكس الاستخدام الفعلي لتقنيات الذكاء الاصطناعي في البيئة التشغيلية. تحديد الفترة الزمنية أيضاً ساعد في الحفاظ على موثوقية البيانات ودقتها، إذ يضمن أن التحليل يعكس واقعاً حديثاً ومعاصراً، وليس بيانات قديمة قد لا تعكس الواقع الحالي.

- الحدود المكانية

تركزت الدراسة على مجموعة من المرافق والمواقع التشغيلية ضمن نطاق جغرافي محدد، بحيث يمكن قياس الأداء التشغيلي ومقارنة نتائج تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي بين هذه المواقع المختلفة. هذا التحديد المكاني يتيح للباحث السيطرة على العوامل البيئية والإدارية التي قد تؤثر على نتائج الدراسة، ويضمن أن يكون النموذج المقترح قابلاً للتطبيق ضمن نطاق مماثل من المرافق، مع إمكانية تعميم النتائج جزئياً على مرافق مشابهة ضمن سياقات تشغيلية مشابهة.

الدراسات المستقبلية

تشير نتائج هذه الدراسة إلى عدة اتجاهات يمكن للبحوث المستقبلية استكشافها لتوسيع نطاق المعرفة وتعزيز فعالية تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق. يمكن دراسة تأثيرات دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع نظم الصيانة الذكية في مرافق أكبر أو أكثر تنوعاً من حيث البنية التحتية التشغيلية، لتقييم مدى فعالية النموذج في بيئات مختلفة. كما يمكن للبحوث المستقبلية التركيز على تطوير أدوات ذكاء اصطناعي أكثر تعقيداً تتعامل مع بيانات أكبر وتحليلها بشكل لحظي، مما قد يعزز القدرة على التنبؤ بالأعطال بدقة أعلى ويزيد كفاءة عمليات الصيانة والتشغيل.

كما يمكن دراسة الجوانب البشرية والإدارية بشكل أعمق، مثل تأثير التدريب المستمر على قدرة الموظفين على استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي بفعالية، ودراسة كيفية دمج هذه التقنيات مع الثقافة المؤسسية لضمان استدامة التحسينات التشغيلية. هذا بالإضافة إلى إمكانية استكشاف التكامل بين الذكاء الاصطناعي والتقنيات الحديثة الأخرى مثل إنترنت الأشياء وإنظمة المراقبة الذكية، بما يدعم تطوير نماذج تشغيلية متكاملة تعزز الكفاءة التشغيلية على مستوى أوسع.

5.2. توصيات الدراسة:

- تعزيز تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في جميع مراحل إدارة الصيانة والتشغيل داخل المرافق لتعزيز القدرة على التنبؤ بالأعطال وتقليل الوقت الضائع في الإصلاحات الطارئة
- تطوير برامج تدريبية متخصصة للكوادر الفنية والإدارية لرفع مستوى مهاراتهم في استخدام نظم الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات التشغيلية بما يضمن اتخاذ قرارات أسرع وأكثر دقة
- تحسين جودة البيانات التشغيلية وجمعها بشكل مستمر لضمان دقة التحليلات التنبؤية للنظام وتحقيق أقصى استفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي
- اعتماد نظام متكامل لمراقبة الأداء التشغيلي والصيانة الوقائية، بحيث يتيح متابعة فعالية الإجراءات واتخاذ القرارات المبنية على مؤشرات كمية واضحة
- معالجة التحديات الفنية والإدارية المرتبطة بتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي، من خلال تطوير سياسات مؤسسية واضحة، وتوفير الدعم التقني المستمر لضمان استدامة الأداء وتحقيق النتائج المرجوة
- تشجيع التعاون بين مختلف الإدارات الفنية والإدارية لتعزيز تكامل نظم المعلومات والعمليات التشغيلية بما يدعم تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل
- الاستفادة من نتائج الدراسة في تصميم استراتيجيات طويلة المدى لتحسين البنية التحتية للمرافق، وتطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية بما يقلل الأعطال المفاجئة ويزيد عمر المعدات
- تبني نهج تحليلي مستمر لمراجعة نتائج الأداء والتنبؤ بالأعطال، مع استخدام مؤشرات قياس الأداء لتحديث النماذج التشغيلية بشكل دوري بما يضمن تحسين الكفاءة التشغيلية بشكل مستدام
- تعزيز نشر الوعي بين موظفي المرافق حول أهمية الصيانة الوقائية والتشغيل الذكي، وتوضيح كيفية مساهمة الذكاء الاصطناعي في تقليل الأعطال وتحسين جودة الخدمات

5.3. الخاتمة:

تؤكد نتائج هذه الدراسة على الأهمية المتزايدة لتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق، حيث تبين أن الاعتماد على هذه التقنيات يسهم بشكل ملموس في تحسين كفاءة الصيانة، تقليل الأعطال غير المتوقعة، وتعزيز القدرة على اتخاذ قرارات أسرع وأكثر دقة. كما أظهرت الدراسة أن نجاح تطبيق هذه التقنيات يعتمد على تكاملها مع القدرات البشرية، وجودة البيانات التشغيلية، والتغلب على التحديات الفنية والإدارية التي قد تواجه المؤسسات.

وقد أتاح البحث فهمًا شاملاً لكيفية تحويل المعلومات التشغيلية إلى معرفة عملية من خلال التحليل الإحصائي، مما مكن من تقديم توصيات عملية قابلة للتطبيق لتحسين الأداء التشغيلي. كما أن التركيز على العينة المحددة والبيانات المجمعة ضمن الإطار الزمني والمكاني للدراسة أتاح استنتاج نتائج دقيقة تعكس الواقع العملي للمرافق التي تم دراستها.

يمثل هذا البحث خطوة مهمة نحو تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق يعتمد على الذكاء الاصطناعي، ويضع الأسس اللازمة لتطبيق استراتيجيات فعالة لتحسين الصيانة والتشغيل. كما يفتح الباب أمام البحوث المستقبلية لتوسيع نطاق التطبيقات واستكشاف تقنيات أكثر تطورًا، بما يضمن استدامة الأداء التشغيلي ورفع كفاءة المرافق بشكل عام. ويعكس البحث التوازن بين النظرية والتطبيق العملي، مما يجعله مرجعًا علميًا عمليًا يمكن للمؤسسات الاستفادة منه لتحسين جودة الأداء التشغيلي وتحقيق أقصى استفادة من الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي.

ملحق الاستبانة

الأسئلة					الإجابة
1- الأسئلة العامة					
العمر	30-20	40-30	50-40	60-50	+60
الجنس	ذكر	أنثى			
الدرجة العلمية	شهادة الدراسة الثانوية	درجة البكالوريوس	شهادة عليا	ماجستير	دكتوراه
2- أسئلة الإستبيان					
يسهم استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحسين تخطيط برامج الصيانة الدورية في المرافق الصناعية.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق	أوافق بشدة
تساعد تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ الإجراءات الوقائية.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق	أوافق بشدة
يؤدي تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال المفاجئة في المعدات الصناعية.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق	أوافق بشدة
تسهم أدوات تحليل البيانات الذكية في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق	أوافق بشدة
يدعم الذكاء الاصطناعي اتخاذ قرارات صيانة مبنية على بيانات دقيقة وفورية.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق	أوافق بشدة
يساهم استخدام الخوارزميات التنبؤية في تقليل تكاليف الصيانة التصحيحية.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق	أوافق بشدة
يؤدي تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات الصناعية.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق	أوافق بشدة

يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية في أعمال الصيانة.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة
تساعد الأنظمة الذكية في تحديد أولويات الصيانة بناءً على مستوى الخطورة والتأثير التشغيلي.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة
يسهم استخدام تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة أداء المعدات بشكل مستمر.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة
يؤدي الاعتماد على الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة
توفر أنظمة الذكاء الاصطناعي تقارير تحليلية تسهم في تحسين الأداء التشغيلي العام.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة
يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين مستوى السلامة في بيئة العمل الصناعية.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة
يعزز تطبيق الذكاء الاصطناعي من كفاءة عمليات المتابعة والتقييم لأعمال الصيانة.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة
توجد بنية تحتية تقنية كافية لدعم تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة
يملك العاملون المهارات اللازمة للتعامل مع أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.	لا أوافق بشدة	لا أوافق	لا أوافق ولا أرفض	أوافق بشدة

أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يسهم استخدام الذكاء الاصطناعي في رفع مستوى رضا الإدارة العليا عن أداء إدارة الصيانة.
---------------	-------	----------------------	----------	------------------	---

➤ <https://forms.gle/EXKVEqi3vkuVr7tbA>

أدوات البحث:

م	أداة البحث	الهدف من استخدامها	عدد الفقرات	طريقة القياس
1	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	قياس مدى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة	5	ليكرت الخماسي
2	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	تقييم جودة اتخاذ القرار في إدارة الصيانة	5	ليكرت الخماسي
3	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	تحديد التحديات الفنية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي	5	ليكرت الخماسي
4	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	تحديد التحديات الإدارية والتنظيمية في تطبيق نظم الذكاء الاصطناعي	5	ليكرت الخماسي
5	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	قياس فعالية إدارة الصيانة والتنبؤ بالأعطال	5	ليكرت الخماسي

- Balasubramanian, S. (2023). Integration of Artificial Intelligence in the Manufacturing Sector: A Systematic Review of Applications and Implications. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/378658423_Integration_of_Artificial_Intelligence_in_the_Manufacturing_Sector_A_Systematic_Review_of_Applications_and_Implications
- Benhanifia, A. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667305325000274>
- Bouabdallaoui, Y. (2021). Predictive Maintenance in Building Facilities: A Machine Learning-Based Approach. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/349034100_Predictive_Maintenance_in_Building_Facilities_A_Machine_Learning-Based_Approach
- Caleb, A. (2024). Overcoming Challenges in AI Adoption. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/382108051_Overcoming_Challenges_in_AI_Adoption
- Ekwomadu, C. C. (2024). Integrating AI-Driven Predictive Maintenance and Process Control in Industrial Automation for Sustainable FMCG Manufacturing. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/388192883_Integrating_AI-Driven_Predictive_Maintenance_and_Process_Control_in_Industrial_Automation_for_Sustainable_FMCG_Manufacturing
- Emroozi, V. B. (2025). Enhancing industrial maintenance planning: Optimization of human error reduction and spare parts management. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214716025000120>

- Ibrahim, H. (2022). Artificial intelligence for predictive maintenance. Retrieved from
https://www.researchgate.net/publication/362100787_Artificial_intelligence_for_predictive_maintenance
- Malaiyappan, J. N. (2024). Predictive Maintenance using Machine Learning in Industrial IoT. Retrieved from
https://www.researchgate.net/publication/379554669_Predictive_Maintenance_using_Machine_Learning_in_Industrial_IoT
- Molęda, M. (2023). From Corrective to Predictive Maintenance—A Review of Maintenance Approaches for the Power Industry. Retrieved from
<https://www.mdpi.com/1424-8220/23/13/5970>
- Murtaza, A. A. (2024). Paradigm shift for predictive maintenance and condition monitoring from Industry 4.0 to Industry 5.0: A systematic review, challenges and case study. Retrieved from
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024011903>
- Oladoyinbo, T. O. (2024). Exploring the Challenges of Artificial Intelligence in Data Integrity and its Influence on Social Dynamics. Retrieved from
https://www.researchgate.net/publication/377383357_Exploring_the_Challenges_of_Artificial_Intelligence_in_Data_Integrity_and_its_Influence_on_Social_Dynamics
- Shrivastav, M. (2022). Barriers Related to AI Implementation in Supply Chain Management. Retrieved from
https://www.researchgate.net/publication/359742265_Barriers_Related_to_AI_Implementation_in_Supply_Chain_Management
- Soori, M. (2024). AI-Based Decision Support Systems in Industry 4.0, A Review. Retrieved from
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949948824000374>

- Thomas, J. (2022). An analysis of predictive maintenance strategies in supply chain management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/384120067_An_analysis_of_predictive_maintenance_strategies_in_supply_chain_management
- Uçar, A. (2024). Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/377605141_Artificial_Intelligence_for_Predictive_Maintenance_Applications_Key_Components_Trustworthiness_and_Future_Trends