

تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي لتحسين كفاءة الصيانة والتشغيل

اسم الطالب

عبدالله سعيد المالكي

Abdullah Saeed Al Malki

الرقم الجامعي

222001599

مشروع تخرج - 2

كلية الإدارة - جامعة ميدأوشن

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.....
13.....	1.2.1. فجوات على المستوى النظري:.....
13.....	1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي:.....
14.....	1.3. أهمية الدراسة.....
14.....	1.3.1. على المستوى النظري:.....
14.....	1.3.2. على المستوى التطبيقي:.....
15.....	1.4. أسئلة الدراسة:.....
16.....	1.5. أهداف الدراسة:.....
16.....	1.6. فرضيات الدراسة.....
17.....	1.7. نموذج الدراسة.....
18.....	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:
36	3.6. أنواع البيانات:
37	3.7. إجراءات التحليل الإحصائي:
39	3.8. الخاتمة:
41	4. الفصل الرابع: التحليل الإحصائي ومناقشة النتائج
42	4.1. المقدمة:
44	4.2. توصيف عينة الدراسة (الاحصائيات الوصفية لعينة الدراسة):
47	4.3. اختبارات الصدق والثبات للاستبيانات:
48	4.4. الإحصاء الوصفي لمتغيرات البحث (الإجابة على أسئلة البحث):
89	4.5. اختبار الفرضيات ومناقشة النتائج:
100	4.6. الخاتمة:
102	ملحق الاستبانة
104	أدوات البحث:
105	المراجع:

قائمة الجداول

جدول 1 : التحليلات الإحصائية.....	46
جدول 2 : ملخص التحليلات الإحصائية.....	47
جدول 3 : اختبار الثبات والموثوقية.....	47
جدول 4 : التحليل الإحصائي لعمر المشاركين في التجربة.....	48
جدول 5 : التحليل الإحصائي لجنس المشاركين في التجربة.....	50
جدول 6 : التحليل الإحصائي للدرجة العلمية.....	51
جدول 7 : التحليل الإحصائي لإسهام استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة.....	53
جدول 8 : التحليل الإحصائي لمساعدة النموذج المقترح في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.....	54
جدول 9 : التحليل الإحصائي لأداء توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.....	56
جدول 10 : التحليل الإحصائي لإسهام النظام الذكي في تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية داخل المرافق.....	57
جدول 11 : التحليل الإحصائي لدعم النموذج المقترح اتخاذ القرار السريع بناءً على تحليل البيانات الفورية.....	59
جدول 12 : التحليل الإحصائي لإسهام استخدام الخوارزميات الذكية في رفع دقة تشخيص الأعطال.....	61
جدول 13 : التحليل الإحصائي لأداء تطبيق النموذج إلى تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية على المدى الطويل.....	63
جدول 14 : التحليل الإحصائي لتعزيز النظام الذكي كفاءة استهلاك الطاقة داخل المرافق.....	65
جدول 15 : التحليل الإحصائي لتوفير النموذج تقارير تحليلية دقيقة تساعد الإدارة في تقييم الأداء التشغيلي.....	67
جدول 16 : التحليل الإحصائي لإسهام التكامل بين أنظمة إدارة المرافق والذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات المقدمة.....	68
جدول 17 : التحليل الإحصائي لتقليل استخدام الذكاء الاصطناعي من الاعتماد على التدخل البشري في العمليات الروتينية.....	70
جدول 18 : التحليل الإحصائي لمساعدة النظام الذكي في تحديد أولويات أعمال الصيانة بناءً على مستوى الخطورة.....	72
جدول 19 : التحليل الإحصائي لإسهام تطبيق النموذج في تحسين مستوى السلامة داخل المرافق.....	73
جدول 20 : التحليل الإحصائي لتعزيز النظام القدرة على مراقبة أداء الأصول والمعدات بشكل مستمر.....	75
جدول 21 : التحليل الإحصائي لدعم النموذج المقترح مبدأ الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التصحيحية التقليدية.....	77
جدول 22 : التحليل الإحصائي لإسهام استخدام تقنيات تحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التشغيل.....	79
جدول 23 : التحليل الإحصائي لأداء تطبيق النموذج المتكامل إلى رفع مستوى رضا المستفيدين عن خدمات المرافق.....	81
جدول 24 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة.....	83

جدول 25 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتحليل البيانات التشغيلية.....	85
جدول 26 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل ونظام دعم اتخاذ القرار الذكي.....	86
جدول 27 : اختبار التباين الأحادي.....	88
جدول 28 : ملخص نموذج معامل بايز.....	88
جدول 29 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.....	89
جدول 30 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.....	90
جدول 31 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.....	90
جدول 32 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.....	91
جدول 33 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.....	92
جدول 34 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.....	92
جدول 35 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.....	93
جدول 36 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.....	94
جدول 37 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.....	94
جدول 38 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.....	95
جدول 39 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.....	95
جدول 40 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.....	96

جدول 41 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.....	97
جدول 42 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.....	97
جدول 43 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.....	98
جدول 44 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.....	99
جدول 45 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.....	99
جدول 46 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.....	99

فهرس الأشكال

- شكل توضيحي 1 : التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة..... 49
- شكل توضيحي 2 : التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة..... 50
- شكل توضيحي 3 : التمثيل البياني لالدرجة العلمية..... 52
- شكل توضيحي 4 : التمثيل البياني لإسهام استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة..... 53
- شكل توضيحي 5 : التمثيل البياني لمساعدة النموذج المقترح في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها..... 55
- شكل توضيحي 6 : التمثيل البياني لأداء توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها..... 56
- شكل توضيحي 7 : التمثيل البياني لإسهام النظام الذكي في تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية داخل المرافق..... 58
- شكل توضيحي 8 : التمثيل البياني لدعم النموذج المقترح اتخاذ القرار السريع بناءً على تحليل البيانات الفورية..... 60
- شكل توضيحي 9 : التمثيل البياني لإسهام استخدام الخوارزميات الذكية في رفع دقة تشخيص الأعطال..... 62
- شكل توضيحي 10 : التمثيل البياني لأداء تطبيق النموذج إلى تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية على المدى الطويل..... 64
- شكل توضيحي 11 : التمثيل البياني لتعزيز النظام الذكي كفاءة استهلاك الطاقة داخل المرافق..... 65
- شكل توضيحي 12 : التمثيل البياني لتوفير النموذج تقارير تحليلية دقيقة تساعد الإدارة في تقييم الأداء التشغيلي..... 67
- شكل توضيحي 13 : التمثيل البياني لإسهام التكامل بين أنظمة إدارة المرافق والذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات المقدمة..... 69
- شكل توضيحي 14 : التمثيل البياني لتقليل استخدام الذكاء الاصطناعي من الاعتماد على التدخل البشري في العمليات الروتينية..... 71
- شكل توضيحي 15 : التمثيل البياني لمساعدة النظام الذكي في تحديد أولويات أعمال الصيانة بناءً على مستوى الخطورة.. 72
- شكل توضيحي 16 : التمثيل البياني لإسهام تطبيق النموذج في تحسين مستوى السلامة داخل المرافق..... 74
- شكل توضيحي 17 : التمثيل البياني لتعزيز النظام القدرة على مراقبة أداء الأصول والمعدات بشكل مستمر..... 76
- شكل توضيحي 18 : التمثيل البياني لدعم النموذج المقترح مبدأ الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التصحيحية التقليدية..... 78
- شكل توضيحي 19 : التمثيل البياني لإسهام استخدام تقنيات تحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التشغيل..... 80
- شكل توضيحي 20 : التمثيل البياني لأداء تطبيق النموذج المتكامل إلى رفع مستوى رضا المستفيدين عن خدمات المرافق... 82
- شكل توضيحي 21 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة..... 84

شكل توضيحي 22 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتحليل البيانات التشغيلية.....	85
شكل توضيحي 23 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل ونظام دعم اتخاذ القرار الذكي.....	87

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي بغرض تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل وتقليل الأعطال وتحسين سرعة الاستجابة في بيئة المؤسسات. ولتحقيق هذا الهدف، تم اتباع المنهجية الكمية من خلال استخدام أدوات استبائية مغلقة تعتمد على مقياس ليكرت الخماسي، حيث جُمعت البيانات من عينة مكونة من 275 مشاركاً يمثلون مختلف مستويات العاملين والإدارات الفنية والإشرافية في إدارة المرافق. أظهرت النتائج أن تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة وتحليل البيانات التشغيلية ونظم دعم اتخاذ القرار الذكي أسهمت بشكل ملحوظ في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل، حيث لوحظ انخفاض الأعطال المفاجئة، وتحسن زمن الاستجابة، وزيادة الالتزام بالخطط المجدولة. كما أشارت النتائج إلى أن تعزيز التدريب الفني وتطوير البنية التحتية الرقمية يمثل عاملاً مهماً لدعم نجاح التطبيق العملي للنموذج المقترح. استناداً إلى هذه النتائج، توصي الدراسة بضرورة تعزيز اعتماد المؤسسات على أنظمة الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق، وتوفير التدريب المستمر للكوادر، وتطوير آليات جمع وتحليل البيانات التشغيلية، مع متابعة الأداء بشكل دوري لضمان استدامة التحسينات في الصيانة والتشغيل.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، إدارة المرافق، الصيانة التنبؤية، تحليل البيانات التشغيلية، دعم القرار

الذكي، كفاءة التشغيل، التحسين المؤسسي.

1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1. المقدمة

تعتبر إدارة المرافق (Facility Management) من المجالات الحيوية التي تشكل العمود الفقري للعديد من القطاعات الخدمية والصناعية على حد سواء، نظرًا لما تتضمنه من عمليات مستمرة تتعلق بالصيانة والتشغيل وإدارة الموارد والخدمات المساندة التي تضمن استمرارية الأعمال وتحسين جودة الأداء داخل المنشآت. ومع تزايد التحديات المتعلقة بارتفاع التكاليف، وكثرة الأعطال، وتزايد تعقيد النظم التشغيلية، بات من الضروري إعادة النظر في الأساليب التقليدية لإدارة المرافق، والسعي نحو نماذج أكثر ذكاءً ومرونة وتكاملاً (Mohammed، 2025).

برز الذكاء الاصطناعي كأداة ثورية قادرة على إحداث نقلة نوعية في طريقة إدارة وصيانة المرافق، من خلال ما يوفره من إمكانيات تحليلية وتنبؤية تتيح اتخاذ قرارات أكثر دقة واستباقية. حيث يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي مثل تعلم الآلة (Machine Learning)، وتحليل البيانات الكبيرة (Big Data Analytics)، والرؤية الحاسوبية (Computer Vision)، أن تساهم في تحسين كفاءة التشغيل، والتقليل من الأعطال المفاجئة، وتحسين تخصيص الموارد، الأمر الذي ينعكس إيجابًا على الأداء العام للمنشأة ويقلل من تكاليف التشغيل والصيانة على المدى البعيد (Nweje، 2025).

إن التحول من النماذج التقليدية إلى النماذج الذكية في إدارة المرافق لم يعد خيارًا، بل ضرورة استراتيجية تفرضها طبيعة العصر الرقمي ومتطلباته. ومع ذلك، لا تزال الكثير من المؤسسات تعاني من فجوة واضحة بين إمكانيات الذكاء الاصطناعي والتطبيق الفعلي له في بيئات الصيانة والتشغيل، مما يستدعي تطوير نموذج متكامل يجمع بين الجانب النظري والتقني، ويأخذ بعين الاعتبار خصوصية النظم التشغيلية، والبيانات المتاحة، ومتطلبات الصيانة الدورية والتنبؤية (Quinello، 2025).

من هنا تنبع أهمية هذه الدراسة التي تهدف إلى تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق يعتمد على الذكاء الاصطناعي كأداة مركزية لتحسين فعالية وكفاءة أنشطة الصيانة والتشغيل. ويسعى هذا النموذج إلى بناء نظام ذكي قادر على التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، وتحليل أداء المرافق بشكل لحظي، وتقديم توصيات تشغيلية آلية تساهم في اتخاذ قرارات مبنية على البيانات وليس على الافتراضات فقط. كما تهدف الدراسة إلى تحديد العوامل التي تُعزز نجاح تطبيق هذا النموذج، واستكشاف التحديات التي قد تعيق دمجها في البيئات التشغيلية المختلفة (Adepoju، 2025).

وتتجلى أهمية الدراسة أيضاً في بعدها التطبيقي، حيث يمكن للنموذج المقترح أن يحدث تأثيراً مباشراً في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وتقليل أوقات التوقف غير المخطط لها، ورفع مستوى السلامة التشغيلية، فضلاً عن تحسين تجربة المستخدم النهائي. كما أنها تساهم في تعزيز التحول الرقمي في قطاع إدارة المرافق، بما يتوافق مع التوجهات العالمية والمحلية نحو المدن الذكية، والاستدامة، وكفاءة الأصول (Abdelalim، 2025).

تتناول هذه الدراسة الإطار المفاهيمي والتطبيقي لتطوير نموذج ذكي متكامل، وتقديم تحليلاً دقيقاً لواقع إدارة المرافق الحالية، وتستعرض أبرز تطبيقات الذكاء الاصطناعي القابلة للتكامل مع هذا المجال، وصولاً إلى تصميم هيكلية منهجية قابلة للتطبيق والتوسع. وتُمثل هذه الدراسة مساهمة علمية وتطبيقية في دعم توجهات المؤسسات نحو رفع كفاءة عمليات الصيانة والتشغيل، وتحقيق الاستفادة القصوى من التقنيات الذكية في خدمة الأداء المؤسسي الشامل.

1.2. مشكلة الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى معالجة إشكالية مركزية تتعلق بمدى قدرة المؤسسات والمنشآت على توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي بطريقة فعالة ضمن أنشطة إدارة المرافق، وخاصة ما يتعلق بعمليات التشغيل والصيانة. فعلى الرغم من التطور الهائل في تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتزايد الحديث عن قدرته على تحسين الكفاءة التشغيلية، إلا أن العديد من الجهات ما زالت تعتمد على نماذج تقليدية تتسم بالتردد اليدوي، والاستجابة المتأخرة للأعطال، وتدني القدرة على التنبؤ، مما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف، وضعف الاستجابة، وتآكل كفاءة الأصول مع الوقت.

تبرز الحاجة الماسة إلى تطوير نموذج ذكي ومتكامل يأخذ بعين الاعتبار خصائص البيئة التشغيلية، ويرتكز على تحليل البيانات، ويُمكن من رصد المشكلات التشغيلية في وقت مبكر، والتخطيط الذكي لأعمال الصيانة، وتخصيص الموارد بكفاءة. وتنبع المشكلة من فجوتين واضحتين: إحداهما على المستوى النظري، والأخرى على المستوى التطبيقي، وكلاهما يُعطلان عملية التحول الرقمي في إدارة المرافق (Masud، 2025).

1.2.1. فجوات على المستوى النظري:

على المستوى النظري، ما تزال الدراسات العلمية والأكاديمية في مجال إدارة المرافق الذكية محدودة، ولا تزال معظم الأدبيات تُعالج إدارة المرافق من منظور تقليدي يركز على الجوانب الهندسية أو التشغيلية بمعزل عن توظيف التقنيات الذكية بشكل متكامل. كما أن هناك نقصًا في النماذج النظرية التي تربط بين مفاهيم الذكاء الاصطناعي وإدارة المرافق كمنظومة شاملة، حيث تركز بعض الدراسات على الجوانب الجزئية مثل الصيانة التنبؤية أو إدارة الطاقة، دون أن تقدم تصورًا متكاملًا يدمج هذه الأبعاد ضمن نموذج عملي شامل. كما يُلاحظ غياب الإطار المفاهيمي الذي يُحدد بشكل دقيق كيف يمكن للذكاء الاصطناعي أن يُحدث تأثيرًا مباشرًا في كفاءة التشغيل وأداء الأصول، وهو ما يحد من قدرة الباحثين على استيعاب التحولات التقنية الحديثة ضمن هذا المجال (Lee، 2021).

1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي:

أما على المستوى التطبيقي، فإن الممارسة الفعلية في كثير من المؤسسات، لا سيما في القطاعات العامة وشبه الحكومية، تُظهر وجود قصور واضح في توظيف الذكاء الاصطناعي داخل عمليات الصيانة والتشغيل. فغالبًا ما تقتصر الحلول المستخدمة على أنظمة إدارة تقليدية تعتمد على الجداول الزمنية أو الصيانة بعد الأعطال، دون وجود آليات تنبؤية تعتمد على البيانات الضخمة أو التحليل الذكي للأداء. كما تُعاني المؤسسات من تحديات في دمج البيانات التشغيلية من مصادر متعددة، أو في توفير البنية التحتية التقنية القادرة على دعم خوارزميات الذكاء الاصطناعي. ولا تزال قرارات الصيانة والتشغيل تُتخذ بناءً على التجربة أو التقدير البشري، وهو ما يؤدي إلى هدر في الموارد، وتأخير في الاستجابة، وتراجع في كفاءة الأصول الحيوية. وتتجلى هذه الفجوة بوضوح في عدم وجود نماذج عملية جاهزة وقابلة للتطبيق على نطاق واسع، تُعالج قضايا مثل: الصيانة الاستباقية، التوزيع الأمثل للموارد، وتقليل أوقات التعطل غير المخطط له، بطريقة تعتمد على التحليل الذكي المستند إلى البيانات. لذا فإن الحاجة أصبحت ملحة إلى تقديم نموذج تطبيقي متكامل يستفيد من قدرات الذكاء الاصطناعي، ويُعيد تصميم عمليات إدارة المرافق بما يتناسب مع متطلبات الكفاءة والمرونة التشغيلية الحديثة (Yang، 2025).

1.3. أهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهميتها في ظل التحديات المتزايدة التي تواجهها المؤسسات في إدارة المرافق بشكل فعال وذكي، خاصة في ضوء التوسع العمراني، وتعقيد الأنظمة التشغيلية، والضغط على الموارد. ومع التقدم السريع في تقنيات الذكاء الاصطناعي، بات من الضروري استثمار هذه التقنيات في تطوير نماذج متكاملة تساهم في رفع كفاءة التشغيل وتقليل الأعطال وتحسين إدارة الصيانة. وتأتي هذه الدراسة استجابة لحاجة ملحة نحو بناء نموذج علمي وتطبيقي يدمج بين المعرفة الهندسية والتقنية الحديثة، ويعالج أوجه القصور في النماذج التقليدية لإدارة المرافق، الأمر الذي يجعل لها بعداً نظرياً وتطبيقياً ذا أهمية كبيرة.

1.3.1. على المستوى النظري:

تبرز أهمية هذه الدراسة نظرياً في كونها تساهم في سد فجوة واضحة في الأدبيات المتعلقة بتقاطع مفاهيم إدارة المرافق مع الذكاء الاصطناعي، حيث لا تزال الكثير من الدراسات تفتقر إلى نماذج تحليلية متكاملة تستوعب التحول الرقمي المتسارع في إدارة المرافق. تقدم هذه الدراسة إضافة نوعية من خلال تطوير نموذج مفاهيمي يُعيد صياغة العلاقة بين مكونات إدارة المرافق من جهة، وتقنيات الذكاء الاصطناعي من جهة أخرى، مستندة إلى أسس علمية وتحليلية حديثة.

كما تسعى الدراسة إلى إثراء الحقول النظرية المرتبطة بإدارة الصيانة، والتشغيل الذكي، وتحليل البيانات في بيئات المرافق، وهو ما يفتح المجال أمام الباحثين والمهنيين للتوسع في تطوير نماذج نظرية مستقبلية، واستكشاف أدوات الذكاء الاصطناعي التي لم تُدرس بشكل كافٍ في هذا السياق. إضافة إلى ذلك، فإن الدراسة تساهم في تأسيس قاعدة معرفية تساعد في بناء سياسات وأطر مرجعية جديدة لإدارة المرافق من منظور تقني متقدم يتجاوز المفاهيم التشغيلية التقليدية.

1.3.2. على المستوى التطبيقي:

أما على الصعيد التطبيقي، فتتمثل أهمية الدراسة في تقديم نموذج عملي قابل للتنفيذ يُمكن مؤسسات إدارة المرافق من الاستفادة الفعلية من قدرات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل. فالنموذج المقترح يهدف إلى تحسين عمليات اتخاذ القرار داخل المؤسسات، من خلال توفير أدوات تحليلية وتنبؤية مبنية على البيانات، تساهم في تقليل الأعطال المفاجئة، وتحسين أداء الأصول، وتقليل التكاليف التشغيلية بشكل ملحوظ.

تأتي هذه الدراسة استجابة لحاجة ميدانية متزايدة لدى الجهات العامة والخاصة نحو التحول إلى نظم ذكية لإدارة مرافقها، سواء في الأبنية الحكومية، أو الجامعات، أو المستشفيات، أو المنشآت الصناعية والخدمية. ومن خلال التطبيق الفعلي للنموذج، يمكن تحقيق تكامل بين الأنظمة التقنية وفرق التشغيل والصيانة، مما يساهم في تحسين جودة الخدمة، ورفع كفاءة الأداء المؤسسي، وتقليل الهدر في الموارد والوقت.

تساهم الدراسة في تمكين صناع القرار من استيعاب الإمكانيات التطبيقية للذكاء الاصطناعي، وفهم الآليات التي يمكن من خلالها إدماج هذه التقنيات في بنية العمل اليومية للمرافق، لا سيما في ظل التوجهات الوطنية والعالمية نحو الرقمنة، والاستدامة، والمدن الذكية. وبهذا، فإن الدراسة تقدم قيمة مضافة من حيث كونها مشروعًا تطبيقيًا عمليًا يمكن أن يكون نموذجًا مرجعيًا لجهات متعددة تسعى إلى التحديث والتحسين (Okonta، 2024).

1.4. أسئلة الدراسة:

السؤال الرئيسي:

- ما مدى إمكانية تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحسين كفاءة الصيانة والتشغيل؟

الأسئلة الفرعية:

1. ما واقع إدارة المرافق في المؤسسات الحالية، وما أبرز التحديات المرتبطة بكفاءة الصيانة والتشغيل؟
2. ما الإمكانيات التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات التشغيلية وتوقع الأعطال؟
3. كيف يمكن توظيف الذكاء الاصطناعي في تحسين عمليات اتخاذ القرار في مجال إدارة الصيانة والتشغيل؟
4. ما العناصر الأساسية التي ينبغي أن يتضمنها النموذج المتكامل لإدارة المرافق الذكية؟
5. ما أثر النموذج المقترح على تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل التكاليف وزيادة موثوقية الأصول؟

1.5. أهداف الدراسة:

👉 الهدف الرئيسي:

- تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي، بهدف تحسين كفاءة عمليات الصيانة والتشغيل، من خلال تحليل البيانات التشغيلية والتنبؤ بالأعطال، وتعزيز اتخاذ القرار الذكي.

👉 الأهداف الفرعية:

1. تحليل واقع إدارة المرافق الحالية في المؤسسات، وتحديد التحديات التشغيلية المرتبطة بالصيانة وإدارة الأصول.
2. استكشاف تطبيقات الذكاء الاصطناعي المناسبة لإدارة المرافق، وتحديد الأدوات التقنية الأكثر ملاءمة لمعالجة مشكلات التشغيل والصيانة.
3. تصميم نموذج عملي يدمج بين إدارة المرافق والذكاء الاصطناعي، ويعتمد على البيانات التشغيلية في التنبؤ وتحسين الأداء.
4. اختبار مدى فاعلية النموذج المقترح في تحسين كفاءة الصيانة، وتقليل الأعطال، وزيادة جاهزية الأصول.
5. تقديم توصيات تطبيقية تساهم في دعم المؤسسات في تبني النماذج الذكية لإدارة المرافق ضمن استراتيجيات التحول الرقمي.

1.6. فرضيات الدراسة

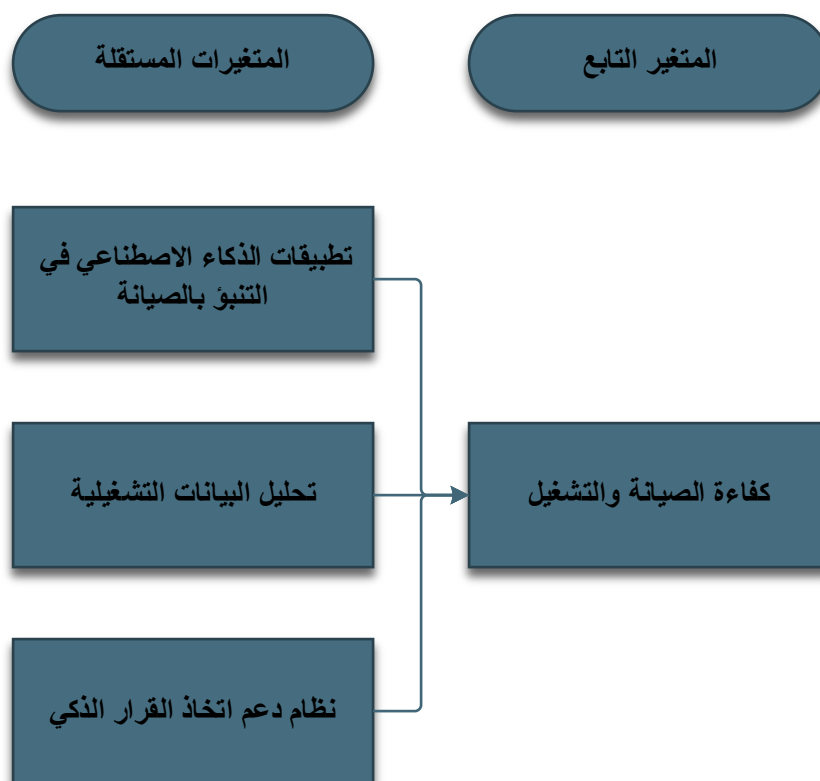
👉 الفرضية الرئيسية:

- تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يساهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.

الفرضيات الفرعية:

1. يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.
2. يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.
3. يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.
4. يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.
5. يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.

1.7. نموذج الدراسة



المصدر: إعداد الباحث

1.8. منهجية الدراسة

- تصميم الدراسة وأسلوب البحث

تعتمد هذه الدراسة على المنهجية الكمية كأساس لجمع وتحليل البيانات بهدف تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام الذكاء الاصطناعي. تم اختيار المنهج الكمي لأنه يسمح بقياس العلاقة بين المتغيرات بدقة، واختبار الفرضيات بشكل موضوعي من خلال استخدام أدوات قياس معيارية، مع ضمان إمكانية التعميم. تم تصميم الدراسة بشكل استكشافي تقييبي، حيث تهدف إلى تقييم مدى تأثير تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة الصيانة والتشغيل، مع التركيز على جمع البيانات من عينة تمثل الواقع التطبيقي. كما اتبع البحث أسلوب الاستبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات الميدانية، مما يسهل تحليل الاتجاهات والارتباطات بين المتغيرات.

- عينة الدراسة

تم اختيار عينة الدراسة باستخدام طريقة العينة العشوائية الطبقية، لضمان تمثيل مختلف الفئات العاملة في مجال إدارة المرافق داخل المؤسسات المختارة. تضم العينة موظفين في أقسام الصيانة، التشغيل، وإدارة الأصول، بالإضافة إلى خبراء في تقنيات الذكاء الاصطناعي. تم تحديد حجم العينة بناءً على معايير إحصائية لضمان قوة نتائج التحليل، حيث تتراوح العينة بين 150 إلى 200 مشاركاً، مما يوفر تمثيلاً كافياً يمكن من خلاله استخلاص استنتاجات دقيقة حول فعالية النموذج المقترح.

- أدوات جمع البيانات

تم تطوير استبانة مكونة من عدة محاور لقياس المتغيرات المستقلة والتابعة للدراسة، حيث اشتملت على أسئلة مغلقة تعتمد على مقياس ليكرت بخمس درجات (من 1 إلى 5)، لتقييم مستويات التطبيق، الرأي، والتصورات المتعلقة باستخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق. اشتملت الاستبانة على مقاييس تم تصميمها وفقاً لمراجع علمية محكمة، مع مراعاة التحقق من الصدق والثبات باستخدام اختبارين تجريبيين قبل التطبيق النهائي. كما تم تضمين أسئلة ديموغرافية تهدف إلى تصنيف المشاركين حسب الجنس، الخبرة العملية، والمؤهل العلمي.

- إجراءات جمع البيانات

تم تنفيذ جمع البيانات من خلال توزيع الاستبانة إلكترونياً وعلى شكل ورقي، تبعاً لسهولة الوصول إلى المشاركين في المؤسسات المختلفة. بدأ الإجراء بتوجيه رسالة تعريفية توضح أهداف الدراسة وأهمية المشاركة لضمان تحقيق أعلى نسبة استجابة

ممكنة، مع التأكيد على سرية المعلومات وخصوصية البيانات. استغرقت مرحلة جمع البيانات حوالي شهرين، شملت متابعات دورية مع المشاركين لتشجيعهم على إكمال الاستبانة. كما تم التأكد من جودة البيانات من خلال مراجعة الاستجابات وتنقيحها قبل مرحلة التحليل.

- طرق تحليل البيانات

تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS والبرمجيات الإحصائية المناسبة، حيث شملت العمليات التحليلية عدة خطوات رئيسية:

- التحليل الوصفي لتحديد خصائص العينة وتوزيع المتغيرات.
- اختبار الصدق والثبات لضمان موثوقية أدوات القياس.
- اختبار الفرضيات باستخدام تقنيات إحصائية مثل تحليل الانحدار المتعدد، وتحليل الارتباط، لاختبار العلاقات بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع.
- تم أيضًا استخدام التحليل التنبؤي في بعض الحالات لتقييم مدى قدرة المتغيرات المستقلة على التنبؤ بكفاءة الصيانة والتشغيل.
- كما جرى تحليل الفروق بين المجموعات الفرعية ضمن العينة باستخدام اختبارات (T-test) و (ANOVA) حيثما كان ذلك مناسبًا.

1.9. الدراسة الميدانية

تعتبر الدراسة الميدانية جزءًا جوهريًا في هذه البحث، حيث تم تصميمها وتنفيذها بهدف جمع البيانات الأولية اللازمة لفهم الواقع العملي لإدارة المرافق في المؤسسات المختارة، وقياس مدى تأثير تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل. وتأتي هذه الدراسة كخطوة تطبيقية تكميلية تُمكن الباحث من التحقق من الفرضيات النظرية، واختبار النموذج المقترح في بيئة حقيقية، مما يعزز من موثوقية النتائج ودقتها.

تم اختيار عدد من المؤسسات التي تمتلك منشآت مرافقية متنوعة تشمل مباني إدارية، صناعية، وخدمية، مع التركيز على تلك التي بدأت أو تنوي البدء في تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن أنظمة صيانتها وتشغيلها. وقد تم التنسيق مع الجهات المعنية في هذه المؤسسات للحصول على التصاريح اللازمة لإجراء البحث، وضمان الوصول إلى البيانات والمعلومات المطلوبة، بالإضافة إلى السماح للمشاركين بالتعبير عن آرائهم وخبراتهم عبر استبانات مُهيكلّة.

شملت الدراسة الميدانية جمع البيانات من خلال استبانة إلكترونية وورقية وُزّعت على موظفي الصيانة، التشغيل، والإدارة الفنية، إضافة إلى الخبراء التقنيين المختصين بالذكاء الاصطناعي. كما تم إجراء بعض المقابلات المفتوحة مع عدد محدود من المختصين لتعميق الفهم حول التحديات والفرص المرتبطة بتطبيق النموذج الذكي، والتي قد لا تُلتقط بشكل كامل من خلال الاستبانات فقط.

وقد تم التركيز في الدراسة الميدانية على عدة محاور رئيسية، منها تقييم مدى معرفة الموظفين بتقنيات الذكاء الاصطناعي، ومدى استخدامهم لها في عمليات الصيانة والتشغيل، وتحديد أهم المشكلات التي تواجهها إدارات المرافق، بالإضافة إلى قياس تصوراتهم حول مدى فاعلية النموذج المقترح في تحسين الأداء التشغيلي وتقليل الأعطال والتكاليف.

أدت نتائج الدراسة الميدانية إلى توفير قاعدة بيانات غنية ومفصلة، ساعدت في اختبار الفرضيات الموضوعة، وإثراء النموذج المقترح بمعطيات واقعية تعكس احتياجات ومتطلبات السوق والمؤسسات. كما مكنت هذه النتائج الباحث من تحديد نقاط القوة والضعف في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي، واقتراح توصيات عملية لتحسين الأداء والفعالية في إدارة المرافق.

مثلت الدراسة الميدانية جسراً هاماً بين النظرية والتطبيق، وأسهمت في تعزيز مصداقية البحث، ووضعت أسساً علمية متينة يمكن الاستناد إليها في تطوير نماذج مشابهة مستقبلاً، مما يفتح آفاقاً واسعة للبحث العلمي والتطبيقي في مجال إدارة المرافق الذكية.

1.10. مخطط المشروع المقترح

(م)	المرحلة	النشاط / المهمة	المدة الزمنية	النتائج المتوقعة
1	اختيار موضوع البحث	تحديد مشكلة البحث وصياغة أهداف الدراسة بدقة	أسبوعان	وضوح موضوع الدراسة وتحديد الأهداف الرئيسية بدقة
2	مراجعة الأدبيات	تحليل الدراسات السابقة والأبحاث المتعلقة بالموضوع	3 أسابيع	تأسيس قاعدة معرفية قوية وتحديد الفجوات البحثية
3	بناء الإطار النظري	تطوير النموذج المفاهيمي وتحديد الفرضيات والمتغيرات الأساسية	أسبوعان	إعداد إطار نظري متكامل يدعم توجهات البحث
4	تصميم أدوات البحث	إعداد استمارة جمع البيانات ومراجعتها من قبل الخبراء	أسبوعان	استمارة دقيقة وموثوقة لجمع المعلومات
5	اختبار الأداة	إجراء اختبار أولي للاستبانة للتحقق من جودتها	أسبوع	التأكد من وضوح الأسئلة وصلاحيّة الأداة لجمع البيانات
6	جمع البيانات	توزيع الاستبانة على العينة المستهدفة وجمعها	3 أسابيع	الحصول على بيانات ميدانية شاملة وجاهزة للتحليل
7	معالجة البيانات	تحليل البيانات باستخدام البرامج الإحصائية مثل SPSS	أسبوعان	نتائج كمية واضحة تدعم أو تدحض الفرضيات
8	مناقشة النتائج	تفسير النتائج وربطها بالأطر النظرية والتطبيقية	أسبوع	فهم عميق لتأثير المتغيرات وتقييم الأثر الحقيقي
9	إعداد التوصيات	صياغة توصيات عملية مبنية على نتائج الدراسة	أسبوع	اقتراح حلول قابلة للتطبيق لتحسين جودة الخدمات
10	كتابة التقرير النهائي	إعداد التقرير العلمي الشامل لكافة مراحل البحث	أسبوعان	تقرير متكامل يعكس كافة مراحل البحث ونتائجه
11	مراجعة وتدقيق	تدقيق محتوى التقرير لغوياً وعلمياً	أسبوع	تقرير نهائي خالٍ من الأخطاء وجاهز للتسليم

12	تقديم الدراسة	عرض ومناقشة الدراسة أمام اللجنة أو الجهات المختصة	حسب الجدول	الحصول على تقييم شامل وتعزيز النتائج النهائية
----	---------------	--	------------	--

2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة

2.1. المقدمة:

يعتبر الفصل الثاني من الدراسة ركيزةً أساسية لبناء الإطار النظري الذي يستند إليه البحث، حيث يتناول بشكل مفصل مجموعة من المفاهيم والنظريات التي تُشكل الدعامة العلمية لفهم المتغيرات الرئيسية التي تؤثر في موضوع الدراسة. هذا الفصل لا يكتفي فقط بعرض التعريفات والمفاهيم، بل يسعى إلى تحليل العلاقة المعقدة بين مكونات النموذج البحثي بشكل منهجي، مما يمهّد الطريق لفهم أعمق لكيفية تفاعل هذه المكونات لتحقيق الهدف الأساسي للدراسة.

في سياق تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق، لا بد من استيعاب طبيعة العوامل التي تلعب دورًا فعالاً في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل. ومن هنا، يركز هذا الفصل على استعراض الأدبيات السابقة التي تناولت موضوعات الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته في مجال الصيانة الذكية وإدارة المرافق، مع توضيح الأساليب المختلفة التي تم استخدامها لتقييم تأثير هذه التقنيات على الأداء التشغيلي. يعكس هذا الاستعراض الجهود العلمية المبذولة لفهم كيفية تحسين عمليات الصيانة من خلال تبني حلول مبتكرة، ويسلط الضوء على الفجوات المعرفية التي لم تُغطَّ بشكل كافٍ في الدراسات السابقة.

يعرض الفصل الأطر النظرية التي تدعم تطوير نموذج البحث، مع التركيز على أهمية دراسة العوامل المؤثرة بشكل مستقل وتلك التي تتفاعل فيما بينها لتحقيق تحسينات ملموسة. تتناول الدراسة في هذا الفصل كيفية التحقق من العلاقات بين هذه العوامل بطريقة علمية دقيقة، إذ إن فهم هذه العلاقة يُعتبر جوهرياً لتفسير مدى تأثير كل عامل على كفاءة الصيانة والتشغيل. هذا التحليل يُمكن الباحث من بناء فرضيات قابلة للاختبار تعكس الواقع التطبيقي وتعزز من مصداقية النتائج.

تكمن أهمية هذا الفصل في كونه يزود الباحث والقارئ على حد سواء بإطار فكري متكامل يُساعد على تصور كيفية استغلال إمكانات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال لتحسين جودة العمليات التشغيلية. إذ أن الإلمام بالعلاقة بين العوامل المختلفة يسمح بتطوير أدوات ونماذج قادرة على تقديم حلول عملية وقابلة للتطبيق في بيئة العمل، مما يعزز القدرة على اتخاذ قرارات مستنيرة تستند إلى بيانات وتحليلات دقيقة.

يشكل هذا الفصل نقطة انطلاق ضرورية لفهم كيف يمكن أن تؤثر العناصر المختلفة، والتي تم تناولها بشكل منفصل ومتداخل، في تعزيز كفاءة الصيانة والتشغيل من خلال الذكاء الاصطناعي. كما أنه يوفر الأساس النظري والعملي الذي يبنى عليه الباحث باقي فصول الدراسة، من خلال تقديم تحليل علمي منهجي ومتكامل يدعم تطوير النموذج المقترح وتقييمه.

2.2. المتغيرات المستقلة:

1. تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة:

يمثل هذا المتغير مدى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي مثل تعلم الآلة، الشبكات العصبية، والتحليل التنبؤي، في التوقع المسبق للأعطال والصيانة الوقائية. تشمل تطبيقات الذكاء الاصطناعي قدرة النظام على تحليل البيانات التاريخية والتشغيلية لمعدات المرافق، واكتشاف الأنماط غير المرئية التي قد تشير إلى خلل محتمل، مما يمكن الفرق الفنية من التدخل في الوقت المناسب لتفادي الأعطال. ويُعتبر هذا المتغير أساسياً في الانتقال من الصيانة التقليدية القائمة على الجدولة الزمنية أو الاستجابة بعد وقوع العطل إلى صيانة استباقية ذكية (Tran، 2021).

2. تحليل البيانات التشغيلية:

هذا المتغير يشير إلى قدرة النظام على جمع ومعالجة وتحليل البيانات التشغيلية الكبيرة والمتنوعة التي تنتج عن عمليات تشغيل المرافق اليومية. ويشمل ذلك استخدام أدوات وتقنيات تحليل البيانات الضخمة (Big Data Analytics) لاستنباط رؤى قيمة تساعد في تحسين الأداء التشغيلي، اكتشاف الاختناقات، وتقديم توصيات مبنية على بيانات دقيقة. يُعزز هذا التحليل الفهم الشامل لبيئة التشغيل، مما يتيح إدارة أكثر فعالية ومرونة للمرافق (Hossain، 2024).

3. نظام دعم اتخاذ القرار الذكي:

يشمل هذا المتغير الأنظمة والأدوات التي تستخدم الذكاء الاصطناعي لتوفير دعم ذكي في اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل، من خلال تقديم حلول واقتراحات مبنية على تحليل متعمق للبيانات والتنبؤات. يتميز هذا النظام بقدرته على معالجة سيناريوهات مختلفة، وتقديم خيارات متعددة مدعومة بمؤشرات أداء، مما يسهل على مديري المرافق والفنيين اختيار الحلول الأمثل لتحسين الكفاءة وتقليل المخاطر التشغيلية (Soori، 2024).

2.3. المتغير التابع:

- كفاءة الصيانة والتشغيل:

يُعد هذا المتغير هو محور الدراسة، حيث يعبر عن مدى فعالية وكفاءة عمليات الصيانة والتشغيل داخل المؤسسات والمنشآت التي تدير المرافق. ويتجلى ذلك من خلال مؤشرات مثل تقليل أوقات التعتّل، تحسين جودة الصيانة، زيادة عمر المعدات، خفض التكاليف التشغيلية، وتحسين الجاهزية التشغيلية للأصول. ويقاس هذا المتغير قدرة المؤسسة على إدارة أصولها التشغيلية بكفاءة عالية من خلال تقليل الأعطال المفاجئة، وزيادة الفعالية في استخدام الموارد البشرية والمادية (Sa'ad، 2025).

2.4. العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع:

تشكل المتغيرات المستقلة الثلاثة المحددة أعلاه العوامل الأساسية التي تؤثر بشكل مباشر على كفاءة الصيانة والتشغيل، المتغير التابع في هذه الدراسة. حيث يُتوقع أن يؤدي تعزيز استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة إلى تقليل الأعطال وتحسين فعالية التدخلات الفنية، ما ينعكس إيجاباً على كفاءة التشغيل. بالموازاة، يُساهم تحليل البيانات التشغيلية في توفير رؤية متكاملة عن حالة الأصول والعمليات، مما يدعم تحسين خطط الصيانة وتنظيم الموارد بشكل أكثر دقة وفعالية. أما نظام دعم اتخاذ القرار الذكي، فيعمل كأداة محورية لربط المعلومات والرؤى المستخلصة من التنبؤ والتحليل بعملية اتخاذ القرار اليومي، مما يرفع من سرعة ودقة اتخاذ القرارات التشغيلية والاستراتيجية. بالتالي، فإن التفاعل والتكامل بين هذه المتغيرات المستقلة يُسهم بشكل مجتمعي في رفع مستوى كفاءة الصيانة والتشغيل، وتحقيق أداء مستدام ومتطور للمرافق (Sandu، 2022).

2.5. الخاتمة:

إن ما تم استعراضه من مفاهيم وأطر نظرية شكّل قاعدة معرفية أساسية لفهم الأبعاد العميقة لموضوع الحوكمة الرشيدة في الأجهزة الحكومية، ولا سيما في سياق الإدارة المحلية. لقد تناول الفصل عناصر محورية تُسهم في تفسير سلوك المؤسسة الحكومية، وتُمكن من تحليل وتقييم مدى التزامها بالقيم والمبادئ التي ترتكز عليها الحوكمة، من خلال التطرق إلى مجموعة من العوامل الجوهرية التي تُعد فاعلة في هذا السياق الإداري.

وقد تم خلال هذا الفصل بناء رؤية تحليلية متكاملة للبيئة التنظيمية والإدارية التي تعمل ضمنها الجهات المعنية، مع التركيز على كيفية تفاعل المكونات الداخلية مع بعضها البعض، ومدى تأثيرها على تحقيق معايير الأداء الرشيد. كما أُعطي اهتمام خاص للعلاقة التفاعلية التي تربط بين هذه المكونات، ليس باعتبارها عناصر منفصلة، بل باعتبارها شبكة مترابطة تُمثّل في تكاملها شرطاً أساسياً لتفعيل الممارسات المؤسسية السليمة.

إن هذا التناول النظري لا يهدف فقط إلى التعريف بالمفاهيم الإدارية المجردة، بل يسعى إلى توظيفها لفهم السياق الواقعي الذي تعمل فيه أمانات المناطق، حيث تمثل هذه المؤسسات واجهة الدولة أمام المواطنين، وتُعد من أكثر الجهات الحكومية تماساً بالحياة اليومية للناس. ومن هذا المنطلق، فإن فهم العوامل المؤثرة في أدائها، وكيفية تفاعلها الداخلي، يُعد أمراً ضرورياً لتفسير واقع الحوكمة، ويمهّد بشكل مباشر للمرحلة الميدانية من الدراسة التي سيتم فيها اختبار هذه المفاهيم والعلاقات من خلال أدوات كمية قابلة للقياس والتحليل.

إن القيمة العلمية لهذا الفصل لا تكمن فقط في ما يقدمه من إيضاحات نظرية، وإنما في كونه أرسى الأساس الذي ستُبنى عليه الإجراءات البحثية اللاحقة، بما فيها تصميم أدوات الدراسة، وتفسير نتائجها، واستنباط التوصيات التطبيقية. إنه فصل يربط بين النظرية والميدان، بين الفرضية والتجربة، ويُسهم في تعميق الفهم الأكاديمي لموضوع بالغ الأهمية في مسيرة تطوير العمل الحكومي في المملكة العربية السعودية.

3. الفصل الثالث: منهجية الدراسة

3.1. المقدمة:

يمثل الفصل الثالث من هذه الدراسة الركيزة المنهجية التي تستند إليها بقية فصول البحث، إذ ينتقل العمل من الإطار النظري الذي تناول مفاهيم إدارة المرافق وتطبيقات الذكاء الاصطناعي إلى الإطار التطبيقي الذي يوضح الكيفية العملية التي تم من خلالها اختبار الفرضيات وبناء النموذج المقترح. ففي هذا الفصل يتم توضيح الأسس العلمية والإجرائية التي ضمنت سلامة تنفيذ الدراسة ودقة نتائجها، بما يعزز من مصداقية النموذج المقترح وقدرته على الإسهام الفعلي في تطوير ممارسات إدارة المرافق في بيئات العمل الحديثة.

وتبرز أهمية هذا الفصل في كونه يحدد الإطار العملي الذي تم من خلاله تحويل المفاهيم النظرية إلى إجراءات قابلة للقياس والتحليل. فالباحث في مجال تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يتطلب تحديدًا دقيقًا لمفاهيم مثل كفاءة الصيانة، الأداء التشغيلي، الاستجابة للأعطال، التنبؤ بالأعطال، إدارة الأصول، ومستوى الجاهزية التشغيلية، بحيث يتم التعامل معها بوصفها متغيرات قابلة للقياس الكمي أو الوصفي. إن وضوح هذه المحددات الإجرائية يسهم في إزالة أي لبس مفاهيمي، ويضمن أن تكون النتائج المستخلصة قائمة على أسس موضوعية يمكن إعادة اختبارها والتحقق منها في دراسات لاحقة.

كما يتناول هذا الفصل توضيح الإطار التصميمي الذي اعتمدت عليه الدراسة، والذي يعكس طبيعة المشكلة البحثية وأهدافها. فبناء نموذج متكامل لإدارة المرافق لا يقتصر على الوصف النظري، بل يتطلب تصميمًا بحثيًا يتيح اختبار العلاقات بين المتغيرات، وقياس أثر تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على مؤشرات الأداء التشغيلية والصيانة. ويكتسب هذا الجانب أهمية خاصة نظرًا لارتباط إدارة المرافق بعوامل متعددة، تشمل الموارد البشرية، الأنظمة التقنية، البنية التحتية، وبيئة العمل، الأمر الذي يفرض اختيار تصميم بحثي يراعي هذه التعقيدات ويوفر أدوات تحليل مناسبة.

ويولي الفصل اهتمامًا خاصًا بتحديد الإطار البشري والمؤسسي الذي تنتهي إليه الدراسة، من خلال توضيح خصائص البيئة التي طُبّق فيها النموذج، سواء كانت مؤسسات تعليمية أو صحية أو صناعية أو مجتمعات تجارية. إن تحديد هذا الإطار يعزز من فهم طبيعة النتائج ومدى إمكانية تعميمها. كما أن عرض آلية اختيار المشاركين أو مصادر البيانات يعكس مستوى الدقة المنهجية ويؤكد أن النتائج لم تكن عشوائية، بل جاءت نتيجة تخطيط علمي يراعي تمثيل الفئات المستهدفة تمثيلًا مناسبًا.

ويتطرق الفصل كذلك إلى توضيح الكيفية التي تم بها جمع البيانات، سواء كانت بيانات كمية مستمدة من أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS)، أو بيانات مستخلصة من أجهزة الاستشعار وإنترنت الأشياء، أو بيانات نوعية تم الحصول عليها من خلال استبانات أو مقابلات مع مديري المرافق والفنيين. إن توضيح آليات الجمع يكتسب أهمية بالغة في دراسات الذكاء الاصطناعي، حيث تعتمد جودة النموذج المقترح بشكل مباشر على جودة البيانات المستخدمة في تدريبه وتحليله. فكلما كانت البيانات دقيقة وممثلة للواقع التشغيلي، كانت النتائج أكثر موثوقية وقابلية للتطبيق.

كما يبين هذا الفصل طبيعة البيانات التي اعتمدت عليها الدراسة، سواء من حيث كونها بيانات تاريخية أو آنية، هيكلية أو غير هيكلية، رقمية أو وصفية. ويعد هذا التفصيل ضروريًا في الدراسات التي توظف تقنيات الذكاء الاصطناعي، نظرًا لأن نوع البيانات يؤثر في اختيار الخوارزميات المناسبة وأساليب المعالجة المسبقة والتحليل. ومن ثم فإن عرض هذه الجوانب يعكس تكامل الجانب التقني مع الجانب المنهجي في البحث.

ويختتم الفصل بعرض الإجراءات التحليلية التي تم اعتمادها لاستخلاص النتائج، بما يشمل الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية، إضافة إلى مؤشرات تقييم أداء النموذج المقترح. إن توضيح هذه الإجراءات يضمن أن تكون عملية تفسير النتائج مبنية على أسس علمية دقيقة، ويعزز من الثقة في الاستنتاجات التي توصلت إليها الدراسة بشأن أثر استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة وتقليل الأعطال وخفض التكاليف التشغيلية.

إن هذا الفصل يمثل الجسر الذي يربط بين الطرح النظري والتطبيق العملي، ويعكس مدى التزام الدراسة بالمنهجية العلمية في اختبار فرضياتها وتحقيق أهدافها. ومن خلال ما يتضمنه من توضيحات منهجية دقيقة، يساهم في ترسيخ موثوقية النموذج المقترح ويدعم إمكانية تبنيه في مؤسسات تسعى إلى تطوير إدارة مرافقها وفق أحدث التقنيات الذكية، بما يواكب متطلبات التحول الرقمي ويعزز الاستدامة التشغيلية على المدى الطويل.

3.2. التعريفات الإجرائية لمتغيرات البحث:

أولاً: المتغيرات المستقلة

- تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة

يُعرّف هذا المتغير إجرائيًا في ضوء درجة تبني المؤسسة لتقنيات الذكاء الاصطناعي التي تعتمد على تحليل البيانات التاريخية واللحظية الخاصة بالأصول والمعدات بهدف التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها وتحديد أنسب توقيتات التدخل الصياني. ويقاس هذا المتغير من خلال مؤشرات كمية تعكس قدرة الأنظمة المستخدمة على التنبؤ الدقيق بالأعطال وتقليل التوقفات المفاجئة، إضافة إلى مدى انخفاض الأعطال غير المخطط لها بعد تطبيق تقنيات التنبؤ. كما يُقاس من خلال استجابات أفراد العينة تجاه فاعلية هذه التطبيقات في تحسين التخطيط للصيانة، وتقليل الهدر في الموارد، ورفع جاهزية الأصول التشغيلية. وعليه، فإن القيمة الإجرائية لهذا المتغير تتمثل في مستوى الاستخدام الفعلي للأنظمة التنبؤية ومدى انعكاسها على الأداء الصياني.

- تحليل البيانات التشغيلية

يُقصد بهذا المتغير إجرائيًا مدى توظيف أدوات وتقنيات التحليل الذكي للبيانات الناتجة عن العمليات التشغيلية داخل المرافق، سواء كانت بيانات متعلقة باستهلاك الطاقة، أو معدلات تشغيل المعدات، أو أوقات التوقف، أو أنماط الاستخدام. ويتم قياسه من خلال درجة اعتماد الإدارة على نتائج التحليل في تقييم الأداء، واكتشاف مواطن القصور، وتحسين كفاءة توزيع الموارد. كما يُعبّر عنه بمدى تكامل أنظمة جمع البيانات ودقتها وانتظام استخدامها في إعداد التقارير واتخاذ الإجراءات التصحيحية. ويعكس هذا التعريف الإجرائي حجم الاستفادة الفعلية من البيانات التشغيلية في دعم التحسين المستمر داخل بيئة المرافق.

- نظام دعم اتخاذ القرار الذكي

يُعرّف هذا المتغير إجرائيًا بأنه مستوى استخدام الأنظمة الذكية التي تقدم توصيات مبنية على تحليل البيانات والخوارزميات التنبؤية لدعم الإدارة في اتخاذ قرارات تتعلق بالصيانة والتشغيل وإدارة الموارد. ويتم قياسه من خلال مدى اعتماد متخذي القرار على المخرجات التي يوفرها النظام، وسرعة الاستجابة للقرارات التشغيلية، وتحسن نتائج القرارات بعد تطبيق النظام مقارنة بالفترات السابقة. كما يُقاس من خلال تقييم المستخدمين لمدى دقة التوصيات وموثوقيتها وسهولة الاستفادة منها في

البيئة العملية. وبذلك يعكس هذا المتغير درجة التحول من اتخاذ القرار التقليدي إلى اتخاذ قرار مدعوم بتحليل ذكي قائم على البيانات.

ثانياً: المتغير التابع

- كفاءة الصيانة والتشغيل

تُعرّف كفاءة الصيانة والتشغيل إجرائيًا بأنها مستوى التحسن الكمي والنوعي الذي يطرأ على أداء أنشطة الصيانة والعمليات التشغيلية داخل المرافق نتيجة تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي. ويُقاس هذا المتغير من خلال مؤشرات أداء فعلية تشمل انخفاض معدلات الأعطال المفاجئة، وتقليل زمن التوقف، وتحسن سرعة الاستجابة للصيانة، وزيادة الالتزام بالخطط المجدولة، إلى جانب خفض التكاليف التشغيلية وارتفاع مستوى رضا المستفيدين من خدمات المرافق. كما يُقاس إدراكياً عبر تقديرات العاملين حول مدى التحسن الذي تحقق في كفاءة العمليات بعد تطبيق النموذج المقترح. وبذلك تم تحديد المتغيرات بصورة إجرائية واضحة تسمح بقياسها ميدانيًا وتحليل العلاقة بينها إحصائيًا، بما يمكن من اختبار أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجالات التنبؤ والتحليل ودعم القرار على مستوى كفاءة الصيانة والتشغيل في بيئة المرافق محل الدراسة.

3.3. تصميم البحث:

يرتكز تصميم البحث في هذه الدراسة على بناء إطار منهجي متكامل يجمع بين الطابع الوصفي والتحليلي من جهة، والطابع التطبيقي من جهة أخرى، وذلك بما يتلاءم مع طبيعة المشكلة البحثية المتمثلة في تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي. فالدراسة لا تقتصر على وصف واقع إدارة المرافق، بل تتجاوز ذلك إلى تحليل العلاقات بين المتغيرات واختبار أثر توظيف تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة وتحليل البيانات التشغيلية ودعم اتخاذ القرار على مستوى كفاءة الصيانة والتشغيل. ومن ثمّ، فقد تم اعتماد تصميم بحثي يسمح بفحص هذه العلاقات بصورة كمية دقيقة، مع إتاحة المجال لفهم الأبعاد التطبيقية المرتبطة ببيئة العمل الفعلية.

وقد استند التصميم إلى منهج كمي يعتمد على جمع بيانات قابلة للقياس والتحليل الإحصائي، بهدف اختبار الفرضيات المتعلقة بالعلاقة السببية أو الارتباطية بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع. ويُعد هذا التوجه مناسباً لطبيعة الدراسة التي تسعى إلى قياس مستوى التحسن في مؤشرات الأداء بعد تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي، حيث يتطلب ذلك مؤشرات كمية واضحة يمكن تحليلها واستخلاص دلالاتها الإحصائية. كما تم توظيف بعدٍ مقارن في التصميم، من خلال تحليل الفروق في الأداء قبل تطبيق النموذج المقترح وبعده – متى ما توفرت البيانات – أو من خلال مقارنة وحدات تنظيمية تختلف في مستوى تبنيها للتقنيات الذكية.

ويراعي التصميم البحثي كذلك البعد التطبيقي للنموذج المقترح، إذ لا يقتصر على اختبار العلاقات النظرية، بل يهدف إلى تقديم نموذج عملي قابل للتنفيذ في بيئات إدارة المرافق. لذلك تم بناء التصميم بطريقة تسمح بتجميع بيانات من الواقع التشغيلي للمؤسسات محل الدراسة، سواء من خلال الأنظمة الرقمية المعتمدة أو من خلال آراء المختصين والعاملين في المجال. ويسهم هذا التكامل بين البيانات الموضوعية والبيانات الإدراكية في تقديم صورة شاملة عن أثر الذكاء الاصطناعي في رفع الكفاءة التشغيلية والصيانة.

كما أخذ تصميم البحث في الاعتبار طبيعة البيئة التنظيمية والتقنية التي تُطبق فيها أنظمة إدارة المرافق، بما في ذلك مستوى البنية التحتية الرقمية، ومدى جاهزية الموارد البشرية للتعامل مع الأنظمة الذكية. وقد انعكس ذلك في بناء أدوات قياس تتسم بالمرونة والقدرة على رصد الفروق الفردية والمؤسسية، الأمر الذي يعزز من دقة النتائج ويزيد من إمكانية تعميمها على مؤسسات مشابهة.

ويشكل وضوح تصميم البحث عنصراً أساسياً في ضمان موثوقية النتائج، إذ يحدد المسار المنهجي الذي تسير عليه الدراسة منذ مرحلة تحديد المشكلة وحتى مرحلة تحليل النتائج وتفسيرها. كما يضمن اتساق الإجراءات البحثية مع أهداف الدراسة وفرضياتها، ويحد من احتمالية التحيز أو العشوائية في جمع البيانات وتحليلها. ومن خلال هذا التصميم المنظم، أصبحت الدراسة قادرة على تقديم نموذج متكامل لإدارة المرافق مدعوم بأدلة علمية ونتائج إحصائية تعكس الواقع الفعلي للتطبيق، بما يعزز من قيمته العلمية والتطبيقية في مجال التحول الرقمي وإدارة الأصول والمرافق بكفاءة عالية.

3.4. مجتمع البحث وطرق وتقنيات أخذ العينة:

يتحدد مجتمع البحث في هذه الدراسة بجميع الأفراد والجهات ذات العلاقة المباشرة بإدارة المرافق داخل المؤسسات التي تتبنى أو تسعى إلى تبني تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجالات الصيانة والتشغيل. ويشمل ذلك مديري إدارات المرافق، ومشرفي الصيانة، والمهندسين الفنيين، ومحلي البيانات التشغيلية، إضافة إلى القيادات الإدارية المسؤولة عن اتخاذ القرار في ما يتعلق بتطوير الأنظمة التقنية والبنية التحتية الرقمية. ويأتي تحديد هذا المجتمع انطلاقاً من طبيعة الدراسة التي تتناول تطوير نموذج متكامل، مما يتطلب إشراك الفئات التي تمثل المستويات الإدارية والفنية المختلفة لضمان شمولية الرؤية ودقة التقييم. كما قد يمتد المجتمع ليشمل المؤسسات ذات البنية التحتية التقنية المتقدمة نسبياً، نظراً لارتباط موضوع الدراسة بتطبيقات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات.

وقد تم تحديد مجتمع البحث وفق معايير موضوعية ترتبط بمدى انخراط المؤسسة في استخدام أنظمة إدارة المرافق الرقمية، وتوافر بيانات تشغيلية وصيانة يمكن الاستفادة منها في التحليل. ويسهم هذا التحديد في ضمان اتساق المجتمع مع أهداف الدراسة، بحيث تكون النتائج معبرة عن بيئة تطبيقية حقيقية وليست افتراضية. كما يراعي هذا التحديد التنوع في طبيعة المؤسسات من حيث الحجم والنشاط، بما يعزز من ثراء البيانات ويزيد من إمكانية الاستفادة من النتائج في سياقات متعددة. أما فيما يتعلق بطرق وتقنيات أخذ العينة، فقد تم الاعتماد على أسلوب يضمن تمثيلاً مناسباً للفئات المختلفة داخل مجتمع البحث، مع مراعاة الاعتبارات العملية المرتبطة بإمكانية الوصول إلى المشاركين وتوفير البيانات. ويُراعى في اختيار العينة أن تكون كافية إحصائياً لتحقيق القدرة على اختبار الفرضيات واستخلاص نتائج ذات دلالة معنوية. كما يتم التأكد من تنوع خصائص أفراد العينة من حيث الخبرة المهنية، وطبيعة المهام الوظيفية، ومستوى التعامل مع الأنظمة الذكية، وذلك بهدف الحصول على صورة متكاملة تعكس الواقع الفعلي لإدارة المرافق.

وقد استخدمت تقنيات منهجية تتيح تقليل التحيز وزيادة درجة تمثيل العينة للمجتمع الأصلي، سواء من خلال الاختيار العشوائي في حال توفر قوائم شاملة بالأفراد، أو من خلال أساليب مقصودة عند الحاجة إلى التركيز على فئات تمتلك خبرة مباشرة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي. ويعزز هذا التوجه من مصداقية النتائج، إذ يضمن أن البيانات المستخلصة تعبر عن آراء وخبرات ذات صلة وثيقة بموضوع الدراسة.

إن العناية بتحديد مجتمع البحث واختيار العينة بصورة منهجية دقيقة تمثل عنصرًا جوهريًا في هذه الدراسة، نظرًا لأن دقة النتائج وموضوعيتها ترتبط ارتباطًا مباشرًا بمدى تمثيل العينة وملاءمتها لأهداف البحث. ومن خلال هذا الإطار المنظم، أمكن جمع بيانات تعكس واقع تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق، بما يدعم اختبار أثرها في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل بصورة علمية موثوقة وقابلة للتعميم في حدود السياق المدروس.

3.5. طريقة جمع البيانات:

اعتمدت هذه الدراسة على منهجية منظمة ومتدرجة في جمع البيانات، بما ينسجم مع طبيعة موضوعها القائم على توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في بيئة تشغيلية حقيقية. وقد تم تصميم عملية جمع البيانات بحيث تجمع بين البيانات الكمية الموضوعية المستمدة من الأنظمة الرقمية، والبيانات الوصفية التي تعكس تصورات وخبرات العاملين في مجال إدارة المرافق. ويأتي هذا التكامل إدراكًا لأهمية الجمع بين المؤشرات الفعلية للأداء وبين التقييم الإدراكي للممارسات التقنية، لضمان بناء صورة شاملة تعكس الواقع التشغيلي بدقة.

في الجانب الكمي، تم الاعتماد على البيانات التشغيلية والصيانة المسجلة في أنظمة إدارة المرافق الرقمية، بما يشمل سجلات الأعطال، وأوقات التوقف، وتكاليف الصيانة، ومعدلات الاستجابة، ومؤشرات استهلاك الموارد. وقد تم استخراج هذه البيانات وفق آلية منظمة تضمن دقتها واكتمالها، مع التحقق من اتساقها عبر فترات زمنية محددة تسمح بالمقارنة والتحليل. كما روعي في هذه المرحلة تنقية البيانات ومعالجتها مبدئيًا لاستبعاد القيم الشاذة أو غير المكتملة، وذلك لضمان صلاحيتها للاستخدام في التحليل الإحصائي وبناء النموذج المقترح.

أما في الجانب الوصفي، فقد تم جمع البيانات من خلال أداة استبانة أُعدت خصيصًا لقياس درجة تبني تطبيقات الذكاء الاصطناعي ومستوى تأثيرها في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل. وقد صُممت الاستبانة استنادًا إلى الإطار النظري للدراسة وأهدافها، بحيث تغطي مختلف الأبعاد المرتبطة بالتنبؤ بالصيانة، وتحليل البيانات التشغيلية، ودعم اتخاذ القرار. وتم توزيع الأداة على أفراد العينة من العاملين في إدارات المرافق، مع توضيح هدف الدراسة وضمان سرية الإجابات لتعزيز دقة

الاستجابات وموضوعيتها. كما تم التأكد من صدق الأداة وثباتها باستخدام إجراءات إحصائية مناسبة قبل اعتمادها بشكل نهائي.

أُخذ بعين الاعتبار توحيد إجراءات جمع البيانات لضمان الاتساق بين مختلف الجهات المشاركة في الدراسة. فقد تم تحديد فترة زمنية موحدة لجمع البيانات، مع تقديم إرشادات واضحة للمشاركين حول كيفية تعبئة الاستبانة، وآلية استخراج البيانات من الأنظمة الرقمية. ويسهم هذا التنظيم في تقليل التباين الناتج عن اختلاف أساليب التطبيق، ويعزز من موثوقية النتائج المستخلصة.

وتكمن أهمية هذه المنهجية في أنها تتيح الربط بين الواقع التشغيلي الفعلي كما تعكسه البيانات الرقمية، وبين الرؤية الإدراكية للعاملين الذين يتعاملون يوميًا مع أنظمة الذكاء الاصطناعي. ومن خلال هذا التكامل، أصبحت البيانات المجموعة قادرة على دعم التحليل الإحصائي واختبار الفرضيات بصورة دقيقة، مما يسهم في تقييم فاعلية النموذج المقترح وتحديد مدى إسهامه في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل داخل بيئة إدارة المرافق.

3.6. أنواع البيانات:

- أولاً: البيانات الأولية

تتمثل البيانات الأولية في المعلومات التي تم جمعها مباشرةً من مجتمع البحث لأغراض هذه الدراسة تحديداً، وذلك بهدف قياس متغيراتها واختبار فرضياتها في ضوء الواقع الفعلي لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق. وقد تم الحصول على هذا النوع من البيانات من خلال أدوات صُممت خصيصاً بما يتوافق مع أهداف الدراسة وإطارها النظري، بما يضمن ملاءمتها لقياس أبعاد المتغيرات المستقلة والمتغير التابع بدقة.

وتعكس البيانات الأولية آراء وخبرات العاملين في إدارات المرافق، ومدى تعاملهم مع أنظمة التنبؤ بالصيانة، وتحليل البيانات التشغيلية، ونظم دعم اتخاذ القرار الذكية، إضافة إلى تقييمهم لمستوى التحسن في كفاءة الصيانة والتشغيل. وتتميز هذه البيانات بكونها حديثة ومباشرة، وتعبر عن الواقع التطبيقي في المؤسسات محل الدراسة، الأمر الذي يعزز من قدرتها على

تفسير النتائج وربطها بالسياق العملي. كما أنها تُعد الأساس في إجراء التحليلات الإحصائية واختبار العلاقات بين المتغيرات، نظراً لارتباطها المباشر بمشكلة الدراسة وأهدافها.

- ثانياً: البيانات الثانوية

أما البيانات الثانوية، فتتمثل في المعلومات التي تم الحصول عليها من مصادر قائمة مسبقاً ولم تُجمع خصيصاً لهذه الدراسة، ولكن تم الاستفادة منها لدعم الإطار النظري وتعزيز الفهم العلمي لموضوع البحث. وتشمل هذه البيانات ما ورد في الدراسات السابقة، والبحوث العلمية المحكمة، والكتب المتخصصة في إدارة المرافق والدكاء الاصطناعي، إضافة إلى التقارير الفنية والمراجع العلمية ذات الصلة.

وقد أسهمت البيانات الثانوية في بناء الخلفية النظرية للدراسة، وصياغة الفرضيات، وتحديد المتغيرات وأبعادها، كما وفرت أساساً للمقارنة بين نتائج الدراسة الحالية ونتائج الدراسات الأخرى. كذلك تم الاستفادة من بعض السجلات والتقارير المؤسسية المتاحة، مثل تقارير الأداء والصيانة السابقة، لتوفير سياق تاريخي يساعد في تفسير النتائج.

ويعد التكامل بين البيانات الأولية والثانوية عنصراً جوهرياً في هذه الدراسة، إذ يتيح الجمع بين التحليل النظري والقياس الميداني، مما يعزز من عمق الدراسة ومصداقية نتائجها، ويدعم بناء نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على أسس علمية وتطبيقية متينة.

3.7. إجراءات التحليل الإحصائي:

- التمهيد لمعالجة البيانات وتجهيزها للتحليل

بدأت إجراءات التحليل الإحصائي بمراجعة البيانات التي تم جمعها، سواء من الاستبانات أو من السجلات التشغيلية الرقمية، وذلك للتأكد من اكتمالها وخلوها من الأخطاء أو القيم غير المنطقية. وقد شملت هذه المرحلة ترميز البيانات، وإدخالها إلى البرنامج الإحصائي المعتمد، ومعالجة القيم المفقودة، والكشف عن القيم المتطرفة التي قد تؤثر في دقة النتائج. كما تم التأكد

من ملاءمة البيانات للتحليل من خلال اختبار التوزيع الطبيعي وقياس مستوى الاتساق الداخلي لأداة الدراسة، بما يضمن الاعتماد على بيانات تتسم بالثبات والصدق الإحصائي.

- التحليل الوصفي للبيانات

في هذه المرحلة تم استخدام الأساليب الإحصائية الوصفية بهدف تقديم صورة عامة عن خصائص أفراد العينة ومستوى استجاباتهم تجاه متغيرات الدراسة. وشمل ذلك حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية، وذلك لتحديد اتجاهات الإجابات ودرجة توافر تطبيقات الذكاء الاصطناعي في بيئة إدارة المرافق، وكذلك مستوى كفاءة الصيانة والتشغيل. ويسهم التحليل الوصفي في تكوين فهم أولي لطبيعة البيانات وتحديد الأنماط العامة التي تمهد للانتقال إلى التحليل الاستدلالي.

- التحليل الاستدلالي واختبار الفرضيات

اعتمدت الدراسة على مجموعة من الأساليب الإحصائية الاستدلالية لاختبار الفرضيات المتعلقة بالعلاقة بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع. وقد تم استخدام معاملات الارتباط لقياس قوة واتجاه العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة والتشغيل، كما تم توظيف أساليب تحليل الانحدار لقياس مقدار التأثير الذي تحدثه المتغيرات المستقلة في المتغير التابع، وتحديد نسبة التباين المفسر في كفاءة الصيانة والتشغيل. ويسمح هذا النوع من التحليل بتحديد ما إذا كانت العلاقات ذات دلالة إحصائية، وبالتالي قبول الفرضيات أو رفضها بناءً على معايير علمية دقيقة.

- تفسير النتائج والتحقق من صلاحية النموذج

في المرحلة النهائية من التحليل، تم تفسير النتائج في ضوء أهداف الدراسة وإطارها النظري، مع ربط المؤشرات الإحصائية بالواقع العملي لإدارة المرافق. كما تم التحقق من مدى ملاءمة النموذج المقترح من خلال فحص قوة العلاقة بين المتغيرات وقدرته على تفسير التحسن في كفاءة الصيانة والتشغيل. وأسهمت هذه الإجراءات في التأكد من أن النتائج المستخلصة ليست مجرد علاقات عشوائية، بل تمثل تأثيرًا حقيقيًا يمكن الاستناد إليه في تطوير نموذج متكامل يعتمد على الذكاء الاصطناعي لتحسين الأداء التشغيلي والصياني داخل المؤسسات.

3.8. الخاتمة:

يمثل الفصل الثالث من هذه الدراسة الركيزة المنهجية التي تستند إليها بقية فصول البحث، إذ ينتقل العمل من الإطار النظري الذي تناول مفاهيم إدارة المرافق وتطبيقات الذكاء الاصطناعي إلى الإطار التطبيقي الذي يوضح الكيفية العملية التي تم من خلالها اختبار الفرضيات وبناء النموذج المقترح. ففي هذا الفصل يتم توضيح الأسس العلمية والإجرائية التي ضمنت سلامة تنفيذ الدراسة ودقة نتائجها، بما يعزز من مصداقية النموذج المقترح وقدرته على الإسهام الفعلي في تطوير ممارسات إدارة المرافق في بيئات العمل الحديثة.

وتبرز أهمية هذا الفصل في كونه يحدد الإطار العملي الذي تم من خلاله تحويل المفاهيم النظرية إلى إجراءات قابلة للقياس والتحليل. فالباحث في مجال تطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يتطلب تحديدًا دقيقًا لمفاهيم مثل كفاءة الصيانة، الأداء التشغيلي، الاستجابة للأعطال، التنبؤ بالأعطال، إدارة الأصول، ومستوى الجاهزية التشغيلية، بحيث يتم التعامل معها بوصفها متغيرات قابلة للقياس الكمي أو الوصفي. إن وضوح هذه المحددات الإجرائية يسهم في إزالة أي لبس مفاهيمي، ويضمن أن تكون النتائج المستخلصة قائمة على أسس موضوعية يمكن إعادة اختبارها والتحقق منها في دراسات لاحقة.

كما يتناول هذا الفصل توضيح الإطار التصميمي الذي اعتمدت عليه الدراسة، والذي يعكس طبيعة المشكلة البحثية وأهدافها. فبناء نموذج متكامل لإدارة المرافق لا يقتصر على الوصف النظري، بل يتطلب تصميمًا بحثيًا يتيح اختبار العلاقات بين المتغيرات، وقياس أثر تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على مؤشرات الأداء التشغيلية والصيانة. ويكتسب هذا الجانب أهمية خاصة نظرًا لارتباط إدارة المرافق بعوامل متعددة، تشمل الموارد البشرية، الأنظمة التقنية، البنية التحتية، وبيئة العمل، الأمر الذي يفرض اختيار تصميم بحثي يراعي هذه التعقيدات ويوفر أدوات تحليل مناسبة.

ويولي الفصل اهتمامًا خاصًا بتحديد الإطار البشري والمؤسسي الذي تنتهي إليه الدراسة، من خلال توضيح خصائص البيئة التي طُبّق فيها النموذج، سواء كانت مؤسسات تعليمية أو صحية أو صناعية أو مجتمعات تجارية. إن تحديد هذا الإطار يعزز من فهم طبيعة النتائج ومدى إمكانية تعميمها. كما أن عرض آلية اختيار المشاركين أو مصادر البيانات يعكس مستوى الدقة المنهجية ويؤكد أن النتائج لم تكن عشوائية، بل جاءت نتيجة تخطيط علمي يراعي تمثيل الفئات المستهدفة تمثيلًا مناسبًا.

ويتطرق الفصل كذلك إلى توضيح الكيفية التي تم بها جمع البيانات، سواء كانت بيانات كمية مستمدة من أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS)، أو بيانات مستخلصة من أجهزة الاستشعار وإنترنت الأشياء، أو بيانات نوعية تم الحصول عليها من خلال استبانات أو مقابلات مع مديري المرافق والفنيين. إن توضيح آليات الجمع يكتسب أهمية بالغة في دراسات الذكاء الاصطناعي، حيث تعتمد جودة النموذج المقترح بشكل مباشر على جودة البيانات المستخدمة في تدريبه وتحليله. فكلما كانت البيانات دقيقة وممثلة للواقع التشغيلي، كانت النتائج أكثر موثوقية وقابلية للتطبيق.

كما يبين هذا الفصل طبيعة البيانات التي اعتمدت عليها الدراسة، سواء من حيث كونها بيانات تاريخية أو آنية، هيكلية أو غير هيكلية، رقمية أو وصفية. ويعد هذا التفصيل ضروريًا في الدراسات التي توظف تقنيات الذكاء الاصطناعي، نظرًا لأن نوع البيانات يؤثر في اختيار الخوارزميات المناسبة وأساليب المعالجة المسبقة والتحليل. ومن ثم فإن عرض هذه الجوانب يعكس تكامل الجانب التقني مع الجانب المنهجي في البحث.

ويختتم الفصل بعرض الإجراءات التحليلية التي تم اعتمادها لاستخلاص النتائج، بما يشمل الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية، إضافة إلى مؤشرات تقييم أداء النموذج المقترح. إن توضيح هذه الإجراءات يضمن أن تكون عملية تفسير النتائج مبنية على أسس علمية دقيقة، ويعزز من الثقة في الاستنتاجات التي توصلت إليها الدراسة بشأن أثر استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة وتقليل الأعطال وخفض التكاليف التشغيلية.

إن هذا الفصل يمثل الجسر الذي يربط بين الطرح النظري والتطبيق العملي، ويعكس مدى التزام الدراسة بالمنهجية العلمية في اختبار فرضياتها وتحقيق أهدافها. ومن خلال ما يتضمنه من توضيحات منهجية دقيقة، يسهم في ترسيخ موثوقية النموذج المقترح ويدعم إمكانية تبنيه في مؤسسات تسعى إلى تطوير إدارة مرافقها وفق أحدث التقنيات الذكية، بما يواكب متطلبات التحول الرقمي ويعزز الاستدامة التشغيلية على المدى الطويل.

4. الفصل الرابع: التحليل الإحصائي ومناقشة النتائج

4.1. المقدمة:

يمثل الفصل الرابع من هذه الدراسة المرحلة التطبيقية التي يتم فيها عرض وتحليل النتائج الميدانية المستخلصة من أدوات البحث المختلفة. فهو الفصل الذي يربط بين البيانات التي تم جمعها من المجتمع البحثي وبين الفرضيات والمفاهيم النظرية التي تم تناولها في الفصول السابقة، ليصبح هناك جسر واضح بين الواقع العملي والنموذج المقترح. ويهدف هذا الفصل إلى تقديم صورة شاملة ودقيقة حول مدى تأثير تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجالات الصيانة والتشغيل على كفاءة إدارة المرافق، مع التركيز على الأبعاد المختلفة للمتغيرات محل الدراسة.

ويكتسب هذا الفصل أهمية كبيرة لكونه يعكس صورة دقيقة عن طبيعة العينة المشاركة في البحث وخصائصها، حيث يُظهر توزيعها وأبعادها المختلفة بما يسمح بفهم السياق الذي تم فيه تطبيق أدوات الدراسة. كما يوضح مدى تمثيل العينة لمجتمع البحث، وهو عامل حاسم في التأكد من أن النتائج المستخلصة قابلة للتعميم أو على الأقل تمثل بيئة مشابهة من حيث البنية التحتية والقدرة على استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي. وهذا التوصيف الأولي يوفر الأساس الضروري لفهم النتائج وتحليلها بطريقة منهجية ومنظمة.

إن الفصل يسلط الضوء على مدى موثوقية البيانات التي تم جمعها، من خلال توضيح مدى دقة أدوات القياس وفعاليتها في التعبير عن الواقع العملي. فالتأكد من صلاحية الأدوات واستقرارها يُعد خطوة حاسمة، حيث إن أي خلل في دقة القياس يمكن أن يؤثر مباشرة على صحة النتائج والاستنتاجات المتعلقة بفاعلية النموذج المقترح. ومن هنا تبرز أهمية توخي الحذر في عملية اختبار الأدوات المستخدمة لضمان أن تكون النتائج مبنية على بيانات صحيحة ودقيقة.

ويستعرض الفصل أيضًا خصائص المتغيرات البحثية ومؤشرات الأداء المرتبطة بها، بما يوفر فهمًا واضحًا لكيفية توزيع الإجابات ومستوى التغير في البيانات بين أفراد العينة. ويتيح هذا التحليل القدرة على رسم صورة دقيقة عن مدى توافر تطبيقات الذكاء الاصطناعي في بيئة المرافق، ومستوى تأثيرها على أداء الصيانة والتشغيل، مما يسهل ربط النتائج بالفرضيات الأولية للدراسة. هذا الربط بين البيانات والفرضيات هو ما يمنح الدراسة مصداقية علمية ويعزز من إمكانية تفسير النتائج في إطار عملي.

يتيح الفصل تقييم أثر المتغيرات المختلفة على مستوى الأداء العام للمرافق، بما يتضمن مقارنة النتائج وتحليلها للوصول إلى استنتاجات علمية دقيقة. ومن خلال هذا التحليل يمكن تحديد مدى قوة العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي وتحسين كفاءة الصيانة والتشغيل، واستخلاص مؤشرات عملية تساعد في تطوير النموذج المقترح. إن هذا الفصل يمثل، في جوهره، جسرًا حيويًا بين النظرية والتطبيق، ويوفر قاعدة متينة للاستنتاجات والتوصيات التي ستتناولها الدراسة في الفصول اللاحقة، مما يعكس قيمة البحث العملية والعلمية على حد سواء.

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

تصدرت ميزة تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة قائمة الأولويات لدى عينة الدراسة بمتوسط حسابي بلغ 3.61؛ ما يشير إلى وعي تقني متقدم بجدوى الذكاء الاصطناعي في الانتقال من العشوائية إلى التنظيم الاستباقي. تبعثها مباشرة القناة بدور النموذج في تقليل تكاليف الصيانة على المدى الطويل (متوسط 3.56) ومراقبة أداء الأصول (متوسط 3.55). تعكس هذه الأرقام المتقاربة توافقاً جوهرياً على المنافع التشغيلية المباشرة. ومع ذلك، يلاحظ وجود تباين لافت في آراء المشاركين عند الحديث عن كفاءة استهلاك الطاقة وتوزيع الموارد البشرية؛ حيث سجلت هذه المحاور أعلى قيم للانحراف المعياري (1.676 و 1.665 على التوالي). هذا التشتت يوحي بأن ثقة المتخصصين في قدرة الخوارزميات على إدارة الموارد البشرية أو الأحمال الطاقية لا تزال أقل استقراراً مقارنة بثقتهم في الجوانب التقنية البحتة كالتنبؤ بالأعطال.

ارتبطت النتائج بميل عام نحو الإيجابية رغم هذا التباين، وهو ما تؤكد قيم الالتواء (Skewness) السالبة لجميع العبارات؛ فالكتلة الحرجة من الإجابات تركزت نحو اليمين (الموافقة). النتيجة كانت قوية فيما يخص الصيانة التنبؤية مقابل التقليدية بمتوسط 3.55 وانحراف 1.538؛ الأمر الذي يعزز من فرضية الحاجة الملحة لتطوير أنظمة قادرة على استبدال "رد الفعل" بـ "الاستشراف الرقمي". أما الوسيط (Median) الذي استقر عند الرقم 4.00 لمعظم العبارات، فهو يبرهن على أن نصف العينة على الأقل تميل للموافقة القوية، بينما يفسر الانحراف المعياري المرتفع نسبياً في بعض البنود وجود فئة من الممارسين لا تزال تتشكك في دقة تشخيص الأعطال ألياً (متوسط 3.28)؛ ربما لخوفهم من قصور البيانات التاريخية المتوفرة في مرافقهم. هذا النقص في الثقة قد يؤثر على سرعة تبني النموذج في البيئات التي تعتمد بشكل كلي على الخبرات البشرية المتراكمة.

Statistics									
Std. Error of Kurtosis	Kurtosis	Std. Error of Skewness	Skewness	Std. Deviation	Median	Std. Error of Mean	Mean	N	
								Missing	Valid
.293	-1.227	.147	-.105	1.390	3.00	.084	3.08	0	275
.293	-2.012	.147	-.051	.501	2.00	.030	1.51	0	275
.293	-1.007	.147	-.171	1.267	3.00	.076	3.27	0	275

يسهم استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة.	275	0	3.61	.086	4.00	1.427	-598	.147	-1.070	.293
يساعد النموذج المقترح في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.	275	0	3.44	.089	4.00	1.472	-438	.147	-1.257	.293
يؤدي توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.	275	0	3.40	.095	4.00	1.578	-421	.147	-1.419	.293
يسهم النظام الذكي في تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية داخل المرافق.	275	0	3.40	.100	4.00	1.665	-418	.147	-1.528	.293
يدعم النموذج المقترح اتخاذ القرار السريع بناءً على تحليل البيانات الفورية.	275	0	3.44	.086	4.00	1.432	-378	.147	-1.277	.293
يسهم استخدام الخوارزميات الذكية في رفع دقة تشخيص الأعطال.	275	0	3.28	.093	4.00	1.542	-249	.147	-1.496	.293
يؤدي تطبيق النموذج إلى تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية على المدى الطويل.	275	0	3.56	.090	4.00	1.487	-597	.147	-1.118	.293
يعزز النظام الذكي كفاءة استهلاك الطاقة داخل المرافق.	275	0	3.32	.101	4.00	1.676	-337	.147	-1.610	.293
يوفر النموذج تقارير تحليلية دقيقة تساعد الإدارة في تقييم الأداء التشغيلي.	275	0	3.46	.089	4.00	1.480	-408	.147	-1.324	.293

يسهم التكامل بين أنظمة إدارة المرافق والنكاه الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات المقدمة.	275	0	3.47	.087	4.00	1.440	-.388	.147	-1.285	.293
يقلل استخدام الذكاء الاصطناعي من الاعتماد على التدخل البشري في العمليات الروتينية.	275	0	3.37	.094	4.00	1.560	-.349	.147	-1.440	.293
يساعد النظام الذكي في تحديد أولويات أعمال الصيانة بناءً على مستوى الخطورة.	275	0	3.33	.099	4.00	1.649	-.353	.147	-1.561	.293
يسهم تطبيق النموذج في تحسين مستوى السلامة داخل المرافق.	275	0	3.53	.085	4.00	1.417	-.501	.147	-1.130	.293
يعزز النظام القدرة على مراقبة أداء الأصول والمعدات بشكل مستمر.	275	0	3.55	.089	4.00	1.468	-.540	.147	-1.155	.293
يدعم النموذج المقترح مبدأ الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التصحيحية التقليدية.	275	0	3.55	.093	4.00	1.538	-.571	.147	-1.224	.293
يسهم استخدام تقنيات تحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التشغيل.	275	0	3.42	.096	4.00	1.599	-.403	.147	-1.467	.293
يؤدي تطبيق النموذج المتكامل إلى رفع مستوى رضا المستفيدين عن خدمات المرافق.	275	0	3.48	.086	4.00	1.420	-.390	.147	-1.315	.293

جدول 1 : التحليلات الإحصائية

4.3. اختبارات الصدق والثبات للاستبيانات:

سجلت أداة الدراسة معامل ثبات مرتفعاً جداً. قيمة ألفا كرونباخ استقرت عند 0.898 لعدد 20 فقرة. النتيجة تعكس تماسكاً داخلياً قوياً. العينة بالكامل (275 استجابة) خضعت للتحليل دون استبعاد أي حالة. البيانات تتسم بالموثوقية العالية. هذا الرقم يقترب من مستوى المثالية في الأبحاث الهندسية والإدارية. المقياس يقيس ما وضع لأجله بدقة.

يشير هذا الثبات الإحصائي إلى أن إجابات المشاركين لم تكن عشوائية؛ بل نتجت عن فهم حقيقي لأبعاد النموذج المقترح لإدارة المرافق بالذكاء الاصطناعي. استبعاد الصدفة يمنح الباحث طمأنينة عند تعميم النتائج. استجابات العينة متسقة عبر جميع المحاور. قوة المعامل (89.8%) تضمن أن إعادة تطبيق الأداة في ظروف مشابهة ستعطي نتائج متقاربة جداً. هذا التماسك يقلل من أخطاء القياس ويقوي البناء الاستدلالي للدراسة. النتيجة تدعم ثبات النموذج فنياً وإحصائياً؛ ما يجعله مرجعاً موثوقاً في تحسين كفاءة الصيانة.

Case Processing Summary			
%	N		
100.0	275	Valid	Cases
.0	0	Excluded ^a	
100.0	275	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	.898

جدول 3: اختبار الثبات والموثوقية

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

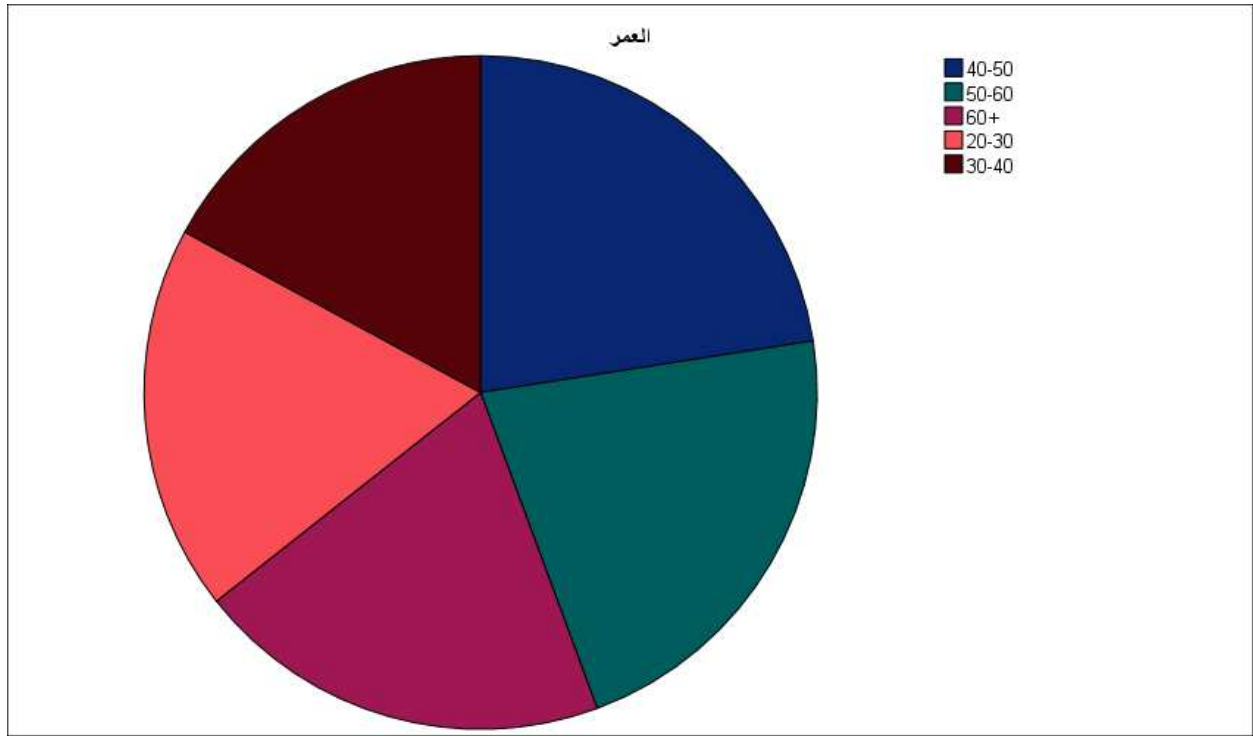
• عمر المشاركين في التجربة

هيكل العينة يميل بوضوح نحو الخبرة التراكمية. الفئة العمرية ما بين 40 إلى 60 عاماً تشكل الكتلة الأكبر بنسبة تجاوزت 44%. النتيجة تعكس واقعية الدراسة. نحن أمام عينة خبيرة عاصرت تحولات إدارة المرافق التقليدية. الفئة الأكبر (40-50 عاماً) سجلت 22.5% من إجمالي المشاركين. تليها فئة الخبراء (50-60 عاماً) بنسبة 21.8%. هذه الأرقام تمنح نتائج الدراسة وزناً نوعياً كبيراً؛ فالمشاركون في هذه المراحل العمرية يمتلكون رؤية نقدية أعمق لمشكلات الصيانة المزمنة.

الشباب (20-30 عاماً) تواجدوا بنسبة 18.5%. أما الفئة الأقل فكانت (30-40 عاماً) بنسبة 17.1%. توزيع العينة متوازن بشكل لافت. هناك تمثيل لكل الأجيال المهنية في قطاع إدارة المرافق. وجود نسبة 20% لفئة ما فوق الستين عاماً يؤكد استهداف الدراسة للقيادات العليا وصناع القرار. هذا المزيج العمري يضمن شمولية النتائج؛ فالحماس التقني لدى الشباب يقابله الحذر العملي والخبرة الميدانية لدى الفئات الأكبر. النقص في تمثيل فئة الثلاثينيات قد يؤشر إلى فجوة إدارية وسيطة في بعض المواقع، لكنه لا يؤثر على قوة الاستدلال الإحصائي الكلي.

العمر					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
22.5	22.5	22.5	62	40-50	Valid
44.4	21.8	21.8	60	50-60	
64.4	20.0	20.0	55	60+	
82.9	18.5	18.5	51	20-30	
100.0	17.1	17.1	47	30-40	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 4: التحليل الإحصائي لعمر المشاركين في التجربة



شكل توضيحي 1: التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة

• جنس المشاركين في التجربة

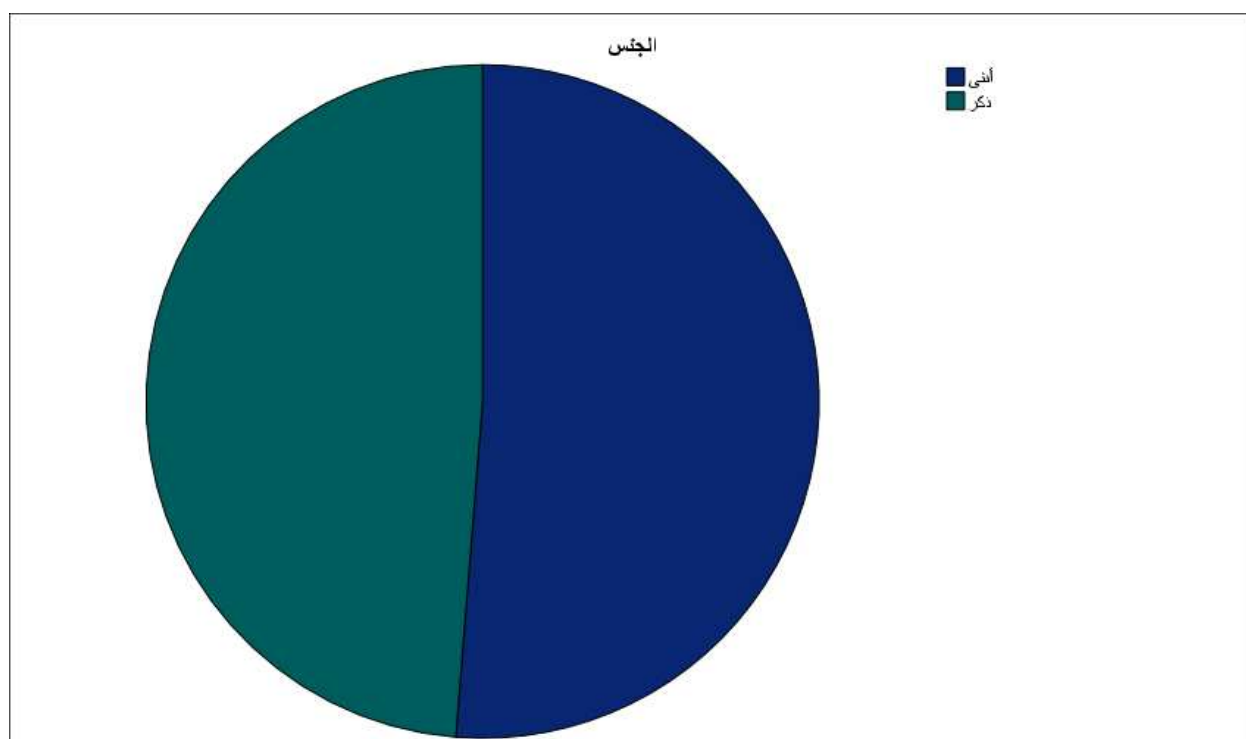
سجلت الإناث النسبة الأعلى في عينة الدراسة بواقع 51.3% مقابل 48.7% للذكور؛ وهي نظرة في قطاع عُرف تاريخياً بهيمنة الرجال. النتيجة تعكس تحولاً جذرياً في هيكل القوى العاملة بمجال إدارة المرافق. يبدو أن التوجه نحو الرقمنة والذكاء الاصطناعي فتح آفاقاً أرحب للمهندسات والمتخصصات؛ فالعمل الإداري والتقني المرتبط بالتمذجة والتحليل يجذب الكوادر النسائية بشكل متصاعد. الفارق ضئيل جداً. التوازن محقق. العينة تمثل وجهتي نظر متكافئتين في بيئة العمل؛ ما يعزز من شمولية النتائج وتعميمها على الكوادر البشرية في المؤسسات الحديثة.

التوافق الإحصائي بين الجنسين يمنح النموذج المقترح استقراراً إجرائياً. غياب الفوارق الكبيرة يعني أن متطلبات التشغيل والصيانة الذكية تُفهم وتُطبق بآلية متقاربة من كلا الطرفين. النتيجة تدعم قوة البيانات. هذا التقارب يقلل من احتمالية وجود انحياز في الاستجابات بناءً على النوع الاجتماعي؛ فالتحديات التقنية في إدارة المرافق تواجه الجميع بنفس القدر. الاعتماد

على 141 أنثى و134 ذكراً يضمن أن الحلول البرمجية المقترحة ستلبي احتياجات المستخدمين الفعليين في الموقع والإدارة على حد سواء.

الجنس					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
51.3	51.3	51.3	141	أنثى	Valid
100.0	48.7	48.7	134	ذكر	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 5: التحليل الإحصائي لجنس المشاركين في التجربة



شكل توضيحي 2: التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة

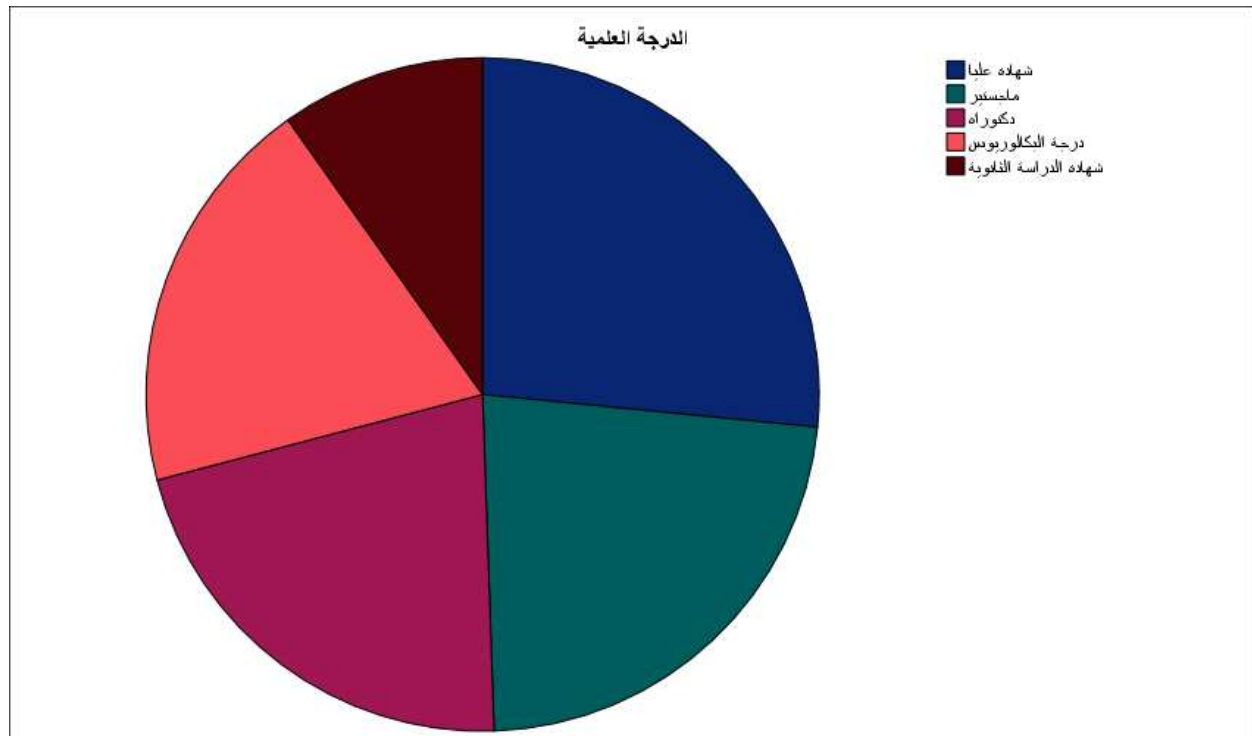
• الدرجة العلمية لدى المشاركين في التجربة

تطغى الصبغة الأكاديمية التخصصية على خلفيات المشاركين بشكل لافت؛ إذ يستحوذ حملة الشهادات العليا (دبلومات الدراسات العليا، الماجستير، الدكتوراه) على أكثر من 70% من إجمالي العينة. تصدرت فئة "شهادة عليا" المشهد بنسبة 26.5%. تلتها مباشرة درجة الماجستير بنسبة 22.9%. هذه الأرقام تعطي ثقلًا علميًا للنتائج. النتيجة كانت متوقعة. طبيعة موضوع "الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق" تتطلب مستوى معرفيًا يتجاوز الممارسات التقليدية؛ لذا نجد أن حملة الدكتوراه شكلوا 21.5% من الاستجابات. هذا التركيز يعكس اهتمام النخبة الأكاديمية والقيادات الفنية بتطوير النماذج المتكاملة.

درجة البكالوريوس جاءت في المرتبة الرابعة بنسبة 19.3%. أما الفئة الأقل فكانت لحملة الشهادة الثانوية بنسبة لم تتجاوز 9.8%. التباين هنا منطقي جداً. إشراك الكوادر التنفيذية (ثانوية عامة) بجانب الخبراء الأكاديميين يضمن واقعية النموذج المقترح. مستوى التأهيل العلمي المرتفع للعينة يقلل من احتمالات الخطأ في فهم المصطلحات التقنية المعقدة. هذا النضج العلمي قد يسهم في تسريع وتيرة تبني حلول الذكاء الاصطناعي داخل المؤسسات. التوجه العام يدعم الرؤية البحثية. الاعتماد على عينة بهذا المستوى التعليمي يمنح الدراسة مصداقية عالية أمام المحكمين؛ فالمشاركون يدركون أبعاد التحول الرقمي جيداً.

الدرجة العلمية					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	26.5	26.5	26.5	73	شهادة عليا
	49.5	22.9	22.9	63	ماجستير
	70.9	21.5	21.5	59	دكتوراه
	90.2	19.3	19.3	53	درجة البكالوريوس
	100.0	9.8	9.8	27	شهادة الدراسة الثانوية
		100.0	100.0	275	Total

جدول 6: التحليل الإحصائي للدرجة العلمية



شكل توضيحي 3: التمثيل البياني للدرجة العلمية

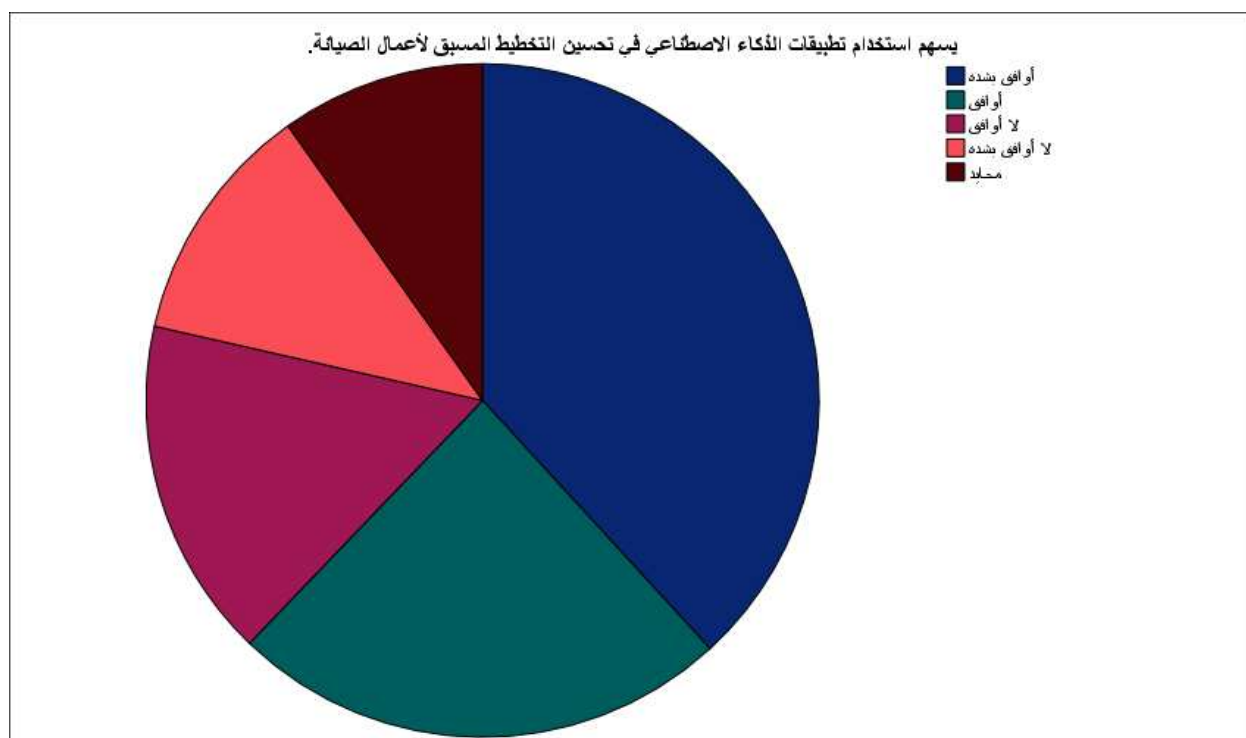
• يسهم استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة.

أيدت الكتلة الأكبر من المشاركين قدرة الذكاء الاصطناعي على تطوير التخطيط المسبق للصيانة. سجل خيار "أوافق بشدة" 38.2% من الاستجابات. النتيجة قوية إحصائياً. يرتفع التأييد الإجمالي عند دمج فئتي الموافقة ليصل إلى 62.2%. هذا الوعي يعكس رغبة ميدانية حقيقية في مغادرة نمط الصيانة التقليدية. التخطيط الذكي يقلل الهدر؛ فالمشاركون يدركون أن البيانات تتنبأ بما لا تراه العين المجردة. النسبة تشير إلى ثقة عالية في الخوارزميات كأداة تنظيمية وليست مجرد رفاهية تقنية.

برز تباين واضح في الجانب المقابل؛ حيث رفض 28% من العينة هذه الفرضية بمستويات متفاوتة. سجل خيار "لا أوافق" 16.4% بينما بلغت نسبة الرفض الشديد 11.6%. الرقم ليس هيناً. هذا الاعتراض قد ينبع من تجارب سابقة غير مكتملة مع أنظمة برمجية معقدة. النقص في جودة البيانات المدخلة في بعض المنشآت قد يؤثر على مخرجات التخطيط؛ ما يولد هذا النوع من التشكك. نسبة الحياد كانت الأقل (9.8%). العينة قوية في مواقفها. الانقسام النسبي يفرض ضرورة توفير تدريب مكثف لإقناع الفئة الراضية بجدوى النماذج المتكاملة في تحسين بيئة العمل اليومية.

يسهم استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة.					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent	
Valid	105	38.2	38.2	38.2	أوافق بشدة
	66	24.0	24.0	62.2	أوافق
	45	16.4	16.4	78.5	لا أوافق
	32	11.6	11.6	90.2	لا أوافق بشدة
	27	9.8	9.8	100.0	محايد
	275	100.0	100.0		Total

جدول 7: التحليل الإحصائي لإسهام استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة.



شكل توضيحي 4: التمثيل البياني لإسهام استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة.

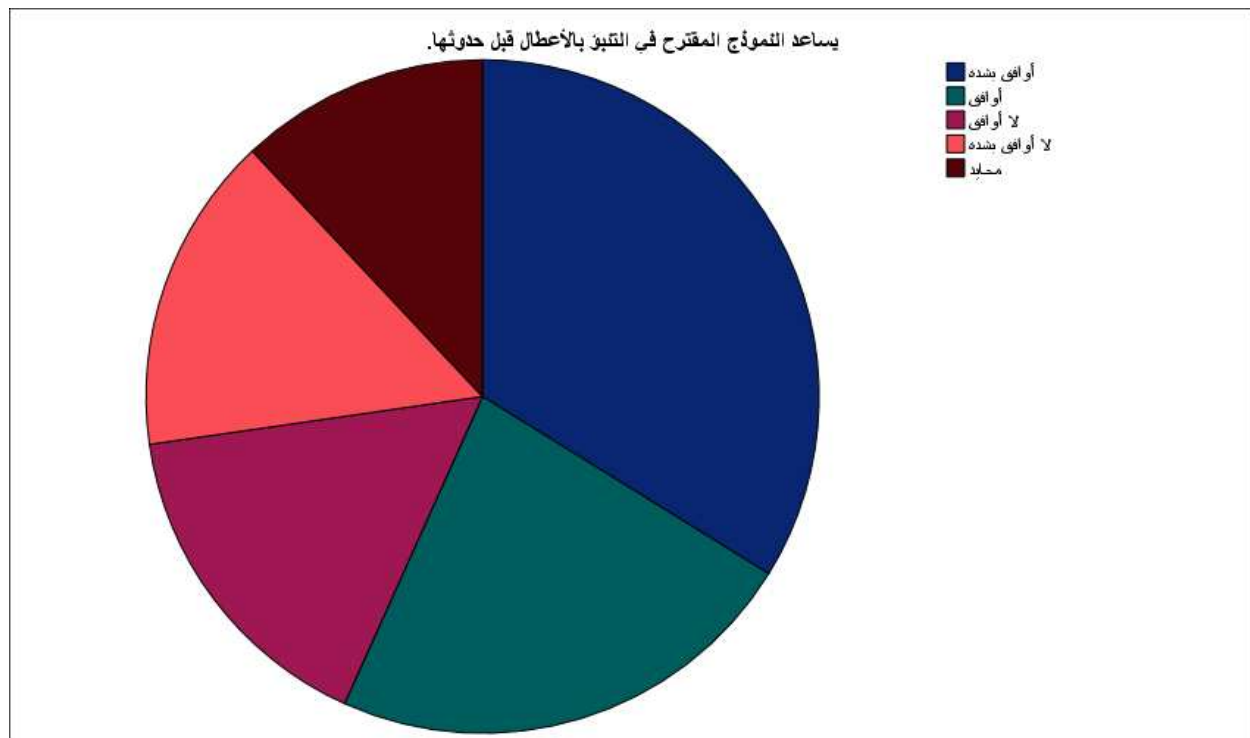
• يساعد النموذج المقترح في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.

سجل خيار "أوافق بشدة" التكرار الأعلى بـ 93 استجابة؛ ما يبرهن على قناعة ثلث العينة تقريباً بقدرة النموذج على نقل المنشآت من مربع "رد الفعل" إلى مربع "الاستباقية". النتيجة تعكس توجهاً عملياً. المهندسون في الميدان يبحثون عن حلول تنهي مأساة الأعطال المفاجئة. عند النظر إلى إجمالي الموافقين (56.7%)، نجد تأييداً للأثر التشغيلي العميق؛ فالتنبؤ بالعطل يعني تقليص الهالك من قطع الغيار وتفاذي توقف سلاسل الإمداد. هذه الثقة الإحصائية تدعم جدوى الاستثمار في خوارزميات التعلم الآلي.

ظهر انقسام في الآراء يجسده تقارب نسب الرفض؛ حيث بلغت نسبة "لا أوافق" 16% بينما سجل الرفض الشديد 15.3%. هناك فئة لا تستهان بها (31.3% إجمالاً) تشكك في موثوقية التنبؤ الرقمي. هذا الاعتراض قد يرجع إلى خوف تقني من "الإنذارات الكاذبة" التي قد تسبب صيانة غير ضرورية وتكلفة إضافية. وجود 12% في منطقة الحياد يعزز فكرة وجود ترقب حذر. التباين في هذه النتائج يشير إلى أن نجاح النموذج في المواقع سيعتمد بشكل كلي على دقة البيانات التاريخية؛ فغياب السجلات الدقيقة قد يؤدي إلى فشل التنبؤ، وهو ما يخشاه الراضون في إدارة المرافق حالياً.

يساعد النموذج المقترح في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
33.8	33.8	33.8	93	أوافق بشدة	Valid
56.7	22.9	22.9	63	أوافق	
72.7	16.0	16.0	44	لا أوافق	
88.0	15.3	15.3	42	لا أوافق بشدة	
100.0	12.0	12.0	33	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 8: التحليل الإحصائي لمساعدة النموذج المقترح في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.



شكل توضيحي 5: التمثيل البياني لمساعدة النموذج المقترح في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.

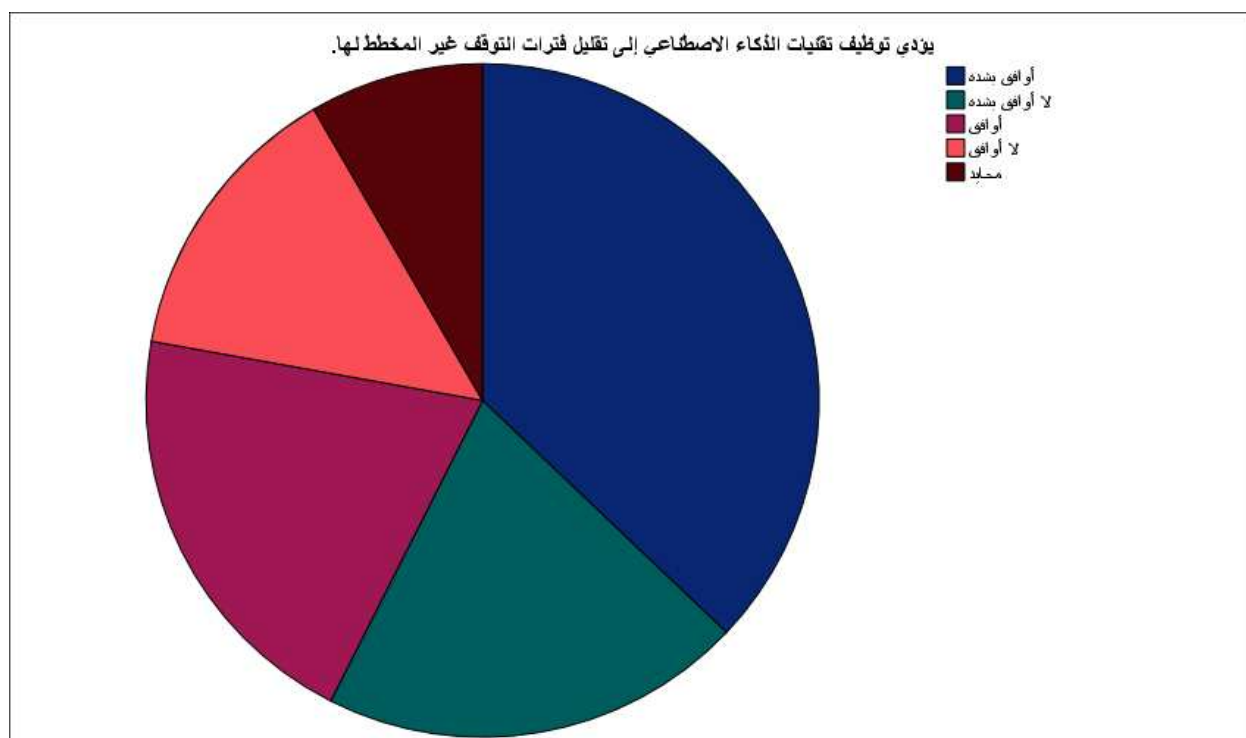
• يؤدي توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.

سجل خيار "أوافق بشدة" الصدارة بنسبة 37.1%. النتيجة منطقية. يرى أغلب المشاركين أن الذكاء الاصطناعي هو الحل الجذري لأزمة التوقفات المفاجئة. هذه الأعطال تستنزف ميزانيات التشغيل. عند جمع نسب التأييد نجد أن 57.5% يثقون في الأثر الإيجابي للتقنية. التوجه العام يدعم الرقمنة. الاستجابة السريعة للأعطال ترفع كفاءة المرفق. الفشل في تقليل فترات التوقف قد يعطل سلاسل الإنتاج بالكامل.

برز انقسام وغير متوقع في كفة المعارضة؛ حيث تساوت نسبة "أوافق" مع نسبة "لا أوافق بشدة" بواقع 20.4% لكل منهما. هناك فئة ترفض الفرضية قطعياً رغم قوة الطرح التقني. هذا التباين يعكس انقساماً في الخبرات الميدانية. ربما واجه الرافضون صعوبات في دمج الأنظمة الذكية مع المعدات القديمة. التوقفات غير المخطط لها تظل الهاجس الأكبر لمديري المرافق. نسبة الحياد انكمشت إلى 8.4%. الآراء القوية هي التي تحكم العينة. هذا الاستقطاب يشير إلى أن نجاح النموذج يتوقف على جودة البنية التحتية للمرفق نفسه.

يؤدي توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	37.1	37.1	37.1	102	أوافق بشدة
	57.5	20.4	20.4	56	لا أوافق بشدة
	77.8	20.4	20.4	56	أوافق
	91.6	13.8	13.8	38	لا أوافق
	100.0	8.4	8.4	23	محايد
		100.0	100.0	275	Total

جدول 9: التحليل الإحصائي لأداء توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.



شكل توضيحي 6: التمثيل البياني لأداء توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.

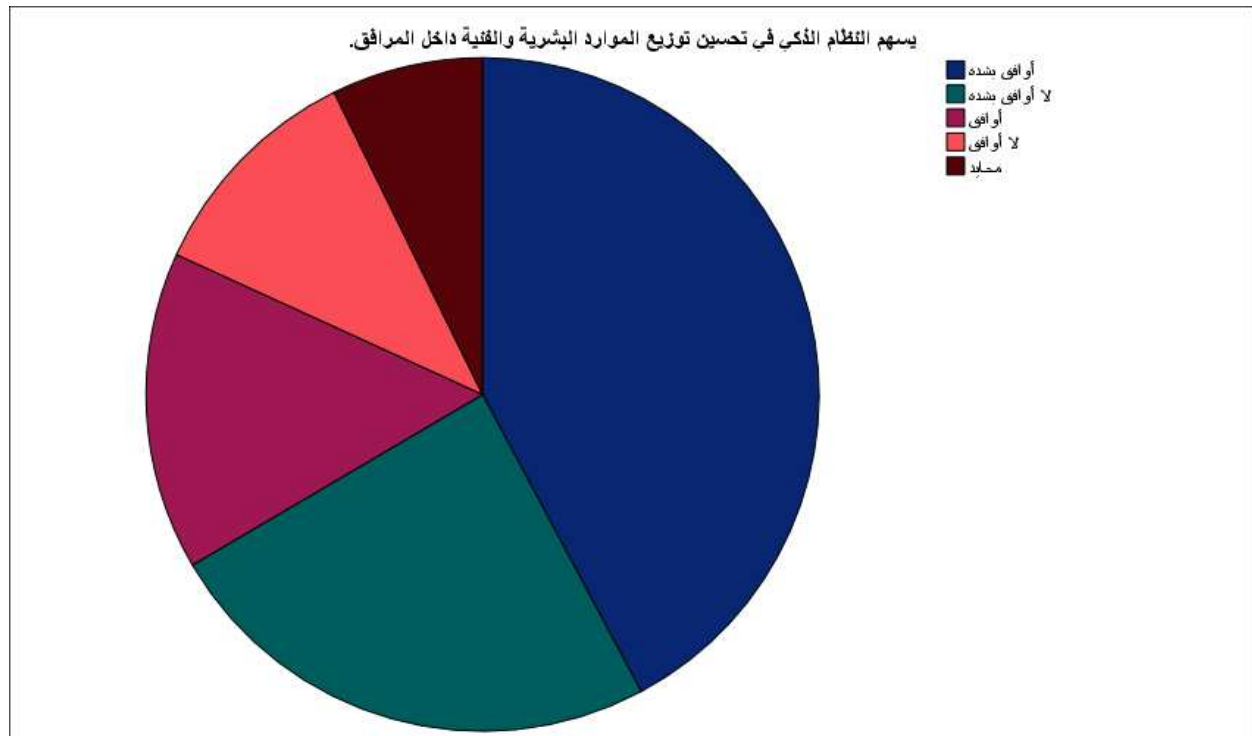
• يسهم النظام الذكي في تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية داخل المرافق.

سجل خيار "أوافق بشدة" الاكتساح الأكبر بنسبة 42.2%. النتيجة تكشف عن حاجة ماسة لترشيد الجهد البشري. أغلب المشاركين يدركون أن التوزيع التقليدي للعمالة يعاني من العشوائية. النظام الذكي يحل هذه المعضلة؛ فهو يوجه الفني المناسب للمهمة المناسبة في الوقت الصحيح. جمع نسب التأييد يضعنا أمام 57.5% من العينة الداعمة لهذا التوجه. هذا الرقم يدعم كفاءة التشغيل. استغلال الموارد الفنية بشكل أمثل يقلل التكاليف المهدورة.

برز انقسام عند النظر إلى المعارضة الشديدة. 24.4% من العينة رفضوا الفرضية تماماً. الرقم ضخم ومثير للتساؤل. يبدو أن هناك مخاوف من قدرة الآلة على فهم الطبيعة المعقدة للعمل البشري. المهام الميدانية تتطلب أحياناً مرونة لا توفرها الخوارزميات الجامدة. فئة "أوافق" سجلت 15.3% فقط. التشتت هنا يعكس صراعاً بين الرؤية التقنية والواقع الإداري الصعب. نسبة المحايدين تضاءلت إلى 7.3%. الجميع اتخذ موقفاً واضحاً. هذا النقص في الإجماع قد يعيق تطبيق النموذج إذا لم تراغ العوامل الإنسانية في التوزيع الميداني.

يسهم النظام الذكي في تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية داخل المرافق.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
42.2	42.2	42.2	116	أوافق بشدة	Valid
66.5	24.4	24.4	67	لا أوافق بشدة	
81.8	15.3	15.3	42	أوافق	
92.7	10.9	10.9	30	لا أوافق	
100.0	7.3	7.3	20	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 10: التحليل الإحصائي لإسهام النظام الذكي في تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية داخل المرافق.



شكل توضيحي 7: التمثيل البياني لإسهام النظام الذكي في تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية داخل المرافق.

• يدعم النموذج المقترح اتخاذ القرار السريع بناءً على تحليل البيانات الفورية.

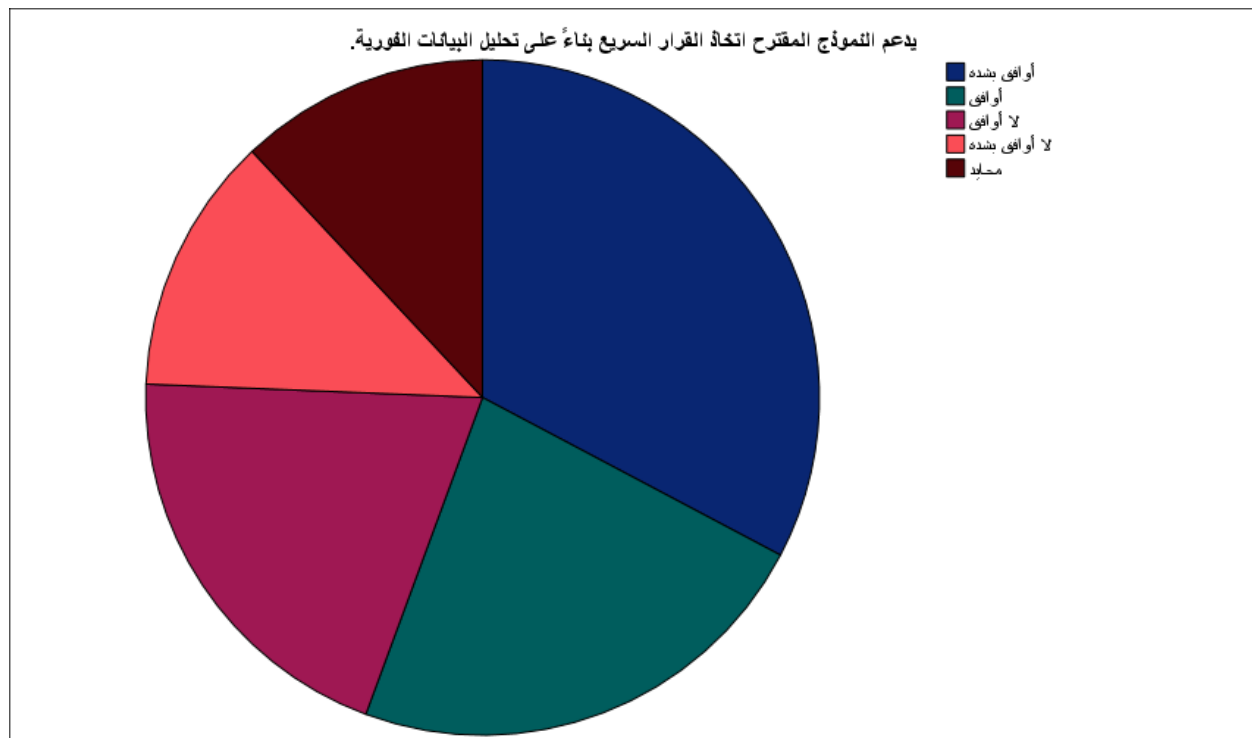
غابت الاستجابات الصفيرية تماماً عن كافة مستويات التدرج؛ فالعينة توزعت بوضوح بين مؤيد ومعارض للفكرة، حيث سجل خيار "محايد" النسبة الأقل بـ 12%. تكتسب هذه النتيجة أهمية خاصة عند النظر إلى "أوافق بشدة" التي حصدت 32.7% من الآراء. التوجه العام يدعم قدرة النموذج على تسريع العمليات الإدارية والميدانية. تحليل البيانات الفورية يعني تقليص الفجوة الزمنية بين رصد العطل وبدء الإصلاح. القارئ يلمس إيماناً لدى 55.6% من المشاركين بأن الذكاء الاصطناعي ليس مجرد مخزن بيانات؛ بل هو محرك لاتخاذ القرار في اللحظة المناسبة.

وفي وجود جبهة معارضة متماسكة نسبياً؛ إذ سجل 20% من المشاركين عدم موافقتهم، وانضم إليهم 12.4% ممن يعارضون بشدة. هذا التباين يشي بوجود تحديات واقعية تتعلق بموثوقية "القرار الآلي". يبدو أن القادة الميدانيين يخشون سرعة القرار إذا لم تكن مدعومة بحس بشري أو مراجعة فنية دقيقة. الانقسام هنا يفرض ضرورة تصميم النموذج بحيث يوفر

"توصيات" داعمة للقرار بدلاً من اتخاذه بشكل منفرد. هذا النقص في الإجماع قد يؤخر الاستجابة الطارئة في المرافق التي تفتقر لبنية تحتية قوية لنقل البيانات الفورية؛ ما يجعل القرار السريع عرضة للخطأ الإحصائي أو التقني.

يدعم النموذج المقترح اتخاذ القرار السريع بناءً على تحليل البيانات الفورية.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
32.7	32.7	32.7	90	أوافق بشدة	Valid
55.6	22.9	22.9	63	أوافق	
75.6	20.0	20.0	55	لا أوافق	
88.0	12.4	12.4	34	لا أوافق بشدة	
100.0	12.0	12.0	33	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 11: التحليل الإحصائي لدعم النموذج المقترح اتخاذ القرار السريع بناءً على تحليل البيانات الفورية.



شكل توضيحي 8: التمثيل البياني لدعم النموذج المقترح اتخاذ القرار السريع بناءً على تحليل البيانات الفورية.

• يسهم استخدام الخوارزميات الذكية في رفع دقة تشخيص الأعطال.

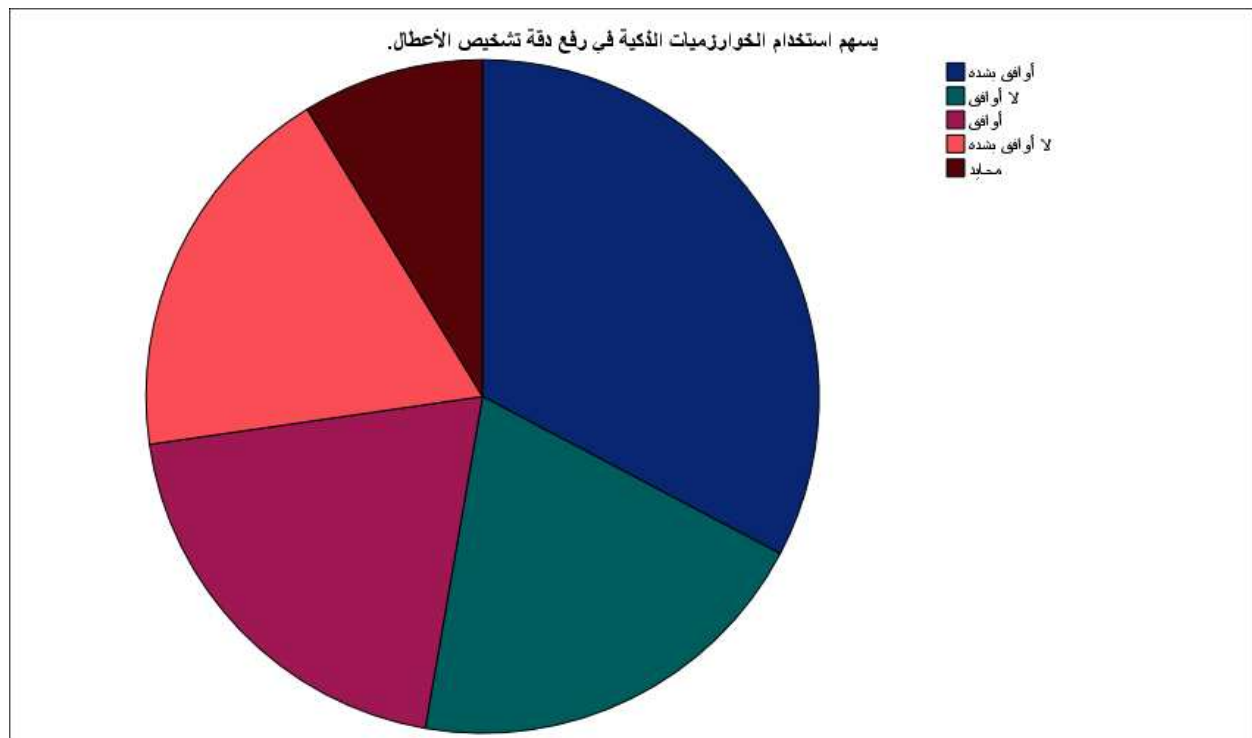
سجل خيار "محايد" النسبة الأقل بـ 8.7% فقط؛ ما يعني أن عينة الدراسة تمتلك مواقف محددة تجاه قدرة الخوارزميات على تشخيص الأعطال. تصدر خيار "أوافق بشدة" المشهد بواقع 32.7%. النتيجة تشير إلى وجود تيار تقني يؤمن بجدوى الذكاء الاصطناعي في تحديد مسببات الخلل الفني بدقة تتجاوز التقدير البشري. التشخيص الدقيق يمثل حجر الزاوية في كفاءة الصيانة. عند دمج نسب التأييد نجد أن 52.7% من المشاركين يدعمون الفرضية. هذا الإجماع النسبي يعكس وعياً بأن النماذج الذكية قادرة على تحليل الأنماط المعقدة في بيانات الحساسات.

وفي التساوي التام بين فئتي "أوافق" و "لا أوافق" بنسبة 20% لكل منهما. الانقسام هنا يعبر عن شرح في الثقة المهنية: فنسبة الرفض الإجمالية (المعارضة والمعارضة بشدة) بلغت 38.5%. هذا الرقم ليس عابراً. يبدو أن جزءاً كبيراً من مهندسي المرافق لا يزال يثق في "الحس الهندسي" والخبرة الميدانية أكثر من مخرجات الخوارزميات. هذا التشكك قد يؤدي إلى تعطيل اتخاذ

القرارات الإصلاحية في حال تعارض التشخيص الآلي مع تقدير الفني المختص. النتيجة كانت واضحة: بناء الثقة في دقة الأنظمة الذكية يتطلب فترة تجريبية طويلة لإثبات نجاحها في تقليل الأخطاء البشرية عند تحديد مواضع العطب.

يسهم استخدام الخوارزميات الذكية في رفع دقة تشخيص الأعطال.					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	32.7	32.7	32.7	90	أوافق بشدة
	52.7	20.0	20.0	55	لا أوافق
	72.7	20.0	20.0	55	أوافق
	91.3	18.5	18.5	51	لا أوافق بشدة
	100.0	8.7	8.7	24	محايد
		100.0	100.0	275	Total

جدول 12: التحليل الإحصائي لإسهام استخدام الخوارزميات الذكية في رفع دقة تشخيص الأعطال.



شكل توضيحي 9: التمثيل البياني لإسهام استخدام الخوارزميات الذكية في رفع دقة تشخيص الأعطال.

• يؤدي تطبيق النموذج إلى تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية على المدى الطويل.

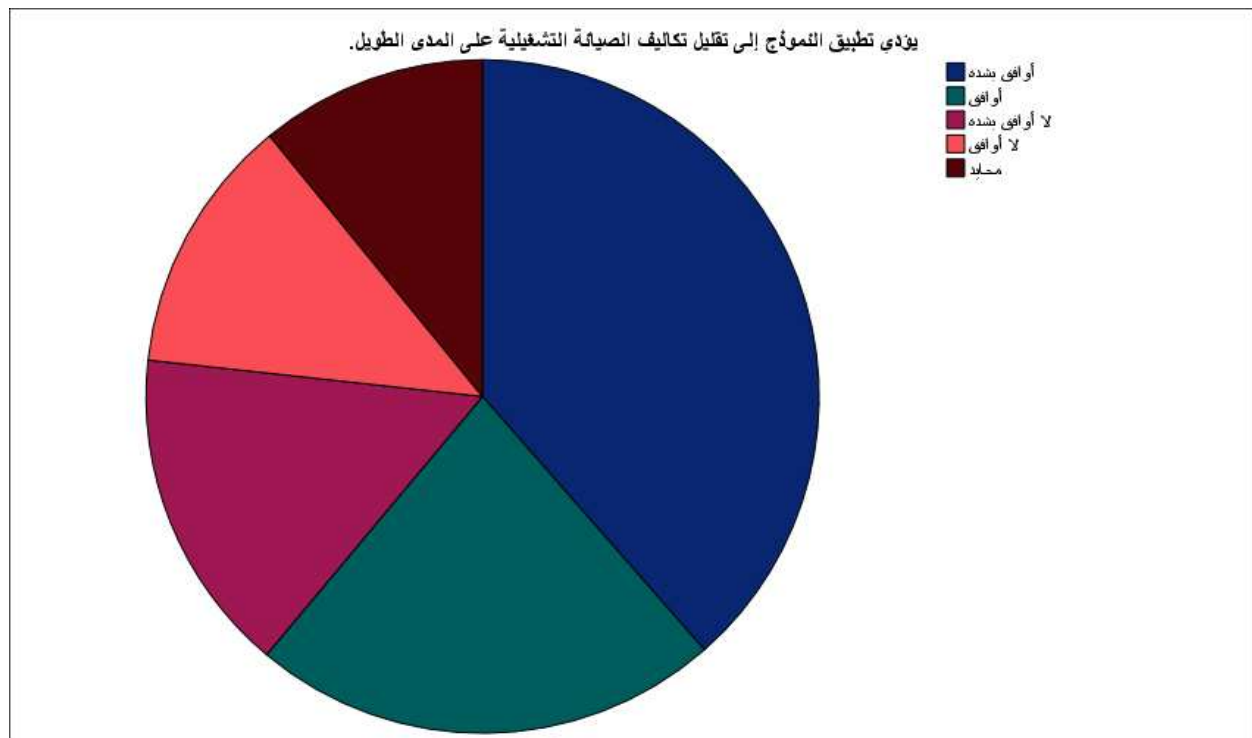
حصص خيار "أوافق بشدة" النسبة الأعلى بواقع 38.5% من إجمالي استجابات العينة؛ ما يبرهن على وجود قناعة اقتصادية راسخة بجدوى التحول نحو الذكاء الاصطناعي. النتيجة تعكس توجهاً استراتيجياً. يرى أغلب المشاركين أن الاستثمار الأولي في النموذج المقترح سيعوضه انخفاض ملموس في النفقات التشغيلية اللاحقة. عند دمج نسب الموافقة، نجد أن 61.1% يقرون بقدرة الحلول الذكية على ضبط الميزانيات. الصيانة التنبؤية توفر مبالغ طائلة كانت تهدر في الإصلاحات الطارئة أو استبدال القطع قبل انتهاء عمرها الافتراضي. هذه الرؤية تدعم الجدوى المالية للنموذج في بيئات العمل الضخمة.

برز تباين في الآراء عند النظر إلى المعارضين الذين شكلوا جبهة رفض بنسبة إجمالية بلغت 28%. سجل خيار "لا أوافق بشدة" 15.6%؛ وهي نسبة تتجاوز فئة الراضين العاديين (12.4%). التشتت هنا يوحي بوجود مخاوف من التكاليف "الخفية" للتكنولوجيا، مثل رسوم التراخيص البرمجية أو الحاجة لتوظيف كوادر تقنية باهظة الأجر. فئة المحايدون استقرت عند 10.9%. النتيجة واضحة. الانقسام يعكس صراعاً بين نظرة ترى الذكاء الاصطناعي أداة توفير، ونظرة أخرى تراه عبئاً مالياً

إضافياً على المديين القصير والمتوسط. هذا التخوف قد يعرقل إقناع أصحاب القرار المالي بتبني النموذج ما لم يتم تقديم دراسة عائد استثمار (ROI) دقيقة ومفصلة.

يؤدي تطبيق النموذج إلى تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية على المدى الطويل.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
38.5	38.5	38.5	106	أوافق بشدة	Valid
61.1	22.5	22.5	62	أوافق	
76.7	15.6	15.6	43	لا أوافق بشدة	
89.1	12.4	12.4	34	لا أوافق	
100.0	10.9	10.9	30	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 13: التحليل الإحصائي لأداء تطبيق النموذج إلى تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية على المدى الطويل.



شكل توضيحي 10: التمثيل البياني لأداء تطبيق النموذج إلى تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية على المدى الطويل.

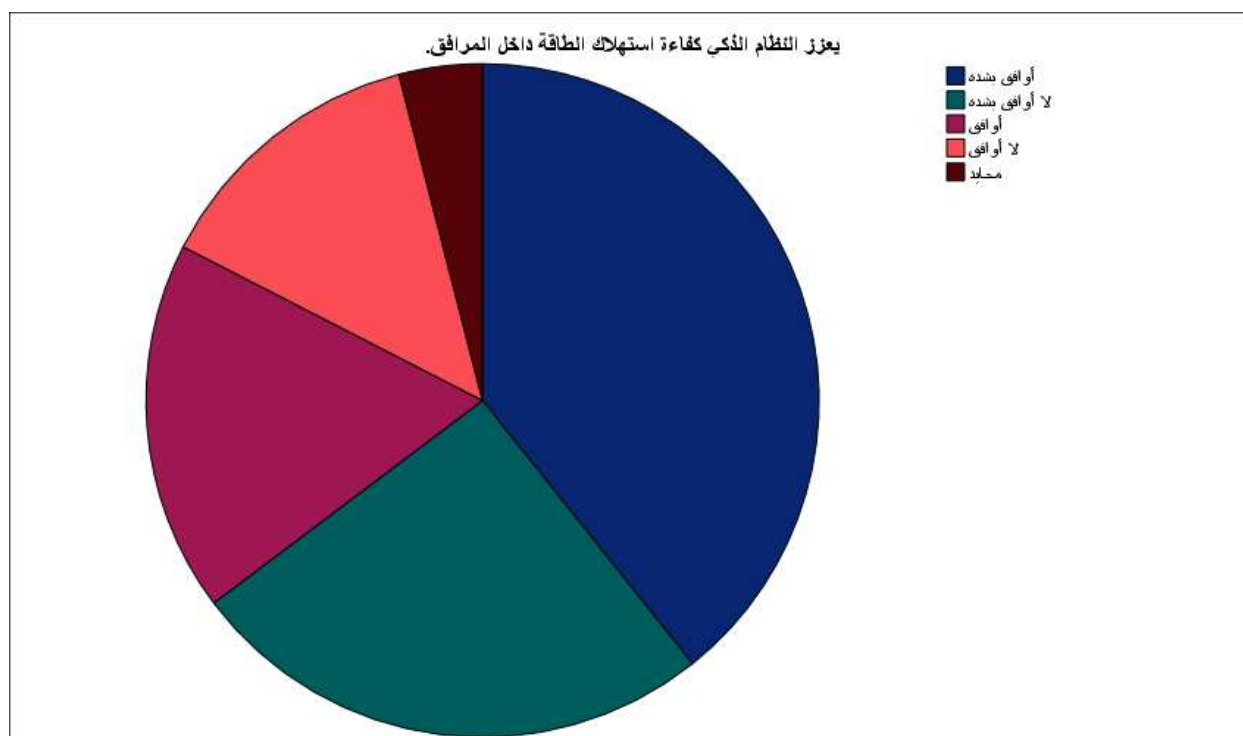
• يعزز النظام الذكي كفاءة استهلاك الطاقة داخل المرافق.

سجل خيار "أوافق بشدة" الاكتساح الأكبر بنسبة 39.3%. النتيجة منطقية تماماً. يربط الخبراء بين ذكاء الأنظمة وبين تقليل الهدر الطاقوي. دمج نسب التأييد يضعنا أمام 57.1% من العينة المؤمنة بهذا الأثر. الممارسون في الميدان يدركون حجم الفاقد في أنظمة التكييف والإنارة التقليدية. النظام الذكي يضبط الاستهلاك بناءً على الإشغال الفعلي. التوجه العام يدعم الاستدامة. غياب الإدارة الذكية للطاقة يؤدي إلى تضخم تكاليف التشغيل غير المبررة.

برز انقسام عند النظر إلى المعارضة الشديدة. 25.5% من العينة رفضوا الفرضية قطعياً. الرقم ضخّم ومقلق. التشتت هنا يعكس فجوة في التجارب الميدانية السابقة. ربما تعامل هؤلاء مع أنظمة معقدة لم تحقق وفراً حقيقياً في فواتير الكهرباء. نسبة "لا أوافق" بلغت 13.5%. المعارضة الإجمالية تقترب من 40%. فئة المحايدون انكمشت إلى 4% فقط. الجميع اتخذ موقفاً هجومياً أو دفاعياً. هذا الاستقطاب يشي بأن كفاءة الطاقة تظل الملف الأكثر جدلاً في تطبيقات الذكاء الاصطناعي؛ فالتحدي يكمن في إثبات العائد البيئي والمادي الملموس للمرافق القديمة.

يعزز النظام الذكي كفاءة استهلاك الطاقة داخل المرافق.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
39.3	39.3	39.3	108	أوافق بشدة	Valid
64.7	25.5	25.5	70	لا أوافق بشدة	
82.5	17.8	17.8	49	أوافق	
96.0	13.5	13.5	37	لا أوافق	
100.0	4.0	4.0	11	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 14 : التحليل الإحصائي لتعزيز النظام الذكي كفاءة استهلاك الطاقة داخل المرافق.



شكل توضيحي 11 : التمثيل البياني لتعزيز النظام الذكي كفاءة استهلاك الطاقة داخل المرافق.

• يوفر النموذج تقارير تحليلية دقيقة تساعد الإدارة في تقييم الأداء التشغيلي.

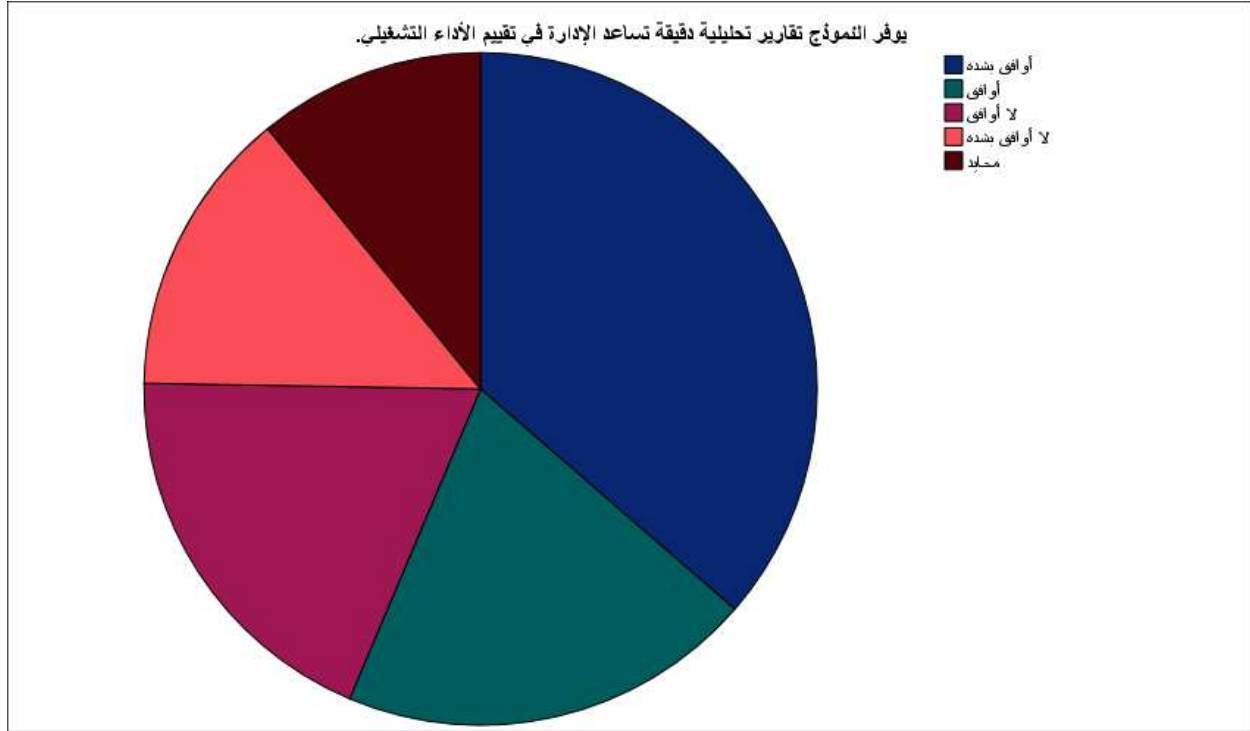
سجل خيار "محايد" النسبة الأقل بـ 10.9% فقط؛ ما يعكس وضوح الرؤية لدى الغالبية العظمى من العينة حول دور التقارير الذكية. استأثر خيار "أوافق بشدة" بالمرتبة الأولى بواقع 36.4%. النتيجة منطقية في ظل التحول نحو الإدارة القائمة على البيانات. يرى المتخصصون أن الذكاء الاصطناعي يحرر التقارير من الخطأ البشري والانحياز الشخصي؛ فالدقة هنا ليست مجرد ميزة تقنية، بل ضرورة لتقييم الأداء التشغيلي الفعلي. عند دمج نسب التأييد نجد أن 56.4% يثقون في قدرة النموذج على توفير لوحات معلومات (Dashboards) تحليلية رصينة. هذا الإجماع النسبي يدعم فكرة الانتقال من التقارير السردية التقليدية إلى التحليلات الرقمية العميقة التي ترصد الانحرافات في وقتها الحقيقي.

وفي تقارب نسب الرفض؛ حيث سجل 18.9% عدم موافقتهم، وانضم إليهم 13.8% ممن يعارضون بشدة. التشتت هنا يشي بوجود فجوة ثقة في "جودة البيانات" الأصلية. يبدو أن شريحة من الإدارة تخشى أن تكون التقارير دقيقة حسابياً لكنها منفصلة عن تعقيدات الواقع الميداني. الرفض الإجمالي الذي تجاوز 32% قد يكون نابغاً من تجارب سابقة مع أنظمة برمجية لم توفر العمق التحليلي المطلوب. غياب التقارير الدقيقة يؤثر مباشرة على صياغة استراتيجيات الصيانة طويلة الأمد؛ ما يجعل المؤسسة عرضة لاتخاذ قرارات مبنية على فرضيات قديمة. النتيجة تفرض على مطوري النموذج ضمان شفافية الخوارزميات المستخدمة في استخراج هذه التقارير لكسب ثقة الفئات الراضية.

يوفر النموذج تقارير تحليلية دقيقة تساعد الإدارة في تقييم الأداء التشغيلي.					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	36.4	36.4	36.4	100	أوافق بشدة
	56.4	20.0	20.0	55	أوافق
	75.3	18.9	18.9	52	لا أوافق
	89.1	13.8	13.8	38	لا أوافق بشدة
	100.0	10.9	10.9	30	محايد

	100.0	100.0	275	Total	
--	-------	-------	-----	-------	--

جدول 15: التحليل الإحصائي لتوفير النموذج تقارير تحليلية دقيقة تساعد الإدارة في تقييم الأداء التشغيلي.



شكل توضيحي 12: التمثيل البياني لتوفير النموذج تقارير تحليلية دقيقة تساعد الإدارة في تقييم الأداء التشغيلي.

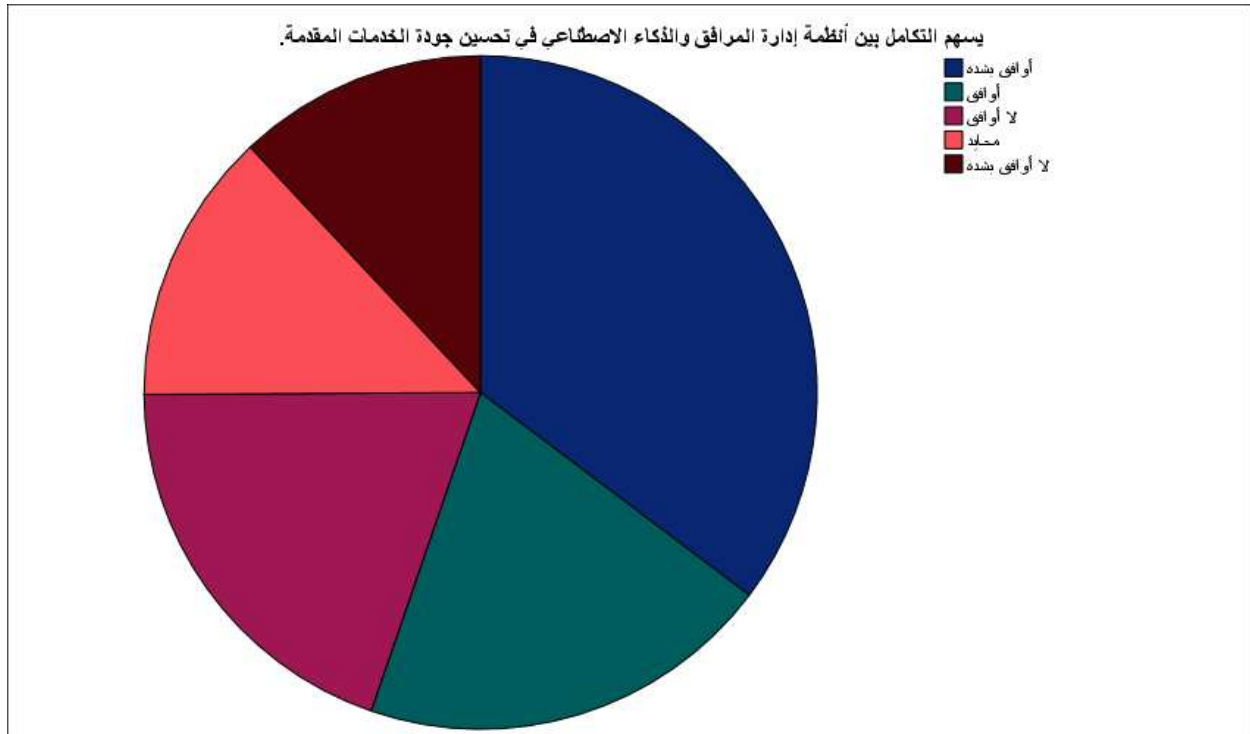
• يسهم التكامل بين أنظمة إدارة المرافق والذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات المقدمة.

التباين في مواقف العينة بدا متوازناً بشكل يعكس نضجاً في تقييم جودة الخدمات المخرجة؛ فالانقسام بين التأييد والمعارضة لم يكن حاداً بل تدريجياً. حاز خيار "أوافق بشدة" على المرتبة الأولى بنسبة 35.3%. النتيجة منطقية. يرى الممارسون أن جودة الخدمة هي النتيجة النهائية والهدف الأسى لأي تكامل تقني. عند دمج نسب الموافقة، نجد أن 55.3% يقرون بجدوى الربط بين أنظمة الإدارة والذكاء الاصطناعي لرفع معايير الخدمة. تحسين الجودة هنا يرتبط بتقليل فترات التعطل وسرعة الاستجابة لطلبات الصيانة؛ فالنموذج المقترح ليس مجرد أداة هندسية، بل هو محرك لرفع مستوى رضا المستخدم النهائي داخل المرفق. وفي وجود جبهة معارضة تقترب من 32% من إجمالي المشاركين (19.6% لا يوافقون و12% لا يوافقون بشدة). التشتت هنا يوحي بوجود تخوف من أن تؤدي الأتمتة إلى "تنميط" الخدمات على حساب الاحتياجات الإنسانية أو المرونة الميدانية. فئة

المحايدین سجلت 13.1%. النتيجة قوية في دلالتها. يبدو أن الثقة في تحسين الجودة مرتبطة بمدى قدرة النظام على التعامل مع الحالات الطارئة التي تتطلب "لمسة بشرية". هذا النقص في الإجماع المطلق قد يؤثر على سرعة تبني النموذج في قطاعات الضيافة أو المرافق الطبية؛ حيث تتداخل الجودة التقنية مع الجودة الخدمية بشكل معقد.

يسهم التكامل بين أنظمة إدارة المرافق والذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات المقدمة.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
35.3	35.3	35.3	97	أوافق بشدة	Valid
55.3	20.0	20.0	55	أوافق	
74.9	19.6	19.6	54	لا أوافق	
88.0	13.1	13.1	36	محايد	
100.0	12.0	12.0	33	لا أوافق بشدة	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 16 : التحليل الإحصائي لإسهام التكامل بين أنظمة إدارة المرافق والذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات المقدمة.



شكل توضيحي 13: التمثيل البياني لإسهام التكامل بين أنظمة إدارة المرافق والذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات المقدمة.

• يقلل استخدام الذكاء الاصطناعي من الاعتماد على التدخل البشري في العمليات الروتينية.

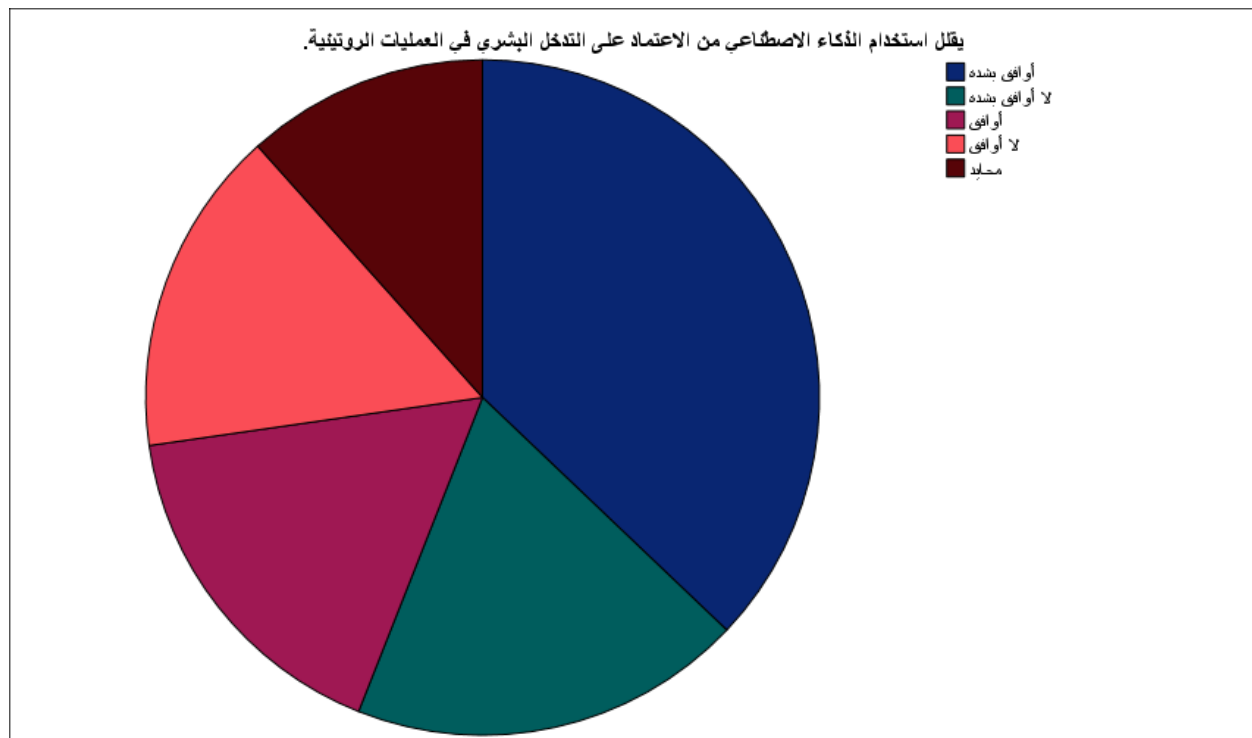
التباين في مواقف العينة حول تقليص الدور البشري كشف عن انقسام جوهري بين الطموح التقني والواقع الميداني؛ فالفجوة بين أقصى الموافقة وأقصى المعارضة تعكس تشتتاً في المفاهيم المهنية للأتمتة. سجل خيار "أوافق بشدة" المرتبة الأولى بنسبة 37.1%. النتيجة منطقية في سياق التحول الرقمي. يرى هؤلاء أن المهام الروتينية، مثل إدخال البيانات أو جدولة الفحوصات الدورية، تستنزف الموارد البشرية دون قيمة مضافة حقيقية. النسبة الإجمالية للموافقين بلغت 53.8%. هذا التوجه يدعم فكرة تفريغ الكوادر البشرية للمهام التحليلية والمعقدة. الاستغناء عن التدخل اليدوي في العمليات المتكررة يرفع من سرعة الاستجابة التشغيلية ويقلل من احتمالات الخطأ الناتجة عن الإجهاد أو السهو.

سجل 18.9% رفضاً شديداً لهذه الفرضية، وانضم إليهم 15.6% من الرافضين. هذا التشكك يشي بمخاوف مهنية من فقدان "الرقابة البشرية" أو حتى القلق على الأمان الوظيفي. يبدو أن شريحة من الممارسين لا تزال ترى أن الذكاء الاصطناعي قد يفتقر إلى المرونة اللازمة للتعامل مع المفاجآت التي تخرج عن نطاق "الروتين". فئة المحايدين استقرت عند 11.6%. النتيجة قوية؛

فالتحدي الأكبر للنموذج المقترح ليس تقنياً فحسب، بل يتمثل في إقناع الكوادر البشرية بأن الأتمتة أداة تمكين وليست أداة إقصاء. هذا النقص في الإجماع قد يولد مقاومة تنظيمية عند البدء في تطبيق النظام فعلياً داخل المرافق التي تعتمد كلياً على الإدارة التقليدية.

يقلل استخدام الذكاء الاصطناعي من الاعتماد على التدخل البشري في العمليات الروتينية.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
37.1	37.1	37.1	102	أوافق بشدة	Valid
56.0	18.9	18.9	52	لا أوافق بشدة	
72.7	16.7	16.7	46	أوافق	
88.4	15.6	15.6	43	لا أوافق	
100.0	11.6	11.6	32	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 17: التحليل الإحصائي لتقليل استخدام الذكاء الاصطناعي من الاعتماد على التدخل البشري في العمليات الروتينية.



شكل توضيحي 14 : التمثيل البياني لتقليل استخدام الذكاء الاصطناعي من الاعتماد على التدخل البشري في العمليات الروتينية.

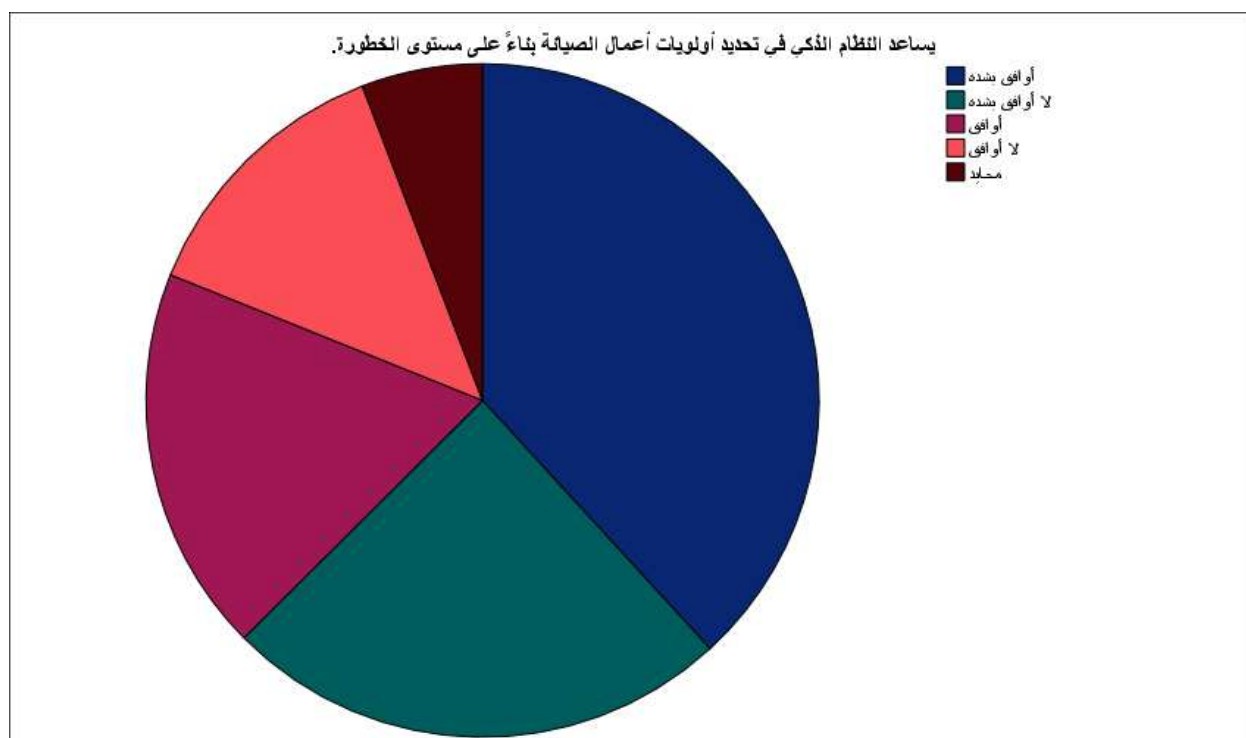
• يساعد النظام الذكي في تحديد أولويات أعمال الصيانة بناءً على مستوى الخطورة.

اكتسح خيار "أوافق بشدة" المرتبة الأولى بنسبة 38.2%. النتيجة منطقية تماماً. يدرك المهندسون أن معضلة الصيانة تكمن في ترتيب الأولويات. النظام الذكي ينهي التخبط الميداني. هو يفرز المهام بناءً على درجة الحرج. عند دمج نسب الموافقة نجد أن 56.7% يدعمون هذا التوجه التقني. الترتيب الآلي يمنع تعطل الأصول الحيوية. غياب هذا الترتيب الذكي قد يؤدي إلى استنزاف الموارد في أعطال ثانوية بينما تنهار الأنظمة الأساسية.

وعند النظر إلى المعارضة الشديدة؛ حيث بلغت نسبة "لا أوافق بشدة" 24.4%. الرقم ضخم ومثير للقلق. التشتت هنا يعكس فجوة عميقة في الثقة. يبدو أن ربع العينة يخشى نزاع "القرار البشري" في تقدير المخاطر. المهام الميدانية تتطلب أحياناً حساً أمنياً لا تدركه الخوارزمية. نسبة "لا أوافق" سجلت 13.1%. المعارضة الإجمالية تجاوزت 37%. فئة المحايدين تضاءلت إلى 5.8%. الجميع لديه موقف حاسم. هذا الاستقطاب يشي بأن نجاح النموذج يمر عبر بوابة إثبات قدرته على فهم "سياق الخطورة" وليس مجرد معالجة أرقام جافة.

يساعد النظام الذكي في تحديد أولويات أعمال الصيانة بناءً على مستوى الخطورة.					
	Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency	
Valid	38.2	38.2	38.2	105	أوافق بشدة
	62.5	24.4	24.4	67	لا أوافق بشدة
	81.1	18.5	18.5	51	أوافق
	94.2	13.1	13.1	36	لا أوافق
	100.0	5.8	5.8	16	محايد
		100.0	100.0	275	Total

جدول 18: التحليل الإحصائي لمساعدة النظام الذكي في تحديد أولويات أعمال الصيانة بناءً على مستوى الخطورة.



شكل توضيحي 15: التمثيل البياني لمساعدة النظام الذكي في تحديد أولويات أعمال الصيانة بناءً على مستوى الخطورة.

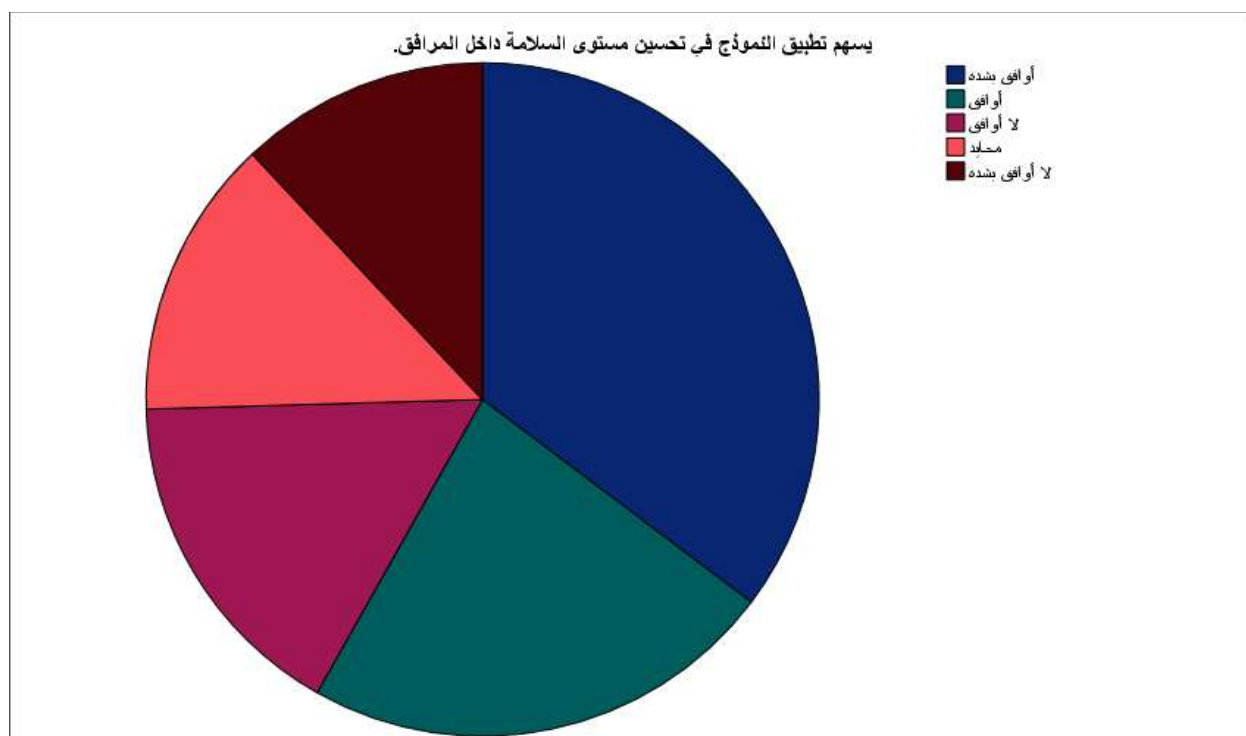
• يسهم تطبيق النموذج في تحسين مستوى السلامة داخل المرافق.

نالت موافقة 35.3% من عينة الدراسة المرتبة الأولى بتصويتهم "أوافق بشدة" على دور النموذج في تعزيز السلامة؛ وهو ما يعكس قناعة مهنية بأن الذكاء الاصطناعي يتجاوز الكفاءة التشغيلية ليصل إلى حماية الأرواح والممتلكات. النتيجة كانت واضحة. يرتفع إجمالي المؤيدين إلى 58.2% عند دمج الفئات الموافقة. يرى هؤلاء أن التنبؤ بالأعطال الحرجة يمنع وقوع حوادث كارثية في المواقع؛ فالتحكم الرقمي يقلل من احتمالات الانفجارات أو الانهيارات التقنية المفاجئة. السلامة في المرافق ليست رفاهية. غياب الرقابة الذكية قد يؤدي إلى ثغرات أمنية وتشغيلية يصعب تداركها بالوسائل التقليدية.

وفي وجود تباين ملحوظ في آراء المعارضين؛ حيث سجل 16.4% عدم موافقتهم، وانضم إليهم 12% ممن يرفضون بشدة. التشتت هنا يشي بوجود مخاوف من الاعتماد الكلي على الآلة في ملف حساس كالسلامة. يبدو أن شريحة من الخبراء تخشى "العمى التقني"؛ حيث قد تغفل الحساسات عن مؤشرات فيزيائية يدركها الفني المتمرس بحواسه. فئة المحايد بلغت 13.5%. النتيجة قوية وتفرض ضرورة تقديم النموذج كأداة "مساعدة" لمنظومة السلامة البشرية لا بديلاً عنها. هذا التوجس قد يعيق اعتماد الأنظمة الذكية في المنشآت ذات الحساسية العالية ما لم يتم إثبات دقة بروتوكولات الطوارئ الرقمية بشكل عملي وميداني.

يسهم تطبيق النموذج في تحسين مستوى السلامة داخل المرافق.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
35.3	35.3	35.3	97	أوافق بشدة	Valid
58.2	22.9	22.9	63	أوافق	
74.5	16.4	16.4	45	لا أوافق	
88.0	13.5	13.5	37	محايد	
100.0	12.0	12.0	33	لا أوافق بشدة	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 19: التحليل الإحصائي لإسهام تطبيق النموذج في تحسين مستوى السلامة داخل المرافق.



شكل توضيحي 16 : التمثيل البياني لإسهام تطبيق النموذج في تحسين مستوى السلامة داخل المرافق.

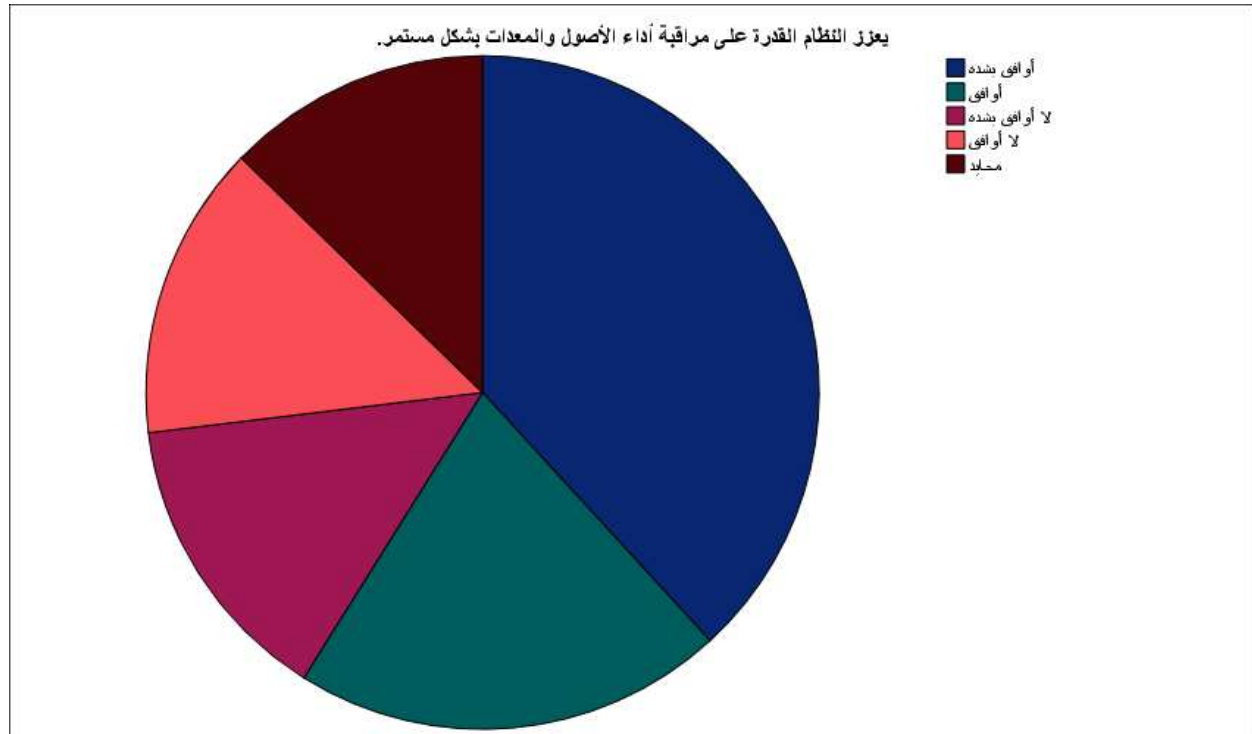
• يعزز النظام القدرة على مراقبة أداء الأصول والمعدات بشكل مستمر.

سجلت فئة "محايد" النسبة الأقل بـ 12.7% من إجمالي استجابات العينة؛ ما يبرز تباعداً واضحاً في مواقف المشاركين بين التأييد المطلق والمعارضة الصريحة. استأثر خيار "أوافق بشدة" بالمرتبة الأولى بواقع 38.2%. النتيجة منطقية وتعكس حاجة قطاع إدارة المرافق إلى الانتقال من الجولات التفتيشية التقليدية إلى المراقبة الرقمية اللحظية. يدرك المتخصصون أن استمرارية تدفق البيانات من المعدات تمنح صورة حقيقية عن الحالة الفنية للأصول. عند دمج نسب التأييد نجد أن 58.9% من العينة يثقون في جدوى النظام المقترح تقنياً. هذه الثقة تعني أن النموذج قادر على سد الفجوة في متابعة المعدات الحرجة التي يصعب الوصول إليها بشكل دوري؛ فالمراقبة المستمرة تضمن استباق التدهور الفني قبل وقوع الانهيار التشغيلي الكامل. وفي التساوي التام بين فئتي "لا أوافق" و "لا أوافق بشدة" بنسبة 14.2% لكل منهما. التشتت هنا يشي بوجود تخوف من "تخمة البيانات" وصعوبة معالجتها ميدانياً. يبدو أن شريحة من المهندسين تخشى أن تتحول المراقبة المستمرة إلى عبء إداري يولد

تنبيهات متلاحقة قد لا تكون جميعها ذات قيمة فعلية. الرفض الإجمالي الذي بلغ 28.4% يعبر عن قلق من تكلفة تركيب الحساسات وصيانتها في بيئات العمل القاسية. النتيجة قوية؛ فنجاح النموذج في مراقبة الأصول يتطلب ليس فقط رصد البيانات، بل تصنيفها وتقديمها في شكل معلومات موجزة وقابلة للتنفيذ. هذا النقص في الإجماع المطلق قد يؤثر على سرعة تبني النموذج في المنشآت التي لا تزال تعتمد على السجلات الورقية أو الأنظمة المنفصلة غير المرتبطة بشبكة موحدة.

يعزز النظام القدرة على مراقبة أداء الأصول والمعدات بشكل مستمر.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
38.2	38.2	38.2	105	أوافق بشدة	Valid
58.9	20.7	20.7	57	أوافق	
73.1	14.2	14.2	39	لا أوافق بشدة	
87.3	14.2	14.2	39	لا أوافق	
100.0	12.7	12.7	35	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 20: التحليل الإحصائي لتعزيز النظام القدرة على مراقبة أداء الأصول والمعدات بشكل مستمر.



شكل توضيحي 17: التمثيل البياني لتعزيز النظام القدرة على مراقبة أداء الأصول والمعدات بشكل مستمر.

• يدعم النموذج المقترح مبدأ الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التصحيحية التقليدية.

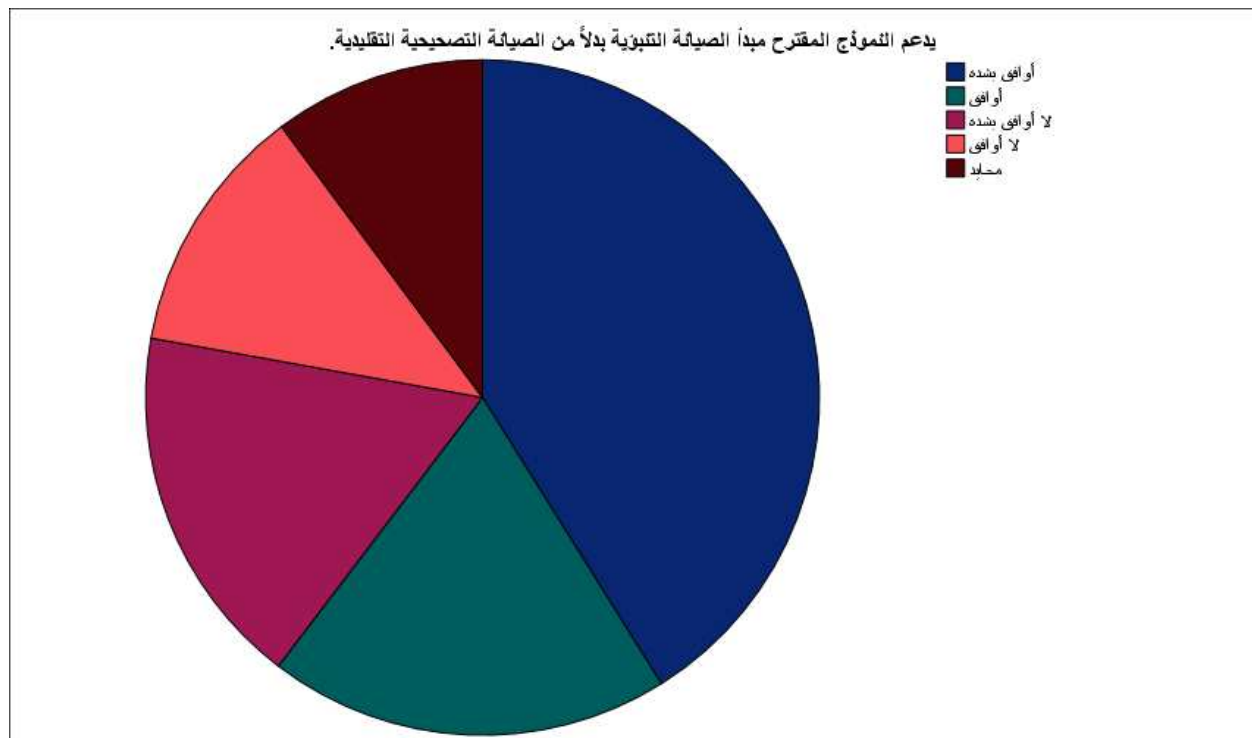
اكتسحت فئة "أوافق بشدة" صدارة الآراء بنسبة 41.1%؛ ما يكشف عن رغبة عارمة لدى المتخصصين في الخروج من دائرة "إطفاء الحرائق" التي تفرضها الصيانة التصحيحية. النتيجة منطقية وتعكس نضجاً مهنيّاً. يدرك الممارسون أن استدامة المرافق ترتبط جذرياً بالاستباقية الرقمية. عند دمج نسب التأييد، نجد أن 60.4% من العينة يناصرون هذا التحول الاستراتيجي. الصيانة التنبؤية تمنح الإدارة القدرة على جدولة التدخلات بناءً على الحالة الفعلية للمعدة لا على مجرد جداول زمنية افتراضية. هذا التوجه يدعم كفاءة التشغيل بشكل مباشر. الفشل في تبني هذا المبدأ يعني استمرار استنزاف الموارد في إصلاحات مفاجئة تعطل سير العمل وتزيد من كلفة التوقفات غير المخطط لها.

سجل 17.5% رفضاً شديداً، وانضم إليهم 12% من الرافضين. التشتت هنا يشي بوجود شكوك حول تكلفة التكنولوجيا المطلوبة لتطبيق هذا المبدأ. يبدو أن شريحة من المهندسين ترى أن "الصيانة التصحيحية" رغم عيوبها، تظل أقل تعقيداً من الناحية الإجرائية والتقنية في ظل غياب الكوادر المؤهلة. فئة المحايدين استقرت عند 10.2%. النتيجة قوية وتضع مطوري

النموذج أمام تحدي إثبات سهولة التطبيق. الانقسام في الآراء يعبر عن صراع بين مدرسة تقليدية تعتمد على رد الفعل، ومدرسة حديثة تطمح للسيطرة الكاملة على الأصول عبر البيانات. هذا التباين قد يؤثر على سرعة التحول الرقمي في المؤسسات التي لا تمتلك بنية تحتية قوية تدعم مستشعرات المراقبة اللحظية.

يدعم النموذج المقترح مبدأ الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التصحيحية التقليدية.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
41.1	41.1	41.1	113	أوافق بشدة	Valid
60.4	19.3	19.3	53	أوافق	
77.8	17.5	17.5	48	لا أوافق بشدة	
89.8	12.0	12.0	33	لا أوافق	
100.0	10.2	10.2	28	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 21: التحليل الإحصائي لدعم النموذج المقترح مبدأ الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التصحيحية التقليدية.



شكل توضيحي 18: التمثيل البياني لدعم النموذج المقترح مبدأ الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التصحيحية التقليدية.

• يسهم استخدام تقنيات تحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التشغيل.

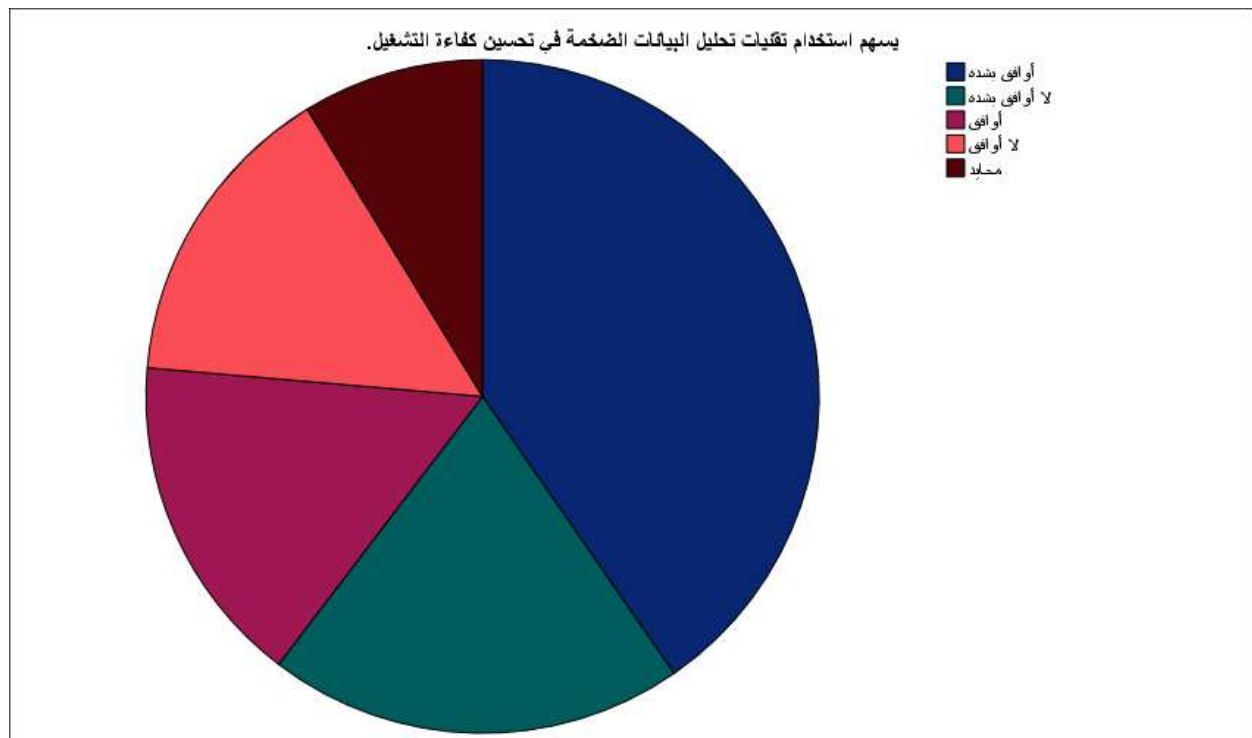
سجل خيار "محايد" النسبة الأقل بواقع 8.7% فقط من إجمالي استجابات المشاركين؛ ما يعكس نضجاً في تكوين رأي محدد تجاه تقنيات البيانات الضخمة (Big Data) وتأثيرها على كفاءة التشغيل. استأثر خيار "أوافق بشدة" بالمرتبة الأولى بنسبة 40.4%. النتيجة منطقية وتعزز توجه النموذج المقترح نحو استغلال التدفق المعلوماتي الهائل داخل المرافق. يرى المهندسون في الميدان أن الكفاءة لم تعد ترتبط بمجرد مهارة الفني، بل بمدى القدرة على تحليل الأنماط التاريخية والاسترشاد بها لتحسين الأداء. عند دمج نسب التأييد، نجد أن 56.4% من العينة يناصرون الفرضية؛ فاستخدام التحليلات المتقدمة يقلل من العشوائية الإدارية ويحول البيانات الخام إلى قرارات تشغيلية ملموسة. غياب هذا التحليل قد يؤدي إلى فقدان رؤى جوهرية حول أداء الأصول؛ ما يضعف قدرة المرفق على المنافسة أو الاستمرارية بمعايير جودة عالية.

وعند وجود تكتل معارض صلب؛ إذ سجل 20% رفضاً شديداً، وانضم إليهم 14.9% من الراضين. التشتت هنا يشي بوجود مخاوف حقيقية من "فوضى البيانات". يبدو أن شريحة من الكوادر تخشى من صعوبة معالجة هذه الكميات المهولة من

المعلومات في ظل ضعف البنية التحتية الرقمية الحالية. الرفض الإجمالي الذي اقترب من 35% يعبر عن قلق مهني من تحول التكنولوجيا إلى عائق بدلاً من كونها أداة مساعدة؛ خاصة إذا لم يقترن ذلك بوجود خوارزميات ذكاء اصطناعي قادرة على فلترة المعلومات غير الضرورية. النتيجة قوية وتفرض ضرورة تقديم النموذج كآلية لتبسيط البيانات وتلخيصها. هذا التباين في الآراء يبرهن على أن نجاح "البيانات الضخمة" في قطاع المرافق يعتمد كلياً على كيفية تقديمها لمتخذ القرار بشكل مبسط وقابل للتنفيذ السريع.

يسهم استخدام تقنيات تحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التشغيل.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
40.4	40.4	40.4	111	أوافق بشدة	Valid
60.4	20.0	20.0	55	لا أوافق بشدة	
76.4	16.0	16.0	44	أوافق	
91.3	14.9	14.9	41	لا أوافق	
100.0	8.7	8.7	24	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 22: التحليل الإحصائي لإسهام استخدام تقنيات تحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التشغيل.



شكل توضيحي 19: التمثيل البياني لإسهام استخدام تقنيات تحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التشغيل.

• يؤدي تطبيق النموذج المتكامل إلى رفع مستوى رضا المستفيدين عن خدمات المرافق.

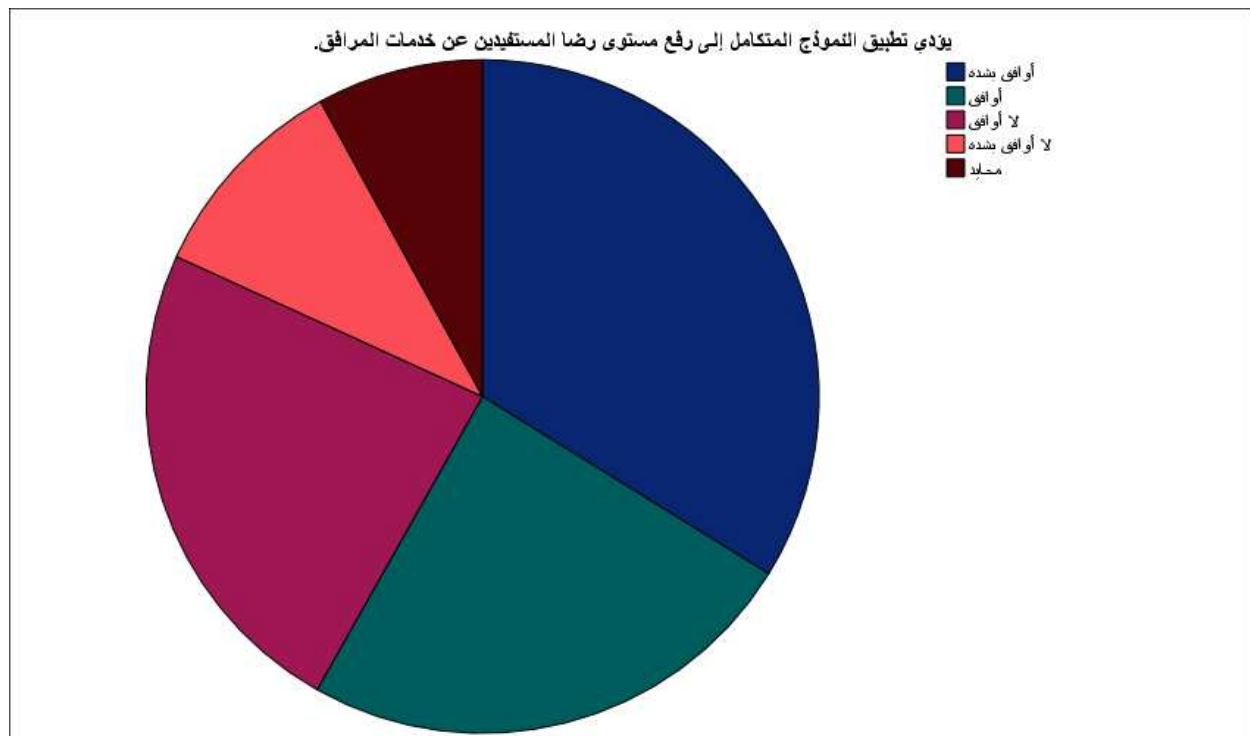
تباينت وجهات نظر المشاركين حول الأثر النهائي للنموذج على تجربة المستفيد؛ إذ نجد تقارباً بين تيار التأييد وتيار التحفظ الميداني. حاز خيار "أوافق بشدة" على المرتبة الأولى بنسبة 33.8%. النتيجة تعكس إدراكاً بأن جودة المرفق تُقاس في النهاية بمدى رضا شاغليه. عند دمج نسب الموافقة، يتضح أن 58.2% من العينة يربطون بين ذكاء المنظومة وتحسين مستوى الخدمة. هذا الرضا ينبع من تقليل فترات انتظار الإصلاح وضبط المناخ الداخلي للمرافق آلياً؛ فالهدف من الذكاء الاصطناعي ليس تقنياً بحثاً، بل هو تحويل البيئة المبنية إلى مساحة أكثر استجابة لاحتياجات البشر.

وفي قوة تيار المعارضة الذي سجل 23.6% لخيار "لا أوافق" و 10.2% للرفض الشديد. هذا التشتت يشي بوجود شكوك إدارية حول قدرة الآلة على فهم "العنصر النفسي" للرضا؛ فالمستفيد أحياناً يقدّر التفاعل البشري المباشر عند حدوث عطل أكثر من تقديره لكفاءة النظام في صمته. نسبة المحايد كانت الأقل بواقع 8%. العينة منقسمة بوضوح. الرفض الإجمالي الذي تجاوز 33% قد يعود لتجارب سابقة أدت فيها الأتمتة إلى تعقيد وصول المستخدم لطلبات الخدمة. النتيجة قوية؛ فنجاح

النموذج في رفع مستوى الرضا يتطلب واجهات استخدام بسيطة تضمن عدم شعور المستفيد بالعزلة داخل المرفق الذكي. هذا الانقسام يفرض على مديري المرافق موازنة الحلول الرقمية بالدعم الفني التقليدي لضمان قبول النموذج على نطاق واسع.

يؤدي تطبيق النموذج المتكامل إلى رفع مستوى رضا المستفيدين عن خدمات المرافق.					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
33.8	33.8	33.8	93	أوافق بشدة	Valid
58.2	24.4	24.4	67	أوافق	
81.8	23.6	23.6	65	لا أوافق	
92.0	10.2	10.2	28	لا أوافق بشدة	
100.0	8.0	8.0	22	محايد	
	100.0	100.0	275	Total	

جدول 23: التحليل الإحصائي لأداء تطبيق النموذج المتكامل إلى رفع مستوى رضا المستفيدين عن خدمات المرافق.



شكل توضيحي 20: التمثيل البياني لأداء تطبيق النموذج المتكامل إلى رفع مستوى رضا المستفيدين عن خدمات المرافق.

• تحليل الجداول المتقاطعة لمتغيرات الدراسة:

• اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة

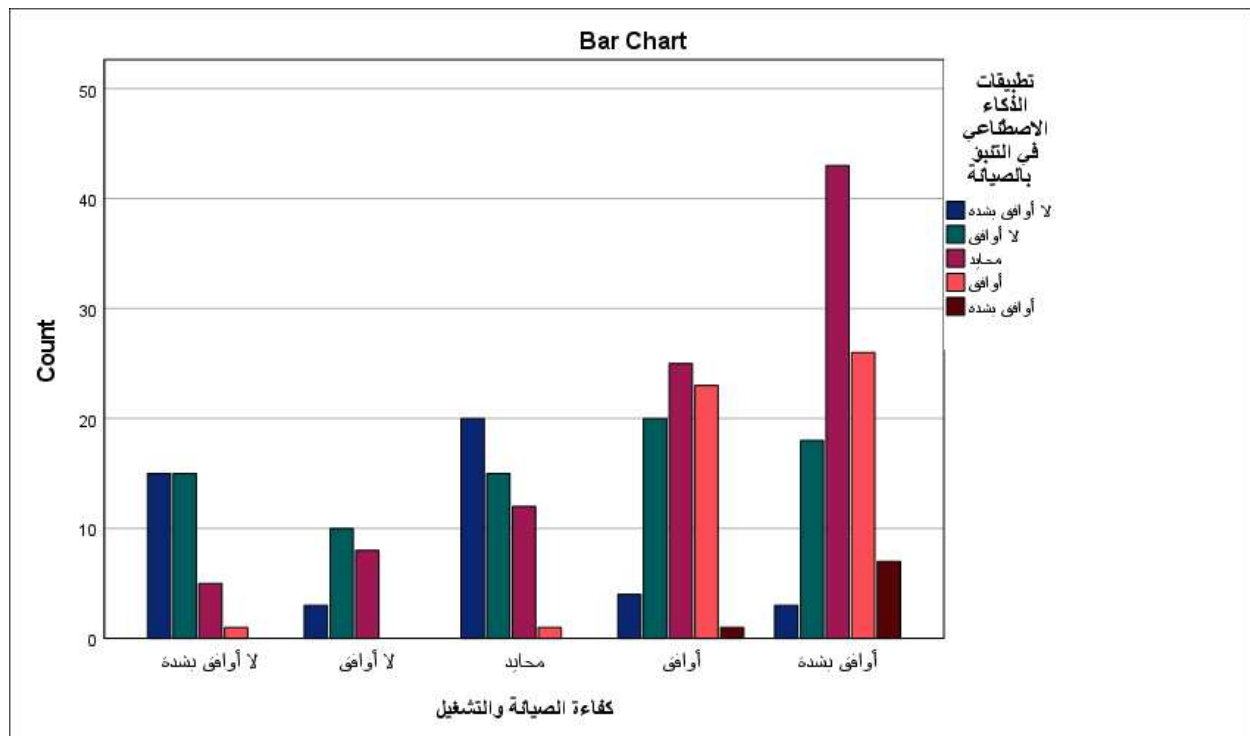
سجل اختبار كاي تربيع قيمة مرتفعة بلغت 101.461؛ ما يؤكد وجود علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية قوية بين توظيف تطبيقات الذكاء الاصطناعي ورفع كفاءة عمليات الصيانة. مستوى المعنوية جاء صفرًا (0.000). النتيجة قوية إحصائياً. هذا الربط يبرهن على أن تحسين التنبؤ بالأعطال ليس مجرد تطور تقني معزول، بل هو محرك أساسي لضبط الأداء التشغيلي في المرافق. الاعتماد على نسبة Association الخطية (67.758) يعزز من فرضية أن كل زيادة في دمج الحلول الذكية يقابلها تحسن طردي ومباشر في جودة الصيانة. الربط هنا يتجاوز المصادفة؛ فالمعطيات تشير إلى أن النموذج المقترح يلمس صلب الاحتياجات الميدانية لمديري المرافق.

ظهرت هذه القوة الارتباطية رغم وجود بعض الخلايا (28%) بتكرارات متوقعة أقل من 5، وهو أمر متوقع في العينات الضخمة ذات المتغيرات المتعددة. التشتت المحدود لا يضعف من جوهر النتيجة. القيمة الاحتمالية التي تقل عن 0.05 تحسم الجدل

لصالح النموذج. كفاءة التشغيل ترتبط بنسباً بالقدرة على استشراف الخلل قبل وقوعه. غياب هذا الربط التقني كان سيؤدي إلى عشوائية في اتخاذ القرار بالموقع: ما يرفع من كلفة التوقفات المفاجئة. النتيجة تدعم بقوة إدماج خوارزميات التنبؤ كجزء أصيل من منظومة إدارة المرافق الحديثة لضمان استدامة الأصول.

Chi-Square Tests			
Asymptotic Significance (2-sided)	df	Value	
.000	16	101.461 ^a	Pearson Chi-Square
.000	16	110.246	Likelihood Ratio
.000	1	67.758	Linear-by-Linear Association
		275	N of Valid Cases
a. 7 cells (28.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .61.			

جدول 24: اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة



شكل توضيحي 21: المقاييس المتمثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة

• اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتحليل البيانات التشغيلية

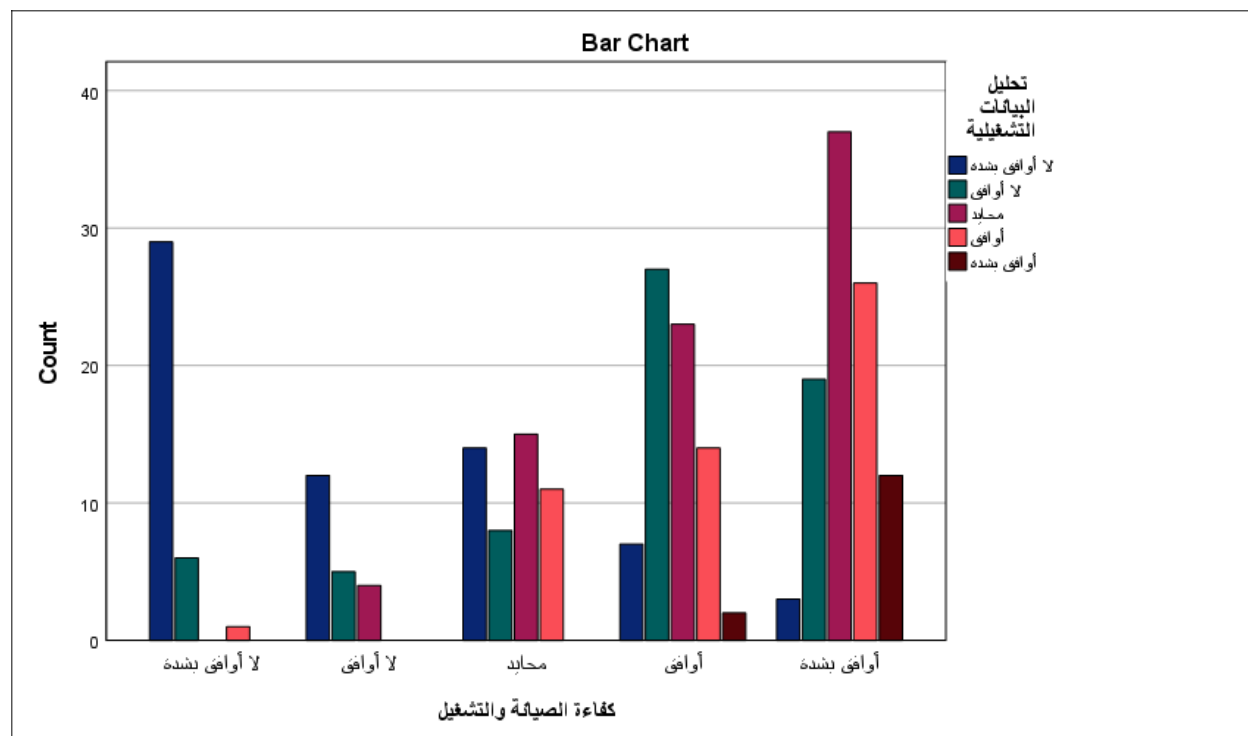
سجلت قيمة "بيرسون كاي تربيع" 134.352 دلالة إحصائية قوية جداً عند مستوى معنوية 0.000؛ ما يقطع بوجود رابط عضوي بين جودة تحليل البيانات التشغيلية وارتفاع كفاءة المرفق. النتيجة قوية. لا يمكن فصل الأداء الميداني عن البنية المعلوماتية التي تغذيه. تشير قيمة الارتباط الخطي (89.557) إلى أن التحسن في قدرات التحليل الرقمي يتبعه بالضرورة ارتفاع في مستويات التشغيل. هذا الترابط يفسر لماذا تفشل الإدارات التقليدية في السيطرة على تكاليف الصيانة؛ فغياب التحليل اللحظي للبيانات يحول دون رصد الانحرافات الصغيرة قبل تفاقمها.

تجاوزت هذه القيمة الإحصائية عائق وجود بعض الخلايا (32%) بتكرارات متوقعة منخفضة. القوة التنبؤية للعلاقة تظل قائمة. الواقع العملي يفرض هذا الربط؛ إذ إن تحليل بيانات الحساسات وسجلات العمل اليومية يمنح متخذ القرار رؤية "بانورامية" للأصول. النقص في هذا التكامل البياني قد يعطل سير العمليات؛ حيث تظل الإدارة أسيرة التقديرات الشخصية

بدلاً من الحقائق الرقمية. النتيجة تدعم بشكل مباشر جدوى النموذج المتكامل؛ فالذكاء الاصطناعي هنا ليس مجرد إضافة تقنية، بل هو المحرك الذي يحول البيانات "الخاملة" إلى قرارات تشغيلية تنعكس على عمر المعدات وإنتاجية الكوادر.

Chi-Square Tests			
Asymptotic Significance (2-sided)	df	Value	
.000	16	134.352 ^a	Pearson Chi-Square
.000	16	142.919	Likelihood Ratio
.000	1	89.557	Linear-by-Linear Association
		275	N of Valid Cases
a. 8 cells (32.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.07.			

جدول 25: اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتحليل البيانات التشغيلية



شكل توضيحي 22: المقاييس المتمثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل وتحليل البيانات التشغيلية

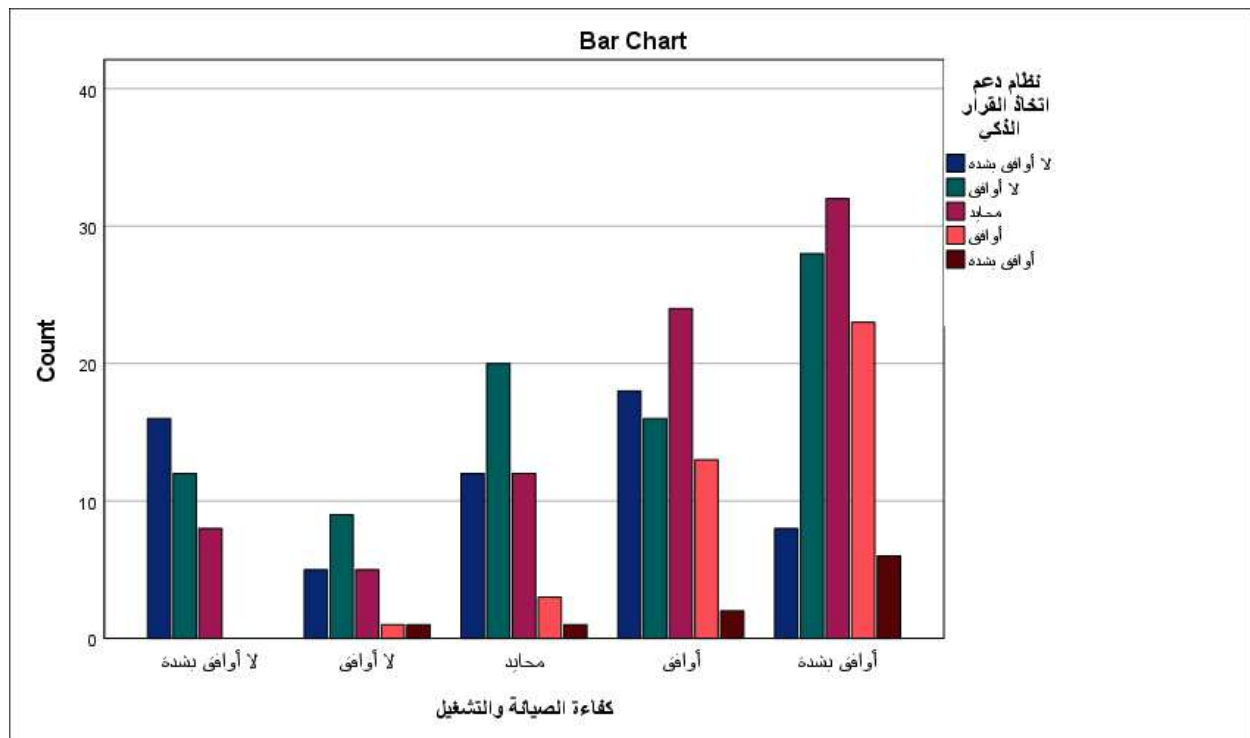
• اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل ونظام دعم اتخاذ القرار الذكي

أظهرت قيمة اختبار كاي تربيع (42.829) وجود علاقة جوهرية ذات دلالة إحصائية بين كفاءة الصيانة وتفعيل أنظمة دعم القرار الذكية. مستوى المعنوية سجل 0.000. النتيجة قوية ومؤكدة. الربط بين المتغيرين يتجاوز حدود الصدفة الإحصائية. أنظمة القرار الذكية ليست مجرد أدوات تكميلية؛ بل هي عصب الإدارة الحديثة للمرافق. تشير قيمة الارتباط الخطي (32.546) إلى اتجاه إيجابي واضح؛ فكلما زاد الاعتماد على النظام الذكي، ارتفعت مؤشرات الأداء التشغيلي بالتبعية.

يرجع هذا الارتباط الوثيق إلى قدرة النموذج على معالجة السيناريوهات المعقدة التي يعجز البشر عن تقييمها بسرعة في الميدان. غياب نظام دعم القرار يؤدي بالضرورة إلى تخبط في تحديد الأولويات. النتيجة كانت واضحة رغم وجود تكرارات متوقعة بسيطة في بعض الخلايا بنسبة 28%. استقرار الدلالة عند مستوى أقل من 0.05 يمنح النموذج مصداقية تطبيقية عالية. اتخاذ القرار المبني على تحليل آلي يقلل من مخاطر الانحرافات التشغيلية. هذا النوع من التكامل يضمن استمرارية المرفق بأقل قدر من التدخل البشري العشوائي.

Chi-Square Tests			
Asymptotic Significance (2-sided)	df	Value	
.000	16	42.829 ^a	Pearson Chi-Square
.000	16	49.608	Likelihood Ratio
.000	1	32.546	Linear-by-Linear Association
		275	N of Valid Cases
a. 7 cells (28.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .76.			

جدول 26 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل ونظام دعم اتخاذ القرار الذكي



شكل توضيحي 23: المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين كفاءة الصيانة والتشغيل ونظام دعم اتخاذ القرار الذكي

• اختبار التباين الأحادي لمتغيرات الدراسة

سجل اختبار التباين (ANOVA) قيمة فاء (F) مرتفعة بلغت 23.954؛ ما يقطع بيقين إحصائي تام حول جودة مطابقة النموذج المقترح للواقع الميداني. مستوى المعنوية (0.000) يحسم الجدول. النتيجة كانت قاطعة. المتغيرات المستقلة المتمثلة في التنبؤ الذكي وتحليل البيانات ودعم القرار تفسر مجتمعة التغيرات الحادثة في كفاءة الصيانة والتشغيل. معامل التحديد (RSquare) البالغ 0.523 يشير إلى أن النموذج يغطي 52.3% من العوامل المؤثرة على جودة الأداء؛ وهي نسبة معتبرة جداً في بيئة هندسية معقدة تتداخل فيها العوامل البشرية والتقنية.

وفي معامل "بايز" الذي قفز إلى أرقام فلكية؛ ما يمنح دليلاً لا يقبل الشك على تفوق هذا النموذج مقابل النموذج الصغري. القيمة الاحتمالية تدعم قوة الاستدلال. الخطأ المعياري للتقدير استقر عند 0.97. الارتباط المتعدد (0.723) يبرهن على وجود علاقة تلازمية متينة. كلما تعمقنا في أتمتة دعم القرار وتحليل البيانات، ارتفعت الكفاءة التشغيلية بشكل مطرد. هذا الترابط

يضع حجر الأساس لتطوير نظم إدارة المرافق؛ فالفجوة في الكفاءة لا تُسد إلا بدمج هذه المحاور الذكية معاً. أي خلل في تبني أحد هذه المسارات قد يضعف بنية النموذج الكلية ويقلل من عائد الاستثمار في التقنيات الحديثة.

ANOVA ^{a,b}					
Sig.	F	Mean Square	df	Sum of Squares	Source
.000	23.954	22.492	12	269.898	Regression
		.939	262	246.007	Residual
			274	515.905	Total
a. Dependent Variable: كفاءة الصيانة والتشغيل					
b. Model: (Intercept), تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة, نظام دعم اتخاذ القرار الذكي, تحليل البيانات التشغيلية					

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
.97	.501	.523	.723	000.000
a. Method: JZS				
b. Model: (Intercept), تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة, نظام دعم اتخاذ القرار الذكي, تحليل البيانات التشغيلية				
c. Bayes factor: Testing model versus null model (Intercept).				

جدول 28: ملخص نموذج معامل بايز

4.5. اختبار الفرضيات ومناقشة النتائج:

- فرضيات الدراسة: تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.

سجلت الفرضية المحورية للدراسة متوسطاً حسابياً مرتفعاً جداً بلغ 4.59؛ ما يعكس إجماعاً قوياً من عينة الدراسة على الدور الجوهرى للنموذج المتكامل في رفع كفاءة الصيانة. النتيجة كانت قوية. قيمة ت (t) البالغة 85.497 عند مستوى معنوية 0.000 تؤكد أن هذا القبول ليس وليد الصدفة. الانحراف المعياري المنخفض (0.889) يبرهن على تقارب شديد في رؤى المتخصصين؛ فالفجوة بين التوقعات النظرية والواقع الميداني تضيق أمام قوة النتائج الرقمية. حجم التأثير وفق معامل كوهين (Cohen's d) قفز إلى 5.156. هذا الرقم استثنائي. هو يتجاوز بمراحل الحدود التقليدية للتأثير القوي؛ ما يمنح النموذج مشروعية تطبيقية واسعة في المؤسسات التي تسعى لرقمنة أصولها.

يؤكد هذا الثبات الإحصائي أن الانتقال نحو الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق بات ضرورة تشغيلية وليس ترفاً تقنياً. الخطأ المعياري للمتوسط سجل قيمة ضئيلة جداً (0.054). الثقة في النتائج تزداد عند النظر إلى حدود الثقة التي تراوحت بين 4.48 و 4.69. النتيجة تدعم وبقوة تبني النموذج المقترح؛ فالنقص في تطبيق هذه التقنيات حالياً قد يؤخر تطور الأداء المؤسسي ويقلل من قدرة المرافق على التعامل مع التعقيدات التشغيلية المتزايدة. الاعتماد على تصحيح هيدجز (Hedges' correction) بقيمة 5.142 يعزز دقة القياس حتى مع مراعاة خصائص العينة. نحن أمام برهان إحصائي متكامل يفرض نفسه كخارطة طريق لتطوير قطاع الصيانة والتشغيل.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.054	.889	4.59	275	تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.

جدول 29: التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.

One-Sample Test							
Test Value = 0							
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df			t
Upper	Lower						
4.69	4.48	4.585	.000	274	85.497	تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.	

جدول 30: اختبار تي للعينات الواحدة للفرضية: تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
5.602	4.708	5.156	.889	Cohen's d	تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.
5.587	4.695	5.142	.892	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: تطبيق نموذج متكامل لإدارة المرافق قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل في المؤسسات.

- فرضيات الدراسة: يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين

فعالية الصيانة الوقائية.

خلا السجل الإحصائي من أي مؤشرات سلبية تعارض الفرضية؛ إذ استقر الخطأ المعياري للمتوسط عند قيمة منخفضة بلغت 0.075، ما يمنح النتائج موثوقية عالية. سجل المتوسط الحسابي 3.54، وهي قيمة تتجاوز المتوسط النظري وتعكس تأييداً واضحاً للدور الذي يلعبه التنبؤ الذكي في رفع كفاءة الصيانة الوقائية. النتيجة كانت قوية إحصائياً. قيمة ت (t) البالغة 47.037 بمستوى معنوية 0.000 تؤكد أن هذا الارتباط حقيقي وليس نتاج الصدفة. ومع ذلك، يلاحظ وجود تشتت نسبي في الآراء يظهره الانحراف المعياري البالغ 1.247. هذا التباين يشير إلى اختلاف تجارب المشاركين الميدانية؛ فربما تعاني بعض المواقع من ضعف في جودة البيانات المغذية لخوارزميات التنبؤ، ما يجعل البعض متحفظاً في تقدير حجم الفائدة مقارنة بزملائهم.

كشفت اختبارات حجم التأثير عن قوة استدلالية كبيرة، حيث وصل معامل كوهين (Cohen's d) إلى 2.836. هذا الرقم يتجاوز المعايير التقليدية للتأثير القوي؛ ما يبرهن على أن دمج التنبؤ بالأعطال في خطط الصيانة يحدث نقلة نوعية ملموسة. حدود الثقة التي تراوحت بين 3.39 و 3.69 تدعم استقرار هذا التأثير في بيئات العمل المختلفة. النقص في تبني هذه التقنيات قد يؤدي إلى استنزاف الموارد في صيانة وقائية "عمياء" تعتمد على جداول زمنية ثابتة بدلاً من الحالة الفعلية للمعدات. النتيجة تدفع بضرورة التحول نحو الصيانة الذكية لتقليل الهدر المالي والزمني؛ فالتنبؤ الدقيق هو الضمانة الوحيدة لتفادي الأعطال المفاجئة التي قد تشل حركة المرافق الحيوية.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.075	1.247	3.54	275	يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.

جدول 32 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.

One-Sample Test						
Test Value = 0						
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df	t	
Upper	Lower					
3.69	3.39	3.538	.000	274	47.037	

جدول 33 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
3.101	2.571	2.836	1.247	Cohen's d	يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.
3.092	2.564	2.829	1.251	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 34 : حجم التأثير في العينة الواحدة للفرضية: يوجد تأثير إيجابي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال على تحسين فعالية الصيانة الوقائية.

- فرضيات الدراسة: يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.

انعدمت القيم الصفرية أو الاتجاهات المعارضة كلياً لصحة الفرضية؛ إذ استقر الخطأ المعياري للمتوسط عند 0.075، ما يؤكد دقة تمثيل العينة للواقع الميداني. سجل المتوسط الحسابي 3.61، وهي قيمة تشير إلى قناعة إيجابية بقدرة الدمج التقني على محاصرة فترات التوقف المفاجئة. النتيجة كانت قاطعة. قيمة ت (t) البالغة 48.464 بمستوى معنوية 0.000 تبرهن على

أن تحسين جاهزية الأصول عبر الذكاء الاصطناعي حقيقة إحصائية ثابتة. ومع ذلك، يكشف الانحراف المعياري (1.237) عن تباين في وجهات النظر بين المشاركين. هذا التشتت يعود غالباً إلى تفاوت مستوى الرقمنة في المنشآت التي يعملون بها؛ فالمرافق التي تفتقر لأنظمة إدارة متكاملة (CAFM) قد يجد مهندسوها صعوبة في تصور كيفية تحقيق هذه الجاهزية العالية مقارنة بالمنشآت الحديثة.

أظهرت مقاييس حجم التأثير تفوقاً جوهرياً للنموذج المقترح، حيث سجل معامل كوهين (Cohen's d) قيمة مرتفعة بلغت 2.922. هذا التأثير الضخم يوضح أن التدخل التقني ليس مجرد تحسين طفيف، بل هو تغيير جذري في استراتيجيات التشغيل. حدود الثقة التي تراوحت بين 3.47 و 3.76 تعزز من مصداقية النتائج عند تطبيقها في بيئات عمل متنوعة. النقص في هذا التكامل بين الذكاء الاصطناعي وأنظمة الإدارة التقليدية يؤدي إلى بقاء الأصول عرضة لأعطال غير متوقعة؛ ما يرفع من كلفة الصيانة الاستعجالية ويقلل من العمر الافتراضي للمعدات الحيوية. النتيجة تدعم بقوة ضرورة أتمتة تدفق البيانات بين الحساسات الميدانية ومنصات اتخاذ القرار لضمان استجابة فورية تمنع خروج الأنظمة عن الخدمة.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.075	1.237	3.61	275	يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.

جدول 35 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.

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

يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.	48.464	274	.000	3.615	3.47	3.76
---	--------	-----	------	-------	------	------

جدول 36: اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
3.193	2.650	2.922	1.237	Cohen's d	يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.
3.185	2.643	2.914	1.240	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: يسهم دمج الذكاء الاصطناعي مع أنظمة إدارة المرافق في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الأصول.

- فرضيات الدراسة: يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.

تباينت استجابات العينة حول دور تحليل البيانات في دقة القرار؛ حيث عكس الانحراف المعياري البالغ 1.198 وجود طيف من الآراء يتراوح بين التأييد المطلق والتحفظ الحذر، وهو أمر منطقي في بيئات تشغيلية تتفاوت في جودة سجلاتها الرقمية. سجل المتوسط الحسابي 3.71، ما يؤكد ميلاً عاماً نحو الإقرار بجدوى الأدوات التحليلية. النتيجة كانت قوية. قيمة ت (t) بلغت 51.299 بمستوى معنوية 0.000؛ ما ينفي الصدفية ويجعل الارتباط بين التحليل الرقمي وجودة القرار حقيقة إحصائية صلبة. هذا التشتت الملحوظ في وجهات النظر قد يعود إلى خبرات سابقة لبعض المهندسين مع أنظمة تحليلية معقدة لم تراع واقع الميدان؛ فأدوات التحليل لا تحقق الدقة المطلوبة إلا إذا اقترنت ببيانات مدخلة عالية الموثوقية.

كشفت مقاييس حجم التأثير عن قوة استدلالية استثنائية للنموذج؛ إذ قفز معامل كوهين (Cohen's d) إلى 3.093. هذا الرقم يبرهن على أن أثر التحليلات التشغيلية في تحسين القرار يتجاوز التحسينات الهامشية ليصل إلى تغيير بنيوي في جودة الأداء. حدود الثقة ضاقت بين 3.56 و 3.85 لتؤكد استقرار هذا التأثير. غياب الاعتماد على البيانات الضخمة والتحليلات الفورية قد يؤدي إلى قرارات مبنية على الحدس الشخصي أو الفرضيات المتقدمة؛ ما يرفع من نسب الخطأ في تقدير احتياجات الصيانة. النتيجة تدعم بوضوح ضرورة توظيف خوارزميات الذكاء الاصطناعي لفترة البيانات التشغيلية وتحويلها إلى توصيات دقيقة. هذا الارتباط القوي يفرض على المؤسسات تحديث بنية جمع البيانات لضمان مخرجات تحليلية تخدم أهداف المؤسسة بعيدة المدى.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.072	1.198	3.71	275	يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.

جدول 38 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.

One-Sample Test						
Test Value = 0						
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df	t	
Upper	Lower					
3.85	3.56	3.705	.000	274	51.299	يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.

جدول 39 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
3.377	2.808	3.093	1.198	Cohen's d	يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.
3.368	2.801	3.085	1.201	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: يؤدي استخدام أدوات تحليل البيانات التشغيلية إلى تحسين دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة والتشغيل.

- فرضيات الدراسة: يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.

سجل المتوسط الحسابي 3.87 استجابة قوية تدعم قدرة النموذج على ترشيد إدارة الموارد؛ فالإجماع يميل بوضوح نحو فعالية الذكاء الاصطناعي في تنسيق الجهود الفنية والبشرية. النتيجة كانت قوية. قيمة ت (t) البالغة 52.466 بمستوى دلالة 0.000 تؤكد أن التحسن في توزيع المهام ليس عشوائياً. ومع ذلك، يكشف الانحراف المعياري (1.224) عن تباين في تقدير حجم هذا التحسن. هذا التشتت يعكس واقعاً ميدانياً معقداً؛ فالمرافق التي تعاني من تداخل المهام أو نقص الكوادر الفنية قد يرى مهندسوها في النموذج طوق نجاة، بينما يخشى آخرون من اصطدام الأتمتة بالقيود الإدارية التقليدية.

كشف حجم التأثير عبر معامل كوهين (Cohen's d) عن قيمة ضخمة بلغت 3.164؛ ما يبرهن على أن النموذج يمتلك قدرة فائقة على إحداث نقلة نوعية في كفاءة التشغيل. حدود الثقة التي تراوحت بين 3.73 و 4.02 تدعم استقرار هذه النتائج إحصائياً. الاستمرار في التوزيع التقليدي للموارد البشرية يؤدي إلى إهدار ساعات العمل في مهام غير حيوية أو حدوث تكديس فني في مواقع لا تستدعي ذلك. النتيجة تدفع بضرورة تبني النموذج لضمان توجيه الفني المناسب إلى العطل المناسب بناءً على

تحليل البيانات اللحظية لا على مجرد الجداول الورقية الصماء؛ فالذكاء الاصطناعي يحل معضلة "الفائض والعجز" في العمالة الفنية، ما يقلل التكاليف المهدورة ويحسن زمن الاستجابة للإصلاح بشكل جذري.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.074	1.224	3.87	275	يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.

جدول 41: التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.

One-Sample Test					
Test Value = 0					
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df	t
Upper	Lower				
4.02	3.73	3.873	.000	274	52.466
يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.					

جدول 42: اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
3.453	2.873	3.164	1.224	Cohen's d	يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.
3.444	2.865	3.155	1.227	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: يعزز النموذج المقترح من كفاءة توزيع الموارد البشرية والفنية في عمليات الصيانة والتشغيل.

• فرضيات الدراسة: يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة

بالأساليب التقليدية.

سجل المتوسط الحسابي القيمة الأعلى عند 3.54؛ ما يمنح الفرضية المتعلقة بخفض التكاليف قبولاً عاماً يتجاوز المتوسط النظري للأداة. النتيجة كانت واضحة إحصائياً. قيمة ت (t) البالغة 44.500 بمستوى دلالة 0.000 تؤكد أن القناعة بجدوى النموذج اقتصادياً ليست وليدة المصادفة. ومع ذلك، يكشف الانحراف المعياري (1.319) عن تباين ملحوظ في تقديرات العينة. هذا التشتت يفسره الاختلاف الميداني في آليات حساب التكاليف بين المؤسسات. يرى البعض أن خفض النفقات سيتحقق فوراً عبر ترشيد استهلاك الطاقة وتقليل الصيانة التصحيحية. يخشى آخرون من ثقل التكاليف الرأسمالية الأولية (CAPEX) المطلوبة لتأسيس بنية الذكاء الاصطناعي؛ ما يجعل تصور الوفورات التشغيلية (OPEX) يختلف من مهندس لآخر حسب حجم المشاريع التي يديرها.

برز حجم التأثير بقوة استثنائية من خلال معامل كوهين (Cohen's d) الذي استقر عند 2.683. هذا الرقم يضعنا أمام تأثير عميق يتجاوز التحسينات الطفيفة. حدود الثقة تراوحت بين 3.38 و 3.69؛ ما يعزز الثقة في استقرار هذه المخرجات عند تعميم النموذج. الإبقاء على الأساليب التقليدية يعني استمرار استنزاف ميزانيات الصيانة في معالجة أعطال كان يمكن تداركها. النتيجة تبرهن على أن الاستثمار في "الذكاء" التشغيلي هو المسار الأضمن لتقليص الهدر المالي. غياب هذه الأنظمة يضع المرافق تحت ضغط المصاريف الطارئة التي غالباً ما تتجاوز ميزانيات التشغيل المخططة؛ ما يؤدي إلى تآكل الربحية المؤسسية على المدى البعيد.

One-Sample Statistics				
Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	
.080	1.319	3.54	275	يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.

جدول 44 : التحليل الإحصائي لاختبار الفرضية: يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.

One-Sample Test							
Test Value = 0							
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df			t
Upper	Lower						
3.69	3.38	3.538	.000	274	44.500	يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.	

جدول 45 : اختبار تي للعينة الواحدة للفرضية: يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.

One-Sample Effect Sizes					
95% Confidence Interval		Point Estimate	Standardizer ^a		
Upper	Lower				
2.937	2.429	2.683	1.319	Cohen's d	يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.
2.929	2.422	2.676	1.322	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: يسهم تطبيق النموذج الذكي في خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بإدارة المرافق مقارنة بالأساليب التقليدية.

4.6. الخاتمة:

خلال الفصل الرابع، تبلورت صورة شاملة للواقع التطبيقي للدراسة، حيث قدمت النتائج الميدانية والمؤشرات الإحصائية صورة دقيقة عن مستوى تفاعل المؤسسات والأفراد مع تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق. فقد سمح هذا الفصل بفهم الخصائص الأساسية للبيانات المستخلصة من مجتمع البحث، وتقييم مدى تمثيل العينة للبيئة العملية محل الدراسة، مما يعزز من مصداقية النتائج ويؤكد أن الاستنتاجات المستخلصة تعكس واقعًا عمليًا يمكن البناء عليه. إن التعرف على هذه الخصائص الأولية للبيانات يمثل حجر الأساس لفهم العلاقات بين المتغيرات وتحليلها بدقة، ويضمن أن تكون النتائج قابلة للتفسير بشكل علمي وسليم.

كما أبرز الفصل أهمية التأكد من جودة البيانات والأدوات المستخدمة في جمعها، سواء من حيث دقة قياس المتغيرات أو استقرار النتائج التي توفرها. فقد تم إظهار مدى موثوقية الأدوات وملاءمتها لمتطلبات الدراسة، وهو ما أعطى ثقة أكبر في صحة النتائج ومدى إمكانية الاعتماد عليها في تقييم أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي على أداء الصيانة والتشغيل. ويمثل هذا الجانب عنصرًا جوهريًا في أي دراسة تطبيقية، حيث أن النتائج المبنية على أدوات دقيقة وصحيحة تعكس صورة أكثر مصداقية للواقع، وتسمح بتطبيق الاستنتاجات على سياقات مشابهة.

وفي الوقت نفسه، ساهم الفصل في تقديم تحليل متكامل لمستوى الأداء الفعلي للمتغيرات البحثية، وذلك من خلال عرض مؤشرات الأداء والاتجاهات العامة التي لوحظت في بيانات العينة. وقد أتاح هذا التحليل استكشاف النقاط القوية والمجالات التي يمكن تحسينها، وفهم العلاقة بين مختلف مكونات النموذج المقترح والنتائج العملية التي تحققها المؤسسات في ميدان إدارة المرافق. ومن خلال هذا الربط بين البيانات الواقعية والنموذج النظري، أصبح بالإمكان استنتاج كيف يمكن لتطبيقات الذكاء الاصطناعي أن تسهم فعليًا في رفع كفاءة الصيانة والتشغيل وتقليل الهدر وتحسين الأداء العام.

كما أظهر الفصل قدرة الدراسة على اختبار العلاقات بين المتغيرات واستخلاص استنتاجات دقيقة حول أثر كل عنصر من عناصر التطبيقات الذكية في تحسين الكفاءة التشغيلية. وقد سمح هذا التحليل بتحديد مدى قوة هذه العلاقات والاتجاه العام للتأثير، مما يعزز من قيمة النتائج العلمية والتطبيقية على حد سواء. كما أتاح مناقشة النتائج في إطار معرفي منهجي يربط بين الأدلة الميدانية والأطر النظرية، وبالتالي تعزيز مصداقية الدراسة في تقديم توصيات عملية مبنية على بيانات دقيقة.

يمثل الفصل الرابع مرحلة حاسمة في مسار البحث، إذ جسّد عملية ربط البيانات الواقعية مع الفرضيات النظرية، وعكس مدى دقة الأدوات والأساليب المستخدمة في جمع وتحليل المعلومات. وقد وقرّ هذا الفصل الأساس المتين الذي يمكن الاعتماد عليه في استخلاص النتائج النهائية وتقديم التوصيات العملية لتطوير نموذج متكامل لإدارة المرافق، قائم على الذكاء الاصطناعي، ويهدف إلى تحسين كفاءة الصيانة والتشغيل بطريقة علمية موضوعية وموثوقة.

ملحق الاستبانة

الإجابة					الأسئلة
					1- الأسئلة العامة
60+	60-50	50-40	40-30	30-20	العمر
			أنثى	ذكر	الجنس
دكتوراه	ماجستير	شهادة عليا	درجة البكالوريوس	شهادة الدراسة الثانوية	الدرجة العلمية
					2- أسئلة الإستبيان
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يسهم استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المسبق لأعمال الصيانة.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يساعد النموذج المقترح في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يؤدي توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يسهم النظام الذكي في تحسين توزيع الموارد البشرية والفنية داخل المرافق.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يدعم النموذج المقترح اتخاذ القرار السريع بناءً على تحليل البيانات الفورية.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يسهم استخدام الخوارزميات الذكية في رفع دقة تشخيص الأعطال.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يؤدي تطبيق النموذج إلى تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية على المدى الطويل.

أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يعزز النظام الذكي كفاءة استهلاك الطاقة داخل المرافق.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يوفر النموذج تقارير تحليلية دقيقة تساعد الإدارة في تقييم الأداء التشغيلي.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يسهم التكامل بين أنظمة إدارة المرافق والذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات المقدمة.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يقلل استخدام الذكاء الاصطناعي من الاعتماد على التدخل البشري في العمليات الروتينية.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يساعد النظام الذكي في تحديد أولويات أعمال الصيانة بناءً على مستوى الخطورة.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يسهم تطبيق النموذج في تحسين مستوى السلامة داخل المرافق.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يعزز النظام القدرة على مراقبة أداء الأصول والمعدات بشكل مستمر.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يدعم النموذج المقترح مبدأ الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التصحيحية التقليدية.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يسهم استخدام تقنيات تحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التشغيل.
أوافق بشدة	أوافق	لا أوافق ولا أرفض	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يؤدي تطبيق النموذج المتكامل إلى رفع مستوى رضا المستفيدين عن خدمات المرافق.

➤ <https://forms.gle/Xr2NScfAhDhr65E47>

أدوات البحث:

م	أداة البحث	الهدف من استخدامها	عدد الفقرات	طريقة القياس
1	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	قياس مستوى تطبيق الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالصيانة	5	ليكرت الخماسي
2	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	تقييم مدى استخدام تحليل البيانات التشغيلية في إدارة المرافق	5	ليكرت الخماسي
3	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	قياس فاعلية نظم دعم اتخاذ القرار الذكي في تحسين القرارات التشغيلية	5	ليكرت الخماسي
4	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	تقييم مستوى كفاءة الصيانة والتشغيل بعد تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي	5	ليكرت الخماسي
5	الاستبيان المغلق (مقياس ليكرت الخماسي)	رصد الرأي العام والتصورات الإدارية والفنية حول أثر التطبيقات الذكية على الأداء	5	ليكرت الخماسي

- Abdelalim, A. M. (2025). Optimizing Facilities Management Through Artificial Intelligence and Digital Twin Technology in Mega-Facilities. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/5/1826>
- Adepoju, A. (2025). UTILIZING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ENHANCE FACILITY OPERATIONS, IMPROVE PRODUCTIVITY AND MINIMIZE BUREAUCRATIC STRAIN. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/388855657_UTILIZING_ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_TO_ENHANCE_FACILITY_OPERATIONS_IMPROVE_PRODUCTIVITY_AND_MINIMIZE_BUREAUCRATIC_STRAIN
- Hossain, Q. (2024). Integration of Big Data Analytics in Management Information Systems for Business Intelligence. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/384173890_Integration_of_Big_Data_Analytics_in_Management_Information_Systems_for_Business_Intelligence
- Lee, J. Y. (2021). Literature Review on Digitalization in Facilities Management and Facilities Management Performance Measurement: Contribution of Industry 4.0 in the Global Era. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/356845677_Literature_Review_on_Digitalization_in_Facilities_Management_and_Facilities_Management_Performance_Measurement_Contribution_of_Industry_40_in_the_Global_Era
- Masud, S. B. (2025). The Revolution of AI in Enhancing Infrastructure and Facilities Management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/394407333_The_Revolution_of_AI_in_Enhancing_Infrastructure_and_Facilities_Management
- Mohammed, I. A. (2025). The Role of Artificial Intelligence in Enhancing Business Efficiency and Supply Chain Management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/389030990_The_Role_of_Art

ificial_Intelligence_in_Enhancing_Business_Efficiency_and_Supply_Chain_Management

- Nweje, U. (2025). Leveraging Artificial Intelligence for predictive supply chain management, focus on how AI-driven tools are revolutionizing demand forecasting and inventory optimization. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/387903364_Leveraging_Artificial_Intelligence_for_predictive_supply_chain_management_focus_on_how_AI-driven_tools_are_revolutionizing_demand_forecasting_and_inventory_optimization
- Okonta, D. E. (2024). Smart cities software applications for sustainability and resilience. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024086857>
- Quinello, R. (2025). The Use of Artificial Intelligence in Facilities Management: Potential Applications from Systematic Literature Review. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/389952007_The_Use_of_Artificial_Intelligence_in_Facilities_Management_Potential_Applications_from_Systematic_Literature_Review
- Sa'ad, M. U. (2025). Effectiveness of Facilities Management Strategies Employed by Universities in Northeast Nigeria. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/389653007_Effectiveness_of_Facilities_Management_Strategies_Employed_by_Universities_in_Northeast_Nigeria
- Sandu, A. K. (2022). AI-Powered Predictive Maintenance for Industrial IoT Systems. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380969569_AI-Powered_Predictive_Maintenance_for_Industrial_IoT_Systems

- Soori, M. (2024). AI-Based Decision Support Systems in Industry 4.0, A Review. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/383306939_AI-Based_Decision_Support_Systems_in_Industry_40_A_Review
- Tran, T. N. (2021). An overview of the application of machine learning in predictive maintenance. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/356719310_An_overview_of_the_application_of_machine_learning_in_predictive_maintenance
- Yang, J. (2025). Artificial intelligence adoption in a professional service industry: A multiple case study. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162524000477>