

عنوان البحث

"تصورات العاملين حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة

أنظمة التكييف (HVAC): دراسة استطلاعية بمطار الملك عبد العزيز

الدولي بجدة"

إعداد الطالب: شادي فضل الشريف

الرقم الأكاديمي: ٢٥١٠٠٢٧٢٣

إشراف

د. الفيصل عبد الحميد محمد د. فايز علي جراد

العام الدراسي

١٤٤٧/٢٠٢٥

حقوق الطباعة

حقوق الطباعة تمتلكها جامعة ميدأوشن. حيث إن جميع المواد والمحتويات الواردة في هذا البحث هي ملك للجامعة، ولا يجوز استخدامها أو إعادة نشرها أو توزيعها بدون إذن مسبق من جامعة ميدأوشن.

الباحث

المستخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تصورات العاملين حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف، من خلال دراسة استطلاعية أجريت في مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة. تناول البحث أربعة محاور رئيسية: تقبل تغيير أساليب العمل، والاستعداد للتدريب، والتوقعات الايجابية للأثر، والمشاركة الفعلية، بالإضافة إلى دراسة التحديات الميدانية والإدارية المؤثرة على تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي.

اعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي، مستنداً إلى نموذج تبني التكنولوجيا (TAM) لتفسير سلوك الأفراد تجاه التقنية الجديدة، وإلى نظرية الصيانة التنبؤية لفهم أثر الذكاء الاصطناعي على تحسين عمليات الصيانة. تم جمع البيانات عبر استبيانين إلكترونيين وزّع أحدهما على 96 فنياً والآخر على 57 مشرفاً ومديراً، وتم تحليلها باستخدام برنامج SPSS v.25.

أظهرت النتائج أن الفنيين والمشرفين والمديرين لديهم درجات مرتفعة من القبول والاستعداد للتدريب والمشاركة الفعلية، مع وجود توقعات إيجابية واضحة حول أثر الذكاء الاصطناعي على رفع كفاءة الصيانة، وتقليل الأعطال، وخفض التكاليف التشغيلية. كما أكدت التحليلات الإحصائية على وجود علاقات ذات دلالة إحصائية بين تصورات الأفراد واستعدادهم لتبني واستخدام هذه التقنيات.

يوصي البحث بتعزيز برامج التدريب المتخصصة، وتشجيع المشاركة الفعلية، وإدارة التحديات الميدانية والإدارية، ودعم القيادة الفاعلة لضمان نجاح التحول الرقمي في صيانة أنظمة التكييف.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، صيانة أنظمة التكييف، التحول الرقمي، نموذج تبني التكنولوجيا، الصيانة التنبؤية.

الشكر والتقدير

أَتَقَدِّمُ بخالص الشكر لكل من ساهم في إنجاز هذا البحث. أولاً وقبل كل شيء، أحمد الله على توفيقه وفضله، ثم أتوجّه بعميق الامتنان لوالديّ العزيزين على دعمهما غير المحدود، وصبرهما، ودعائهما المستمر الذي كان سنداً لي في كل خطوة. كما أتقدّم بالشكر لزوجتي الغالية على تفهمها وتشجيعها وتحملها أعباء الوقت والجهد خلال فترة إعداد هذا البحث، ولأولادي الأحبة الذين كانوا مصدر إلهام ودافعاً قوياً للاستمرار.

كما أود أن أعبر عن تقديري لجامعتي ممثلة في هيئتها الأكاديمية على توفير البيئة العلمية المناسبة والدعم اللازم لإنجاز هذا البحث، فالموارد والإمكانات التي قدّمتها الجامعة كانت عنصراً أساسياً في الوصول إلى هذه النتيجة.

ولا يفوتني أن أتقدّم بالشكر العميق لمشرفي: د. فيصل عبد الحميد محمد و د. فايز علي جهاد، على توجيهاتهم القيّمة وملاحظاتهم الدقيقة ودعمهم المستمر طوال مراحل هذا العمل. لقد كان لأمانتهم العلمية وخبرتهم دور محوري في تشكيل اتجاه وجودة هذه الدراسة.

كما أتقدّم بشكر خاص للجنة التحكيم على وقتهم، وملاحظاتهم، وتعاونهم الذي أضاف عمقاً واضحاً للمحتوى. وأمتنّ للمجتمع الأكاديمي والباحثين السابقين الذين أسهمت أعمالهم في بناء الإطار النظري والمنهجي لهذا البحث.

وأخيراً، أفدّر كل من قدّم لي دعماً مباشراً أو غير مباشر، فإتمام هذا العمل هو نتاج جهد جماعي ممتد، وأشعر بالامتنان لكل يد ساعدت وكل كلمة دعمت وكل خبرة وُجهت نحوي خلال هذه الرحلة.

الباحث/ شادي فضل الشريف

فهرس المحتويات

أ	حقوق الطباعة
ب	المستخلص
ج	الشكر والتقدير
د	فهرس المحتويات
ز	قائمة الجداول
ح	قائمة الأشكال
١	الفصل الأول: المدخل العام للبحث
٢	المقدمة
٣	مشكلة الدراسة
٣	سؤال البحث الرئيسي
٣	أسئلة البحث الفرعية
٤	أهمية الدراسة
٤	أهداف الدراسة
٥	فرضيات الدراسة
٦	حدود الدراسة
٦	نموذج الدراسة
٨	خاتمة الفصل

٩	الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة
١٠	المقدمة
١٠	الإطار النظري
١٥	الدراسات السابقة
٢٠	أوجه الاستفادة من الدراسات السابقة
٢١	ما يميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة
٢١	خلاصة الفصل
٢٣	الفصل الثالث: منهجية البحث
٢٤	المقدمة
٢٤	المنهجية وطرق البحث
٢٥	مجتمع الدراسة
٢٥	عينة الدراسة
٢٩	أدوات الدراسة
٣٠	صدق فقرات أداة الدراسة
٣١	ثبات الاستبانة
٣٢	معيار التصحيح
٣٣	المعالجة و الأدوات الإحصائية المستخدمة
٣٥	الفصل الرابع: تحليل البيانات و النتائج و التوصيات و المقترحات

المقدمة	٣٦
تحليل البيانات الخاصة باستبانة الفنيين	٣٦
تحليل البيانات الخاصة باستبانة المشرفين/ المديرين	٤١
اختبار فرضيات البحث	٤٦
مناقشة النتائج العامة للدراسة	٥١
التوصيات والمقترحات	٥٣
المراجع	٥٥
الملاحق	٥٩

قائمة الجداول

٢٦	جدول (١): توزيع العينة (الفنيين): البيانات الديموغرافية (ن = ٩٦)
٢٧	جدول (٢): توزيع العينة (المشرفين/ المديرين): البيانات الديموغرافية (ن = ٥٧)
٣١	جدول (٣): صدق الاتساق الداخلي لمحاو الدراسة (الفنيين) (ن = ٩٦)
٣١	جدول (٤): صدق الاتساق الداخلي لمحاو الدراسة (المشرفين/ المديرين) (ن = ٥٧)
٣١	جدول (٥): معاملات الثبات ألفا كرونباخ لمحاو الاستبانة (الفنيين) (ن = ٩٦)
٣٢	جدول (٦): معاملات الثبات ألفا كرونباخ لمحاو الاستبانة (المشرفين/ المديرين) (ن = ٥٧)
٣٢	جدول (٧): أوزان الإجابات حسب المقياس الخماسي لكلا الاستبيانين
٣٦	جدول (٨): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمحور تقبل تغيير أساليب العمل (ن = ٩٦)
٣٧	جدول (٩): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير الاستعداد للتدريب (ن = ٩٦)
٣٨	جدول (١٠): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير التوقعات الايجابية للأثر (ن = ٩٦)
٣٩	جدول (١١): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير المشاركة الفعلية (ن = ٩٦)
٤٠	جدول (١٢): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير التحديات الميدانية (ن = ٩٦)
٤١	جدول (١٣): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، والمستوى والرتبة لمتغير تقبل التحول الرقمي (ن = ٥٧)
٤٢	جدول (١٤): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير الاستعداد لدعم التدريب (ن = ٥٧)
٤٣	جدول (١٥): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير التوقعات الايجابية للأثر (ن = ٥٧)
٤٤	جدول (١٦): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير دور المدير في المشاركة الفعلية (ن = ٥٧)
٤٥	جدول (١٧): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير التحديات الإدارية (ن = ٥٧)
٤٦	جدول (١٨): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الرئيسية (ن = ٩٦)
٤٦	جدول (١٩): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الرئيسية (ن = ٥٧)
٤٧	جدول (٢٠): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (١) (ن = ٩٦)
٤٧	جدول (٢١): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٢) (ن = ٩٦)
٤٨	جدول (٢٢): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٣) (ن = ٩٦)
٤٩	جدول (٢٣): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٤) (ن = ٩٦)
٤٩	جدول (٢٤): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٥) (ن = ٥٧)
٥٠	جدول (٢٥): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٦) (ن = ٥٧)
٥٠	جدول (٢٦): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٧) (ن = ٥٧)
٥١	جدول (٢٧): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٨) (ن = ٥٧)

قائمة الأشكال

- شكل رقم (١): النسخة المعدلة الأخيرة لنموذج قبول التكنولوجيا ١١
- شكل رقم (٢): المخطط المفاهيمي لإطار الصيانة التنبؤية (PdM) المدمجة بـ AI و IoT ١٤

الفصل الأول

المدخل العام للبحث

المقدمة:

تُعتبر أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) من الركائز الأساسية لاستدامة بيئة تشغيلية مريحة وآمنة داخل المنشآت الكبرى مثل المطارات، والتي تتطلب إدارة فعالة لضمان جودة الخدمات وتقليل التكاليف التشغيلية. ومع التطور السريع لتقنيات الذكاء الاصطناعي، تزايد الاهتمام بتطبيق الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) لتحقيق الكفاءة التشغيلية وخفض معدلات الأعطال.

فقد أظهرت الأبحاث الحديثة أهمية التكامل بين نماذج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين إدارة الصيانة بمرافق المطارات، كما أشار (Lahna, 2023) إلى إمكانية توظيف تقنيات مثل BIM والذكاء الاصطناعي لإدارة الصيانة التنبؤية في البنى التحتية للمطارات.

وإلى جانب ذلك، يُعد العامل البشري أحد أهم العوامل الحاسمة في نجاح تطبيق هذه الأنظمة. فتصورات وإدراك العاملين تلعب دورًا جوهريًا في قبول الحلول التقنية ومواءمتها مع بيئة العمل. حيث أظهرت دراسات مثل (Merlo, 2024) أهمية مواءمة تطبيقات الذكاء الاصطناعي مع احتياجات وتصورات فرق الصيانة لضمان تحقيق الكفاءة التشغيلية في مجال الطيران.

كما بينت تجارب تطبيقية أن الدمج بين الصيانة التنبؤية ونماذج الذكاء الاصطناعي يحقق تحسناً ملحوظاً في كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل التكاليف، وهو ما أثبتته نتائج دراسات مثل (Sanzana et al., 2022) التي ركزت على استخدام تقنيات التعلم العميق لإدارة وصيانة أنظمة HVAC في المنشآت الكبيرة. كما سلّطت أبحاث مثل (Abdelalim et al., 2025) الضوء على أهمية توظيف التوأم الرقمي (Digital Twin) بجانب الذكاء الاصطناعي لتحقيق تحسينات تشغيلية ملموسة في منشآت كبرى كالمطارات والمستشفيات.

وفي ضوء التطورات المتسارعة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي بالصيانة التنبؤية، تبرز الحاجة إلى استكشاف تصورات العاملين كعامل مستقل وحاسم يؤثر على مدى الاستعداد الفعلي لتبني هذه التقنيات. إذ يعتمد نجاح إدخال الذكاء الاصطناعي في صيانة أنظمة التكييف (HVAC) بالمطارات على مدى إدراك العاملين لأهميته واستعدادهم الفعلي للمشاركة في التحول الرقمي عبر أبعاده الأربعة: تقبل تغيير أساليب العمل، والاستعداد للتدريب، والتوقعات الإيجابية للأثر لأثر الذكاء الاصطناعي على الأداء والتكاليف، وأخيراً مدى استعدادهم للمشاركة الفعلية في تبني هذه الحلول.

وفي هذا السياق، يهدف البحث الحالي إلى استكشاف تصورات العاملين، سواء الفنيين أو المديرين بمطار الملك عبدالعزيز الدولي بجهة حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في صيانة أنظمة التكييف، وتحليل مدى تقبلهم لهذه التقنيات والتوقعات المتعلقة بتأثيرها على معدلات الأعطال والتكاليف

التشغيلية. وقد أكدت دراسات مثل (Källbäcker et al., 2025) على أن فهم وجهات نظر الأطراف المعنية يعد خطوة جوهرية لضمان نجاح التحول الرقمي في عمليات تشغيل المطارات.

وبناءً عليه، يسعى هذا البحث إلى تقديم توصيات عملية تساهم في تهيئة بيئة تنظيمية داعمة لتبني تطبيقات الذكاء الاصطناعي في صيانة أنظمة HVAC ، بما يتوافق مع مستهدفات التحول الرقمي وتحسين الكفاءة التشغيلية للمنشآت الحيوية.

مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في أهمية معرفة وتحديد العلاقة بين تصورات العاملين من فنيين ومديرين، وبين الاستعداد الفعلي لتبني أنظمة الصيانة التنبؤية القائمة على تقنيات وأدوات الذكاء الاصطناعي، خاصةً في بيئات حساسة مثل المطارات. ويشمل هذا الاستعداد الأبعاد الجوهرية المرتبطة بسلوك العاملين، مثل مدى تقبلهم لتغيير أساليب العمل التقليدية، ومدى استعدادهم للتدريب على استخدام تقنيات وأدوات الذكاء الاصطناعي الحديثة، وتوقعاتهم حول الأثر الإيجابي على الأداء والتكاليف، ومدى استعدادهم للمشاركة في إنجاح مبادرات التحول الرقمي وتطبيق تقنيات وأدوات الذكاء الاصطناعي داخل بيئة العمل. كما توضح دراسات سابقة أن العامل البشري قد يشكل تحدياً جوهرياً عند إدخال تقنيات حديثة (Abdelalim et al., 2025; Källbäcker et al., 2025) ، لذا تُطرح مشكلة الدراسة في السؤال الرئيسي التالي:

- ما هي تصورات العاملين (من فنيين ومشرفين ومديرين) بمطار الملك عبد العزيز الدولي بجدة، حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في صيانة أنظمة التكييف؟

أسئلة البحث الفرعية:

١. ما مدى تقبل الفنيين والمديرين لفكرة تغيير أساليب العمل التقليدية لصيانة أنظمة التكييف، والتحول إلى أساليب صيانة تنبؤية قائمة على الذكاء الاصطناعي؟
٢. ما مستوى استعداد العاملين بمختلف فئاتهم (فنيين ومديرين) لتلقي التدريب على استخدام أنظمة وأدوات الذكاء الاصطناعي في أعمال الصيانة التنبؤية؟
٣. ما هي توقعات العاملين حول الأثر المحتمل لتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء أنظمة التكييف وتقليل التكاليف التشغيلية والصيانة؟
٤. ما مدى استعداد العاملين للمشاركة الفعلية في مبادرات التحول الرقمي وإنجاح تطبيق أنظمة الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي؟

٥. ما هي الفروق بين تصورات الفنيين وتصورات المديرين فيما يخص الاستعداد الفعلي لتبني أنظمة الصيانة التنبؤية بالذكاء الاصطناعي؟

أهمية الدراسة:

تتضح أهمية هذا البحث من خلال توفير إطار علمي حديث يدعم إدارات الصيانة في مطار الملك عبد العزيز الدولي وغيره من البيئات التشغيلية الحساسة في المملكة، لفهم العلاقة بين تصورات العاملين من فنيين ومديرين وبين الاستعداد الفعلي لتبني أنظمة الصيانة التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي. ويسهم هذا الفهم في خفض مقاومة التغيير وتعزيز فرص نجاح التحول الرقمي لأنظمة الصيانة التنبؤية بما يحقق الكفاءة التشغيلية ويقلل التكاليف، وهو ما يتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة ٢٠٣٠. كما يُعد التركيز على الأبعاد الجوهرية للاستعداد الفعلي — مثل تقبل تغيير أساليب العمل التقليدية، الاستعداد للتدريب على أدوات وتقنيات الذكاء الاصطناعي AI، التوقعات الإيجابية للأثر، والاستعداد للمشاركة الفعلية — عاملاً أساسياً لفهم سلوك الأفراد تجاه تبني التقنيات الحديثة، كما أوصت به الدراسات الحديثة مثل، (Abdelalim et al., 2025) و(Källbäcker et al., 2025).

وتبرز أهمية البحث أيضاً في مساهمته في:

١. تزويد الإدارة بقاعدة بيانات كمية تدعم القرارات المتعلقة بتطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي والصيانة التنبؤية AI-PdM.
٢. تقديم توصيات عملية يمكن البناء عليها لتصميم برامج تدريب وتغيير تنظيمي.
٣. سد الفجوة البحثية حول دور العامل البشري كعنصر حاسم في إنجاح التحول الرقمي للصيانة في بيئات معقدة مثل المطارات.

أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة الحالية إلى تحليل العلاقة بين تصورات العاملين (من فنيين ومشرفين ومديرين) بمطار الملك عبد العزيز الدولي حول توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية، وبين الاستعداد الفعلي لتبني هذه الأنظمة بأبعاده الأربعة، مع اختبار أثر بعض المتغيرات الديموغرافية مثل الدور الوظيفي وسنوات الخبرة.

وينبثق من هذا الهدف الرئيسي بعض الأهداف الفرعية:

١. قياس مستوى الوعي والتصورات لدى العاملين من فنيين ومشرفين ومديرين حول أهمية الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية.

٢. تحليل استعداد العاملين لتغيير أساليب العمل التقليدية لصالح أساليب معتمدة على الذكاء الاصطناعي AI .
٣. استكشاف مدى استعداد العاملين للمشاركة في برامج التدريب على استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي AI .
٤. قياس توقعات العاملين حول الأثر الإيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين الأداء وخفض التكاليف.
٥. تحديد مدى استعداد العاملين للمشاركة الفعلية في إنجاح مبادرات التحول الرقمي.
٦. تحليل الفروق في التصورات والاستعداد بين فئات العاملين حسب الدور الوظيفي وسنوات الخبرة.

فروض الدراسة:

الفرضية الرئيسية:

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تصوّرات العاملين حول توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية وبين استعدادهم الفعلي لتبني هذه الأنظمة.

الفروض الفرعية:

١. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الايجابية للأثر لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند الفنيين، والاستعداد لتغيير أساليب العمل التقليدية.
٢. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الايجابية للأثر لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند الفنيين، والاستعداد لتلقي التدريب على استخدام تلك التقنيات.
٣. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الايجابية للأثر لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند الفنيين، والاستعداد للمشاركة الفعلية في تطبيق تلك التقنيات.
٤. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التحديات الميدانية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند الفنيين، والاستعداد للمشاركة الفعلية في تطبيق تلك التقنيات.
٥. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقبل استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند المشرفين والمديرين، والاستعداد لدعم تدريب تلك التقنيات.

٦. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقبل استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند المشرفين والمديرين، والتوقعات الإيجابية للأثر لأثر استخدام تلك التقنيات.
٧. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقبل استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند المشرفين والمديرين، ومشاركتهم الفعلية في استخدام تلك التقنيات.
٨. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التحديات الإدارية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند المشرفين والمديرين، ومشاركتهم الفعلية في استخدام تلك التقنيات.

حدود الدراسة:

١. **الحدود المكانية:** ينحصر تطبيق الدراسة في مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة كبيئة تشغيلية حساسة تعتمد أنظمة HVAC.
٢. **الحدود الزمانية:** تغطي فترة جمع البيانات وتحليلها العام الأكاديمي ٢٠٢٤/٢٠٢٥.
٣. **الحدود الموضوعية:** يركز البحث فقط على العلاقة بين تصورات العاملين (الفنيين والمشرفين والمديرين) تجاه توظيف الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية، مع تحليل الاستعداد الفعلي بأبعاده الأربعة، دون التطرق إلى أنواع صيانة أو أنظمة تشغيل أخرى.

نموذج الدراسة:

يمثل هذا النموذج التصور العام للعلاقات بين متغيرات الدراسة، ويوضح كيفية تأثير كفاءة إدارة الصيانة وتكالييفها بتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في أنظمة التكييف (HVAC)، وذلك في ضوء نموذج تبني التكنولوجيا (TAM) ونظرية الصيانة التنبؤية (PdM Theory).

أولاً: المتغير المستقل (Independent Variable)

الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف (Management AI in HVAC Maintenance)

يمثل هذا المتغير درجة استخدام وتبني التقنيات الذكية في عمليات الصيانة، ويتضمن التطبيقات التالية:

- التحليل التنبؤي للأعطال (Predictive Fault Detection) لتحديد المشكلات قبل وقوعها.
- التشخيص الذكي (Intelligent Diagnosis) باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي.
- تحليل بيانات التشغيل (Operational Data Analytics) لتحسين كفاءة الطاقة.
- دعم اتخاذ القرار الإداري (AI-based Decision Support) في تحديد جداول الصيانة المثلى.

- التحسين المستمر للأداء (Performance Optimization) من خلال التعلم الآلي وتحليل الاتجاهات.

ثانيًا: المتغيرات التابعة (Dependent Variables)

١. كفاءة إدارة الصيانة (Maintenance Efficiency)

- تقليل وقت الأعطال غير المخطط لها.
- زيادة سرعة ودقة الاستجابة للأعطال.
- تحسين جودة عمليات الصيانة وتخطيطها.
- رفع موثوقية واستمرارية تشغيل أنظمة التكييف.

٢. خفض تكاليف الصيانة (Maintenance Cost Reduction)

- تقليل تكاليف الأعطال الطارئة والإصلاحات المتكررة.
- خفض الهدر في الطاقة والمواد من خلال التنبؤ الدقيق بالأداء.
- تحسين تخصيص الموارد البشرية والمالية في أنشطة الصيانة.

ثالثًا: الأطر النظرية المفسرة (Theoretical Lenses)

١. نموذج تبني التكنولوجيا (Technology Acceptance Model – TAM)

- يُفسر مدى قبول العاملين لتقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة استنادًا إلى ثلاثة أبعاد رئيسية:
- **المنفعة المتصورة (Perceived Usefulness):** قناعة العاملين بأن الذكاء الاصطناعي يحسّن جودة وكفاءة الصيانة.
- **السهولة المتصورة (Perceived Ease of Use):** مدى بساطة التعامل مع الأنظمة الذكية وتكاملها مع بيئة العمل الحالية.
- **النية السلوكية للتبني (Behavioral Intention to Use):** رغبة الفنيين والمشرفين والمديرين في تبني الأنظمة الذكية مستقبلاً.

٣. نظرية الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance Theory – PdM Theory)

- توضح كيف أن استخدام التحليلات التنبؤية في الصيانة يؤدي إلى:
- الانتقال من الصيانة التفاعلية إلى الوقائية والتنبؤية.

- تحقيق استدامة تشغيلية وتقليل الأعطال المفاجئة.
- تحسين تخصيص الموارد ورفع كفاءة الأداء العام للمؤسسة.
- تعزيز عملية اتخاذ القرار الإداري اعتمادًا على البيانات اللحظية.

خاتمة الفصل:

خلص هذا الفصل إلى تحديد الإطار العام للدراسة من خلال عرض مشكلة البحث وأهدافه وأهميته النظرية والتطبيقية، إضافة إلى صياغة فرضيات الدراسة وتحديد متغيراتها. كما تم توضيح الدور المتوقع لتقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير أساليب إدارة الصيانة، خصوصًا في أنظمة التكييف التي تُعد من أكثر المرافق استهلاكًا للطاقة داخل بيئة المطارات.

ويمهد هذا الفصل للانتقال إلى الفصل الثاني، الذي يتناول الإطار النظري والدراسات السابقة ذات الصلة، بغرض تأسيس قاعدة علمية تشرح المفاهيم الرئيسية للبحث وتحدد موقع الدراسة ضمن الأدبيات الحديثة في مجال إدارة الصيانة الذكية.

الفصل الثاني

الإطار النظري والدراسات السابقة

المقدمة:

يهدف هذا الفصل إلى استعراض الأسس النظرية والمفاهيم الرئيسية المرتبطة بموضوع الدراسة، من خلال تناول الجوانب الإدارية والتقنية لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف. ويتناول الفصل المفاهيم الرئيسية مثل: إدارة الصيانة، الصيانة التنبؤية، الذكاء الاصطناعي، إدارة المرافق الذكية، والكفاءة التشغيلية، إلى جانب استعراض أبرز النماذج النظرية ذات الصلة مثل نظرية كفاءة التشغيل (Operational Efficiency Theory) ونظرية اتخاذ القرار المعتمد على البيانات (Data-Driven Decision Making).

كما يستعرض الفصل عددًا من الدراسات السابقة المحلية والعالمية التي تناولت أثر تطبيق الذكاء الاصطناعي في خفض التكاليف وتحسين موثوقية أنظمة HVAC ، لتحديد أوجه الاتفاق والاختلاف والفجوات البحثية التي تسعى هذه الدراسة إلى معالجتها.

الإطار النظري للدراسة:

تعتمد هذه الدراسة على نموذج قبول التكنولوجيا وعلى نظرية الصيانة التنبؤية، وفيما يلي شرح لكل منهما مع بيان كيفية توظيفهما في الدراسة.

أولاً: نموذج قبول التكنولوجيا (The Technology Acceptance Model (TAM)

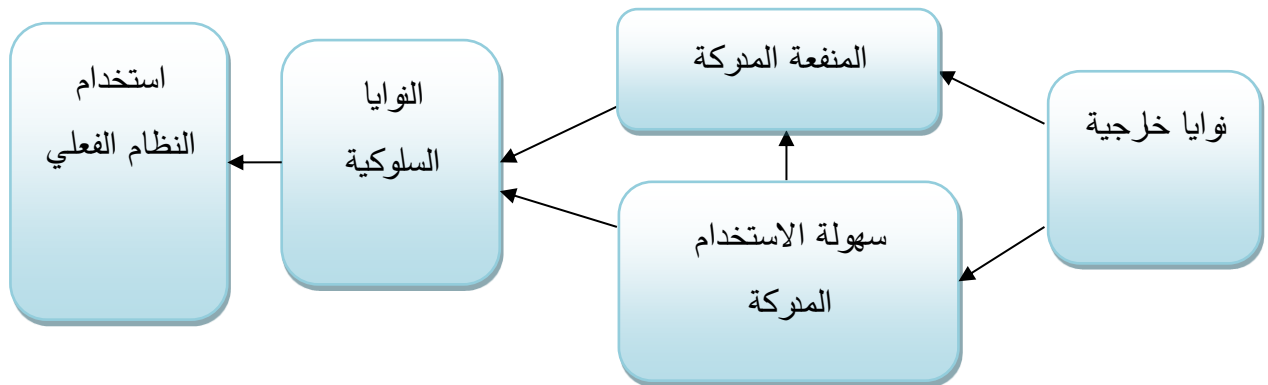
صمم هذا النموذج ليوضح كيفية قبول المستخدمين للتكنولوجيا الحديثة، وبني الأساس النظري للنموذج على فرضية وجود ثلاثة عوامل تؤثر في قرارهم بشأن تقبل التكنولوجيا الحديثة وهي: الفائدة التي تعود على المستخدم من قبول التكنولوجيا، ثم مدى سهولة الأدوات التكنولوجية التي يتعرض لها المستخدم، وثالثاً: موقف المستخدم تجاه استخدام التكنولوجيا، وهو يتحدد وفقاً للفائدة المدركة وهي الدرجة التي يعتقد فيها المستخدم أن استخدام التكنولوجيا أو أي نظام جديد من شأنه أن يعزز أدائه الوظيفي.

وبعدُ نموذج قبول التكنولوجيا Technology Acceptance Model (TAM) من النماذج الصادرة والموثوق بها لتفسير قبول الجمهور لأي تكنولوجيا حديثة. إذ طور Davis سنة 1986 نموذج قبول التكنولوجيا استناداً إلى نظرية الفعل المنطقي Theory of Reasoned Action التي وضعها Ajzen and Feisbhein سنة 1980، ونظرية السلوك المخطط Theory of Planned Action التي وضعها Ajzen سنة ١٩٨٥.

وظهرت خلال العقود الأخيرة مجموعة من النماذج النظرية لدراسة العوامل المؤثرة على تقبل تكنولوجيا المعلومات، حيث قام الباحث (Venkatesh et al., 2003) بتقديم النظرية الموحدة لتقبل واستخدام التكنولوجيا UTAUT، لتقدم رؤية متكاملة لمدى تقبل المستخدم للتكنولوجيا الجديدة، حيث تمت مراجعة عدة نماذج بهدف الوصول لهذا النموذج، وبمقارنة نموذج UTAUT بالنماذج الأخرى التي ظهرت، وجد أنه قادر على تفسير 71% من سلوك تقبل التكنولوجيا، وقد تم إدخال عديد من التعديلات عليه لتحقيق هذا الهدف.

وتأتي أهمية هذا النموذج من خلال إمكانية التعرف على كيفية استخدام الجمهور للتكنولوجيا الجديدة والإجابة عن أسئلة: ما ومتى وأين ولماذا يتم استخدام هذه التكنولوجيا؟ مع الأخذ في الاعتبار، التعرف على سمات الجمهور والاتجاهات العامة نحو التغيير. حيث يعتبر نموذج TAM من النماذج القوية في مجال فهم العوامل المؤثرة في تبني تقنية المعلومات، كما يؤدي الهدف الرئيسي لنموذج TAM توفير أساس اكتشاف تأثير المتغيرات الخارجية على الاعتقاد الداخلي والاتجاهات والنوايا، ويفترض النموذج أن المنفعة المتوقعة وسهولة الاستخدام هما المحددان الأساسيان لتبني تقنية المعلومات في أي مؤسسة.

وبذلك يعد نموذج قبول التكنولوجيا، نموذجا قويا للتنبؤ بنوايا المستخدمين السلوكية في استخدام تقنية جديدة، ويفترض النموذج أن نية الشخص في استخدام (قبول التكنولوجيا) وسلوك الاستخدام (الاستخدام الفعلي للتكنولوجيا) تستند إلى تصورات الشخص لفائدة التكنولوجيا المحددة (الاستفادة من استخدام التكنولوجيا) وسهولة الاستخدام، ويقترح نموذج قبول التكنولوجيا تصورات الفائدة وسهولة الاستخدام تتوسطها متغيرات خارجية بما في ذلك الفروق الفردية وخصائص النظام وكذلك التأثيرات الاجتماعية.



شكل رقم (١) النسخة المعدلة الأخيرة لنموذج قبول التكنولوجيا (Venkatesh & Davis 2000, p186)

ولقد تم استخدام هذا النموذج استخداماً واسعاً لتفسير سلوك المستخدم نحو تكنولوجيا المعلومات في مجالات مختلفة حيث تم اختباره في العديد من البلدان المتقدمة وبعض البلدان النامية. وطبقت بعض الدراسات والبحوث نموذج قبول التكنولوجيا الأصلي، فيما قامت أخرى بتوسيع النموذج بإدخال متغيرات إضافية إليه. وقد أثبتت هذه البحوث ملاءمة هذا النموذج لدراسة سلوك المستخدم تجاه تكنولوجيا المعلومات في بيئات مختلفة، وهناك أيضاً بعض الدراسات التي أجريت في البيئة العربية والتي تناولت انتشار تكنولوجيا المعلومات واستخدامها بالاعتماد على نموذج تقبل التكنولوجيا.

واستناداً إلى النموذج الأصلي لقبول التكنولوجيا، يمكن تفسير استخدام الفرد للتكنولوجيا الحديثة مثل تقنيات وأدوات الذكاء الاصطناعي، من خلال ثلاثة عوامل هي: المنفعة المدركة، وسهولة الاستخدام، والاتجاه نحو الاستخدام، حيث افترض النموذج أن الاتجاه نحو الاستخدام يعد عاملاً محدداً للاستخدام الفعلي، أو عدم الاستخدام لهذه التكنولوجيا. ويتأثر اتجاه المستخدم بدوره بعاملين رئيسيين: هما المنفعة المدركة، وسهولة الاستخدام المدركة. كما أن سهولة الاستخدام المدركة تأثيراً مباشراً في المنفعة المدركة، ويرتبط عامل الاتجاه بمشاعر الفرد وانفعالاته نحو استخدام التكنولوجيا، وأخيراً تتأثر كل من المنفعة المدركة وسهولة الاستخدام بعوامل أخرى خارجية External Variables.

ولقد تم استخدام نموذج تقبل التكنولوجيا (Technology Acceptance Model – TAM) كأداة فعالة في هذه الدراسة لاختبار **تصورات العاملين** من فنيين ومشرفين ومديرين بمطار الملك عبد العزيز الدولي تجاه تبني تقنيات وأدوات الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية. إذ يُسهم هذا النموذج في تفسير كيف تتشكل النية السلوكية لدى الأفراد، من خلال مدى إدراكهم للفائدة المتوقعة (Perceived Usefulness) وسهولة الاستخدام (Perceived Ease of Use) لهذه الأنظمة الذكية.

وفي هذا الإطار، استخدم النموذج لتفكيك المتغير المستقل (التصورات) إلى بُعدين جوهريين يقيسان:

- أولاً: قناعة العاملين بأن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يُحسن أداء أنظمة التكيف ويقلل من الأعطال والتكاليف (المنفعة المدركة).
- ثانياً: درجة سهولة تعلم استخدام الأنظمة الذكية ودمجها في روتين العمل اليومي (سهولة الاستخدام المدركة).

كما تم الربط بين هذين البُعدين وبين الاستعداد الفعلي للعاملين لتبني التقنية من خلال أربعة

أبعاد سلوكية مركزية تمثل النية السلوكية في TAM، وهي:

- الاستعداد لتغيير أساليب العمل التقليدية.
- الاستعداد للتدريب وتطوير المهارات.

• التوقعات حول الأثر الإيجابي على الأداء والتكاليف.

• الاستعداد للمشاركة الفعلية في إنجاح مبادرات التحول الرقمي.

وعلاوة على ذلك، تُؤخذ العوامل الخارجية (External Variables) في الاعتبار، مثل الدور الوظيفي (مدير/فني) وعدد سنوات الخبرة، لاختبار ما إذا كانت هذه الخصائص تؤثر على إدراك الفائدة وسهولة الاستخدام ومن ثم تؤثر على الاستعداد الفعلي للتبني. وبذلك يُسهم النموذج في تقديم إطار تفسيري متكامل للعلاقات السببية بين التصورات والمتغيرات السلوكية ضمن بيئة العمل الحساسة مثل المطارات، مما يعزز من قيمة النتائج التطبيقية لهذه الدراسة.

ثانياً: نظرية الصيانة التنبؤية (PdM - Predictive Maintenance)

تعد نظرية الصيانة التنبؤية (PdM - Predictive Maintenance) من المفاهيم الحديثة نسبياً التي تطورت بهدف تحسين كفاءة إدارة الأصول والمعدات الحيوية في البيئات التشغيلية المعقدة مثل المطارات والمصانع الكبرى. ويقوم هذا النهج على مراقبة الحالة الفعلية للأصول والمعدات باستمرار باستخدام بيانات حساسات ذكية، بهدف التنبؤ بوقت حدوث الأعطال قبل وقوعها فعلياً، مما يتيح التخطيط للصيانة بشكل استباقي ومدرّوس.

وبخلاف أساليب الصيانة الدورية التقليدية (Preventive Maintenance) التي تعتمد على جداول زمنية ثابتة قد لا تعكس الوضع التشغيلي الفعلي، تعتمد PdM على مؤشرات الأداء الحقيقية وتطبيقات التحليل المتقدم المستندة إلى البيانات، (Mobley, 2002). وقد شهدت مفاهيم PdM تطوراً ملحوظاً بفضل دمج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والحساسات الذكية التي مكنت من جمع البيانات اللحظية وتحليلها باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML). (Jardine et al., 2006).

ووفقاً لما أوضحه Abdelalim et al. (2025)، فإن إدماج PdM مع مفهوم التوأم الرقمي (Digital Twin) يمثل نقلة نوعية، حيث يُتيح هذا الدمج بناء نموذج افتراضي يعكس الأداء الواقعي للأصل/المعدة ويتيح اختبار السيناريوهات واتخاذ قرارات صيانة دقيقة ومدعومة بالبيانات.

ويستند إطار الصيانة التنبؤية إلى سلسلة مترابطة من المكونات التقنية التي تجعل من هذا النموذج أكثر ذكاءً وفاعلية. وتشمل هذه المكونات أربعة عناصر رئيسية:

١. البيانات الحسية: (Sensor Data)

تُعد الحساسات الذكية نقطة الانطلاق، حيث تقوم بالتقاط بيانات التشغيل الحرجة مثل الاهتزازات، ودرجات الحرارة، والضوضاء، لتوفير معلومات لحظية دقيقة حول حالة الأصل أو المعدة.

٢. إنترنت الأشياء (IoT):

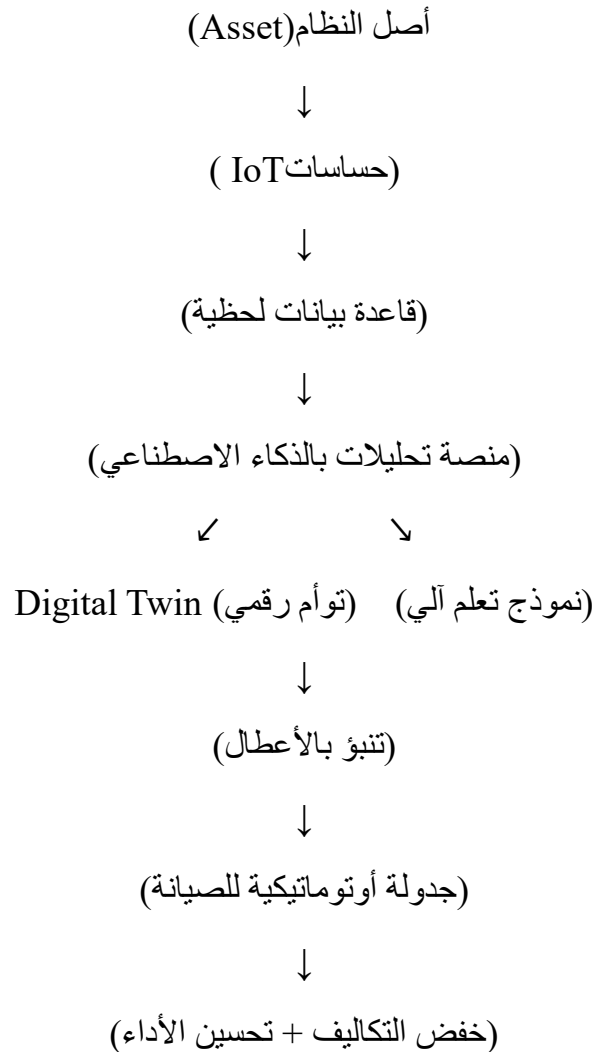
يعمل IoT كحلقة وصل تنقل البيانات الحسية في الوقت الفعلي من المعدات الميدانية إلى أنظمة التحليل المركزية والسحابية، مما يسمح بمتابعة الأداء بشكل مستمر واتخاذ القرارات اللحظية.

٣. الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML):

تُستخدم خوارزميات معقدة مثل الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN)، وتقنيات التحليل الإحصائي لاكتشاف الأنماط الشاذة والتنبؤ بموعد الأعطال بدقة أعلى، (Sanzana et al., 2022).

٤. التوأم الرقمي (Digital Twin):

يمثل نموذجًا افتراضيًا يحاكي أداء المعدة الفعلي، مما يتيح للإدارة اختبار سيناريوهات تشغيل وصيانة متعددة، وتحسين الإجراءات قبل تنفيذها فعليًا، كما بيّنه، (Abdelalim et al. (2025).



شكل رقم (٢): المخطط المفاهيمي لإطار الصيانة التنبؤية (PdM) المدمجة بـ AI و IoT

كما تزداد قيمة تطبيقات PdM عند دمجها مع الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، خاصة في المجالات التي تتطلب أعلى درجات الجاهزية التشغيلية والاعتمادية. فقد أثبتت تطبيقات PdM الموسعة دورها في:

- **قطاع المطارات:** حيث تسهم في التنبؤ بالأعطال المحتملة لأنظمة التكييف (HVAC) وتقليل التكاليف التشغيلية وزيادة عمر المعدات، (Lahna, 2023).
- **القطاع الصحي:** لدعم كفاءة عمل المعدات الحيوية وضمان الاستدامة التشغيلية، (Abdelalim et al., 2025).
- **الصناعة الثقيلة:** عبر رفع الجاهزية وخفض الأعطال المفاجئة.

وتكمن أهمية هذا الإطار النظري في البحث الحالي في أنه يقدم نموذجًا متكاملًا يساعد في تصميم نظم صيانة أكثر ذكاءً وكفاءة في البيئات الحساسة مثل مطارات المملكة، وذلك من خلال توظيف مخرجات التحليلات الذكية ودمجها في خطط الصيانة المستقبلية. كما أنه يدعم قرارات الإدارة ويعزز التحول الرقمي في إدارة المرافق، بما ينسجم مع توجهات المملكة لتحقيق الكفاءة والاستدامة التشغيلية وفقًا لرؤية ٢٠٣٠.

ومن خلال اعتماد هذا الإطار، يسعى البحث الحالي إلى استكشاف تصوّرات العاملين حول مدى استعدادهم لتبني هذا النموذج الذكي، وفهم العوامل السلوكية والتنظيمية التي قد تدعم أو تعيق التحول من الصيانة التقليدية إلى الصيانة التنبؤية المعززة بـ AI و IoT. ويدعم ذلك نتائج دراسات مثل Sanzana et al. (2022) و Abdelalim et al. (2025) التي أكدت أهمية دمج الأبعاد التقنية والسلوكية لضمان نجاح تطبيقات PdM.

الدراسات السابقة:

من خلال هذا القسم، سوف نتناول الدراسات السابقة وكيف استفادت هذه الدراسة منها، وما يميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة.

دراسة (الخالدي، ٢٠٢٥): ركزت هذه الدراسة على تحليل فرص وتحديات تبني تقنيات وأدوات الذكاء الاصطناعي في قطاع التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) في دولة الكويت، في ظل التوجّه المتزايد لدى المؤسسات الصناعية والخدمية نحو تحسين كفاءة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية. وتتبع أهمية هذه الدراسة من كون قطاع HVAC يُعد من القطاعات الأكثر استهلاكًا للطاقة في المنطقة، ما يجعله ميدانًا حيويًا لتطبيقات الذكاء الاصطناعي والصيانة التنبؤية بهدف تحقيق وفورات تشغيلية وتعزيز موثوقية الأنظمة.

ولقد اعتمد الباحث في هذه الدراسة على المنهج الوصفي المسحي من خلال توزيع استبانة هيكلية على عينة بلغت ٢٠٣ مشاركين من ذوي الاختصاص، ضمت مهندسين وفنيين ومديرين في مؤسسات تعمل في تشغيل وصيانة أنظمة HVAC. وغطت الأداة عدة محاور أساسية تضمنت تصوّرات المستجيبين حول الفوائد المحتملة لتبني أنظمة الذكاء الاصطناعي، ومدى جهوزية المؤسسات للبنية التحتية التقنية، إلى جانب التحديات التي قد تواجه عمليات التنفيذ من منظور الكوادر البشرية والفنية. وأظهرت النتائج أن غالبية المشاركين يرون أن تبني الذكاء الاصطناعي في تشغيل وصيانة أنظمة HVAC يمكن أن يحقق مكاسب ملموسة مثل تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وخفض التكاليف على المدى المتوسط والطويل. ومع ذلك، أوضحت الدراسة أن هذا التبني يواجه عدة تحديات واقعية، من أبرزها ارتفاع التكاليف الأولية للاستثمار في الحساسات الذكية والبنية التحتية الرقمية، إضافة إلى وجود فجوات في المهارات التقنية لدى بعض العاملين مما قد يعيق الاستخدام الأمثل للتقنيات الحديثة، فضلاً عن بروز مخاوف متعلقة بحماية أمن البيانات التشغيلية عند ربط الأنظمة عبر إنترنت الأشياء (IoT). وأكدت هذه النتائج على ضرورة تعزيز برامج التدريب الفني والتوعية الأمنية لضمان تحقيق الفائدة القصوى من الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي في هذا القطاع الحيوي.

دراسة (عبدالعليم وآخرون، ٢٠٢٥): قدمت هذه الدراسة إطاراً تطبيقياً حديثاً لدمج تقنيات التوأم الرقمي (Digital Twin) مع خوارزميات الذكاء الاصطناعي لإدارة الصيانة التنبؤية في المنشآت الضخمة مثل المطارات والمستشفيات والمرافق الحيوية. واستندت الدراسة إلى تصميم نموذج توأم رقمي ثلاثي الأبعاد متكامل لأنظمة HVAC يتيح مراقبة الحالة التشغيلية الفعلية من خلال جمع وتحليل البيانات اللحظية باستخدام تقنيات التعلم الآلي.

واعتمد الباحثون على تطوير منصة تحكّم تفاعلية لتمكين فرق الصيانة من اختبار السيناريوهات وتشخيص الأعطال قبل وقوعها.

وأظهرت النتائج تحسناً في سرعة الاستجابة للأعطال بنسبة وصلت إلى ٤٠٪ مقارنةً بالطرق التقليدية، مع انخفاض التكاليف السنوية للصيانة بنسبة بلغت نحو ١٢٪. كما أشارت الدراسة إلى أن دمج أدوات الذكاء الاصطناعي مع التوأم الرقمي ساعد على رفع مستوى رضا فرق التشغيل والإدارة، ما يعكس دور هذه التقنيات في تعزيز موثوقية الأنظمة التشغيلية وتحقيق أهداف الاستدامة.

دراسة (Källbäcker et al., 2025): ركزت هذه الدراسة على تحليل الدور الحاسم للعامل البشري في تعزيز جاهزية المطارات للتحوّل الرقمي، مع التركيز على الكوادر التشغيلية والفنية التي يقع على عاتقها تشغيل الأنظمة الذكية والصيانة التنبؤية. وانطلقت الدراسة من فكرة أن الجاهزية التقنية

وحدها لا تكفي لإنجاح مبادرات التحول الرقمي، إذ تشكّل مقاومة التغيير لدى العاملين فجوة قد تعيق تحقيق الأهداف التشغيلية للمطارات الذكية.

واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال استبيان موسّع استهدف موظفي الصيانة ومديري الإدارات التشغيلية في مطارات أوروبية متنوعة من حيث الحجم ومستوى الأتمتة. كما شملت الأداة محاور تقيس مدى وعي المشاركين بمتطلبات التحول الرقمي، وتقييم جاهزيتهم المهارية والنفسية لتبني تقنيات مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في أعمالهم اليومية. وأظهرت النتائج أن مستوى تقبل الأفراد للتقنيات الحديثة يرتبط بدرجة كبيرة بعوامل مثل وضوح الرؤية المؤسسية، وتوافر برامج التدريب والدعم الفني، ومشاركة الموظفين في مراحل التخطيط والتطبيق. كما أبرزت الدراسة أن العامل البشري قد يشكّل تحديًا حاسمًا إذا لم تتم معالجته بإجراءات تغيير ثقافي وتدريب مستمر، مؤكدةً ضرورة تضمين العاملين كأصحاب مصلحة رئيسيين في كل مرحلة من مراحل تبني الابتكار.

دراسة (Yusup & Sofyan, ٢٠٢٤): هدفت هذه الدراسة إلى معالجة سؤال جوهري حول مدى كفاءة أدوات الذكاء الاصطناعي الحديثة في تنفيذ مهام التحليل الفني داخل قطاع صيانة الطيران، وهو من أكثر القطاعات التي تتطلب دقة عالية لضمان السلامة التشغيلية. وجاءت هذه الدراسة في ظل التوسع المتزايد في تجريب تقنيات مثل ChatGPT-4 و Perplexity AI كأدوات مساعدة للفنيين في فهم الوثائق الفنية.

ولقد اعتمدت الدراسة على منهج مقارنة وصفي، حيث استعان الباحثان بثلاثة مراجعين بشريين من ذوي الخبرة لفحص النشرة يدويًا، ثم تمت مقارنة النتائج بالمرجات التي أنتجتها ChatGPT-4 و Perplexity AI. وقد صُمم هذا الإجراء لتقييم مدى دقة التحليل الآلي مقابل التحليل البشري التقليدي، مع التركيز على قدرة النماذج اللغوية على تفسير المصطلحات الفنية واستخلاص التعليمات بدقة. وأظهرت النتائج أن أدوات الذكاء الاصطناعي قدّمت مستوى أوليًا مقبولًا من التحليل، خاصةً في استخراج المعلومات العامة، لكنها أظهرت محدودية في استيعاب التفاصيل الفنية الدقيقة والربط بين الأجزاء المتخصصة من النشرة. كما تبين أن التحليل اليدوي للمراجعين البشريين كان أكثر دقة وقدرة على كشف الثغرات أو التناقضات التي قد تغفل عنها النماذج الآلية. وأكدت الدراسة أن الاعتماد الكامل على الذكاء الاصطناعي في هذه المهام لا يزال بحاجة إلى تعزيز دقة النماذج، مع استمرار ضرورة التحقق البشري لحماية معايير السلامة والجودة في عمليات الصيانة.

دراسة (Merlo, ٢٠٢٤): تناولت هذه الدراسة الدور المتزايد للذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة الصيانة التنبؤية في قطاع الطيران، مع التركيز بشكل خاص على العوامل البشرية المؤثرة في

تقبل العاملين والفنيين لهذه الأنظمة. وهدفت الدراسة إلى تحليل تصورات الأفراد تجاه هذه التقنيات وقدرتهم على التكيف مع التحويلات الرقمية ضمن بيئة تشغيلية شديدة الحساسية مثل الطيران المدني. استخدمت الدراسة منهجاً نوعياً من خلال إجراء مقابلات نصف مهيكلية مع عينة من ٣٠ مشاركاً ضمت فنيين ومديري صيانة، إلى جانب توزيع استبيان مُكمل لقياس درجة الثقة لدى العاملين في أدوات الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.

وخلصت النتائج إلى أن حوالي ٦٥٪ من المشاركين أبدوا استعداداً إيجابياً لتبني هذه الأنظمة، بشرط توفير برامج تدريب وتأهيل مناسبة. وأشارت النتائج أيضاً إلى أن العامل البشري ما يزال يمثل عنصراً حاسماً في نجاح مبادرات التحول الرقمي في مجال الصيانة، مما يتطلب إدارات مرنة وقادرة على إدارة مقاومة التغيير الثقافي.

دراسة (Moghayedi et al., 2024): استخدمت هذه الدراسة نهجاً متعدد الأساليب لدراسة اعتماد الذكاء الاصطناعي والرفاهية الاجتماعية للموظفين في مؤسسات إدارة المرافق في جميع أنحاء جنوب أفريقيا. وشمل البحث موظفين من ٢٢ مؤسسة، وكشف أنه على الرغم من قدرة الذكاء الاصطناعي على تعزيز جوانب الرفاهية الاجتماعية وتحسين الصيانة التنبؤية، إلا أنه يثير أيضاً مخاوف بشأن الأمن الوظيفي والاستقلالية والمكانة المهنية.

كما شملت المواضيع المشتركة في هذه الدراسات المقاومة الثقافية والتنظيمية للتغيير، والحاجة إلى تدريب تقني مُحسّن وإشراف بشري مُحسّن، ومخاوف أمن البيانات كعوائق مستمرة أمام اعتماد الذكاء الاصطناعي.

دراسة (Williady et al., ٢٠٢٤): حللت هذه الدراسة أثر تطبيق الابتكارات التقنية، بما في ذلك الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، على رفع كفاءة تشغيل المرافق في المطارات الذكية بمنطقة جنوب شرق آسيا. واستندت الدراسة إلى منهج استكشافي وتنبؤي، حيث جمعت البيانات التشغيلية من ثلاثة مطارات إقليمية، إلى جانب توزيع استبيان لقياس مستوى رضا العاملين والمسافرين تجاه الأنظمة الذكية المطبقة.

كما تم توظيف نماذج تحليل تنبؤية مدعومة بالذكاء الاصطناعي لاستكشاف الأنماط التشغيلية وأوجه الهدر في الطاقة. وأظهرت النتائج تحسناً في كفاءة استهلاك الطاقة بنسبة ١٢٪، إضافةً إلى انخفاض أعطال الأنظمة الحيوية مثل HVAC بنسبة ١٨٪، مما يعكس دور الابتكار الرقمي في دعم جاهزية البنية التحتية وتحقيق وفورات تشغيلية ملموسة في قطاع الطيران.

دراسة (Lahna, ٢٠٢٣): تناولت هذه الدراسة إمكانيات توظيف **نمذجة معلومات البناء (BIM)** في إدارة عمليات الصيانة التنبؤية للبنية التحتية في المطارات، مع توظيف الذكاء الاصطناعي لزيادة دقة اتخاذ القرارات التشغيلية. كما ارتكزت الدراسة على تصميم إطار تكاملي يدمج قاعدة بيانات BIM المحدثة مع خوارزميات التعلم الآلي من أجل التنبؤ بالجدولة المثلى لأعمال الصيانة. وطبقت الدراسة نموذجها في دراسة حالة بمطار فرنسي بهدف قياس فعاليته في خفض الأعطال وتحسين تخطيط عمليات الصيانة. وأظهرت النتائج انخفاضاً ملحوظاً في الأعطال غير المخطط لها بنسبة بلغت ٢٥٪، مع تحسن دقة جداول الصيانة الدورية بنسبة ٣٠٪. كما أكدت الدراسة على أن الدمج بين BIM والذكاء الاصطناعي يتيح مستوى أعلى من التحكم في دورة حياة الأصول ويعزز الكفاءة التشغيلية لمرافق النقل الجوي.

دراسة (Mrusek et al., 2022): ركزت هذه الدراسة النوعية في مجال صيانة الطيران، على استكشاف الأبعاد الثقافية والتنظيمية المرتبطة بتبني تحليلات البيانات التنبؤية والذكاء الاصطناعي في مجال صيانة الطيران، وذلك من خلال التركيز على إدراك العاملين ومدى استعدادهم لدعم تطبيق هذه التحليلات على مستوى الصيانة الوقائية. وتنبع أهمية هذه الدراسة من الحاجة الملحة لفهم التحديات البشرية والثقافية التي قد تواجه عمليات التحول الرقمي في قطاعات حساسة مثل قطاع الطيران، والذي يُعد من أكثر القطاعات تأثراً بالأعطال المفاجئة وما يترتب عليها من تكاليف باهظة وسلامة تشغيلية حرجية.

ولقد اعتمدت الدراسة على المنهج النوعي باستخدام مقابلات شبه منظمة أجريت مع مجموعة مختارة من مديري الصيانة والفنيين والمشرفين في شركات الطيران، وذلك بهدف جمع بيانات معمقة عن تصوراتهم تجاه استخدام التحليلات التنبؤية. وتم تصميم دليل المقابلات بحيث يغطي محاور رئيسية مثل: العوامل الثقافية المؤثرة، ودرجة تقبل العاملين للتغيير، ومحددات نجاح تطبيق الذكاء الاصطناعي، وأبرز التحديات المحتملة أثناء دمج أنظمة التنبؤ بالأعطال ضمن خطط الصيانة الدورية.

وأظهرت نتائج الدراسة أن الثقافة التنظيمية تشكل أحد أبرز العوائق أمام تبني أدوات التحليلات التنبؤية في صيانة الطائرات؛ إذ أشار المشاركون إلى أن وجود فجوة في المهارات الرقمية لدى بعض فئات العاملين قد يزيد من مقاومة التغيير ويحد من فعالية تبني الأنظمة الحديثة. كما بينت النتائج أن دعم الإدارة العليا، وتوفير برامج تدريب مستمرة، وتعزيز الثقة في مخرجات التحليلات التنبؤية، جميعها عوامل أساسية لخفض المقاومة وضمان تكامل النظام الجديد مع العمليات التشغيلية القائمة.

دراسة (Sanzana et al., 2022): ركزت هذه الدراسة على تطوير نموذج متقدم للصيانة التنبؤية يعتمد على تقنيات التعلم العميق (Deep Learning) في إدارة وصيانة أنظمة التدفئة والتهوية

وتكييف الهواء (HVAC) داخل المباني الكبيرة ومرافق البنية التحتية الحيوية. وانطلقت الدراسة من أهمية توظيف البيانات الحية المستخلصة من حساسات إنترنت الأشياء (IoT) بهدف تحسين مراقبة الأداء الفعلي للأجهزة واكتشاف الأعطال المحتملة قبل وقوعها بوقت كافٍ.

كما اعتمدت الدراسة على تصميم نموذج شبكة عصبية عميقة (DNN) مدعوم بقاعدة بيانات تاريخية لأعمال صيانة أنظمة HVAC، مع تطبيق سيناريوهات تشغيل تجريبية لاختبار كفاءة النظام في ظروف تشغيل حقيقية.

وأظهرت النتائج أن النموذج حقق دقة تنبؤية عالية بلغت نحو ٩٢٪ في رصد الأعطال قبل حدوثها بعدة أيام، مما انعكس إيجاباً على خفض التكاليف التشغيلية بنسبة تراوحت بين ١٠٪ و ١٥٪ من الميزانية المخصصة للطاقة والصيانة الدورية. كما تؤكد هذه النتائج أن دمج التعلم العميق مع IoT يمثل نقلة نوعية نحو ممارسات صيانة أكثر ذكاءً واستدامة.

أوجه الاستفادة من الدراسات السابقة:

يتضح من مراجعة الدراسات السابقة أن موضوع الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي قد حظي باهتمام متزايد في السنوات الأخيرة، خصوصاً في القطاعات ذات الطبيعة التشغيلية الحساسة مثل الطيران وإدارة المرافق الكبرى. فعلى سبيل المثال، ركزت دراسة **Sanzana et al. (2022)** على تطوير نموذج تنبؤي يعتمد على التعلم العميق لتحسين صيانة أنظمة HVAC في المباني الضخمة، بينما تناولت دراسة **Abdelalim et al. (2025)** دمج مفهوم التوأم الرقمي مع الذكاء الاصطناعي لإدارة الصيانة في المنشآت العملاقة، مؤكدةً دور المنصات التفاعلية في رفع كفاءة الاستجابة وتقليل التكاليف.

كما تطرقت دراسات مثل **Merlo (2024)** و **Mrusek et al. (2022)** و **Yusup & Sofyan (2024)** إلى الجوانب البشرية والثقافية المؤثرة في تبني هذه التقنيات، وأكدت الحاجة إلى مراعاة العوامل التنظيمية ومقاومة التغيير، بينما ركزت دراسة **Lahna (2023)** على التكامل بين BIM والذكاء الاصطناعي لصيانة بنية تحتية للمطارات، وأوضحت دراسة **Williady et al. (2024)** الأثر الإيجابي للابتكار التقني على كفاءة المطارات الذكية. أما **Alkhalidi (2025)** فحلل الفرص والتحديات في قطاع HVAC في الكويت، مسلطاً الضوء على فجوات المهارات ومخاطر أمن البيانات. وأخيراً، بينت دراسة **Källbäcker et al. (2025)** كيف يؤثر العامل البشري في جاهزية المطارات للتحوّل الرقمي.

وقد استفاد البحث الحالي من هذه الدراسات من عدة جوانب رئيسية؛ إذ دعم تصميم الإطار المفاهيمي المكوّن من محاور: تصورات العاملين – العوامل البشرية – الاستعداد الفعلي بأبعاده الأربعة

(تقبل التغيير، والتدريب، والتوقعات، والمشاركة الفعلية). كما ساعدت نتائج هذه الأدبيات في صياغة أسئلة البحث وفروضه، خاصة في تأكيد أن نجاح أي مشروع صيانة تنبؤية يعتمد على استعداد الكوادر البشرية ومدى تقبلها للتكنولوجيا الحديثة، فضلاً عن أهمية التدريب والتوعية وتقليل مقاومة التغيير الثقافي كما أشار إليه Wilson و Merlo. كذلك دعمت هذه الدراسات فكرة توظيف الأدوات الحديثة مثل IoT و DNN و BIM ضمن سياق مطار ذي متطلبات تشغيلية عالية مثل مطار الملك عبدالعزيز الدولي.

ما يميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة:

يتميز البحث الحالي عن الدراسات السابقة بتركيزه على قياس العلاقة بين تصوّرات العاملين (فنيين، ومشرفين ومديرين) وبين الاستعداد الفعلي لتبني أنظمة الصيانة التنبؤية في بيئة مطارية حساسة، (مطار الملك عبد العزيز الدولي بجدة)، مع الجمع بين الاستفادة من الأدبيات والتحليل الميداني لمجتمع حقيقي، إضافةً إلى تصميم أداة مزدوجة (استبانتيين) تفصل بين الفنيين، والمشرفين والمديرين لضمان ملائمة القياس. كما يقدّم البحث مقارنة دقيقة تربط الجوانب الفنية بالعوامل البشرية في نفس السياق المحلي، وهو ما لم تنطرق إليه الدراسات السابقة بصورة متكاملة. وبذلك، يسد البحث الحالي فجوة مهمة في فهم البعد السلوكي والتنظيمي الذي قد يحدّد نجاح تبني الصيانة التنبؤية في المطارات السعودية، ويضيف قيمة عملية لصنّاع القرار في تصميم استراتيجيات التحوّل الرقمي المستقبلي.

خلاصة الفصل:

تناول هذا الفصل الإطار النظري والدراسات السابقة ذات الصلة بموضوع الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف (HVAC)، حيث تم استعراض المفاهيم الرئيسية المتعلقة بكل من إدارة الصيانة والذكاء الاصطناعي والصيانة التنبؤية، إضافة إلى استعراض نموذج تبني التكنولوجيا (TAM) ونظرية الصيانة التنبؤية (PdM) اللتين تمثلان الإطارين النظريين المعتمدين في هذه الدراسة.

وأوضح الفصل أن تطبيقات الذكاء الاصطناعي أصبحت تمثل تحوّلًا نوعيًا في إدارة الصيانة داخل بيئات العمل المعقدة مثل المطارات، من خلال قدرتها على تحليل البيانات التشغيلية والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، مما يسهم في رفع كفاءة الأداء وخفض التكاليف التشغيلية. كما بيّنت الدراسات السابقة أن نجاح تبني هذه التقنيات يعتمد على مدى تقبل العاملين لها، وتوافر البنية التحتية التقنية والتنظيمية الداعمة.

كما خلص الفصل إلى تحديد الفجوة البحثية المتمثلة في قلة الدراسات التطبيقية التي تتناول التصورات الإدارية والفنية لتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف في

المطارات العربية، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى معالجته من خلال تحليل تصورات الفنيين، والمشرفين والمديرين في مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة.

ويُعدّ هذا الفصل للانتقال إلى الفصل الثالث (منهجية البحث) الذي يوضح الإجراءات المنهجية المتبعة في الدراسة من حيث تصميمها، ومجتمعها، وأدواتها، وأساليب جمع البيانات وتحليلها.

الفصل الثالث

منهجية البحث

المقدمة:

يوضح هذا الفصل المنهجية البحثية التي تم اتباعها لتحقيق أهداف البحث واختبار فرضياته. ويعرض بصورة تفصيلية تصميم البحث، ومنهجه، ومجتمع الدراسة، وعينتها، وأدوات جمع البيانات، وأساليب التحليل الإحصائي المستخدمة.

ونظرًا لأن الدراسة تهدف إلى تحليل تصورات العاملين (الفنيين والمشرفين والمديرين) حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف (HVAC) في مطار الملك عبدالعزيز الدولي، فقد تم تبني المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive-Analytical Method) باعتباره الأنسب لدراسة الاتجاهات والآراء في بيئة عمل واقعية.

كما يوضح هذا الفصل كيفية بناء الاستبانتين الموجهتين لكل من الفنيين، والمشرفين والمديرين، اللتين تم تصميمهما استنادًا إلى المتغيرات المستخلصة من الإطار النظري ونموذج تبني التكنولوجيا ونظرية الصيانة التنبؤية، إضافة إلى توضيح إجراءات الصدق والثبات، وطرق تحليل البيانات باستخدام الأدوات الإحصائية الملائمة.

ويهدف هذا الفصل إلى بيان الخطوات العلمية التي اتبعت لضمان موضوعية النتائج ودقتها، بما يمكن من تفسير العلاقة بين تطبيقات الذكاء الاصطناعي وكفاءة إدارة الصيانة وتكاليها في إطار علمي ومنهجي رصين.

المنهجية وطرق البحث:

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي لدراسة العلاقة بين تصورات العاملين من فنيين ومشرفين/مديرين كمتغير مستقل، وبين الاستعداد الفعلي لتبني الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي كمتغير تابع، وذلك من خلال قياس الأبعاد الأربعة الرئيسية: (١) الاستعداد لتغيير أساليب العمل التقليدية، (٢) الاستعداد للتدريب على التقنيات الحديثة، (٣) التوقعات الإيجابية للأثر تجاه الأثر المتوقع، و(٤) المشاركة الفعلية في إنجاح مبادرات التحول الرقمي.

وتتبع أهمية هذا المنهج من قدرته على توصيف الظاهرة المدروسة وتحليل علاقاتها عبر كلا من الفروض الرئيسية والفرعية المستمدة من الأطر النظرية (نموذج تقبل التكنولوجيا – نظرية الصيانة التنبؤية).

كما سيتم جمع البيانات من مجتمع الدراسة من خلال أداتين رئيسيتين (استبانتين مغلقتين) تم تصميمهما بما يتناسب مع خصوصية المهام والمسؤوليات لكل فئة من العينة: الفنيين والمديرين، مع مراعاة التدرج اللغوي ومقاييس Likert الخماسية لقياس المواقف والتصورات بدقة.

مجتمع الدراسة (Study Population):

يتكوّن مجتمع الدراسة من جميع العاملين في إدارة الصيانة والتشغيل في مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة، والذين لهم علاقة مباشرة أو غير مباشرة بعمليات صيانة وتشغيل أنظمة التكييف (HVAC). ويشمل هذا المجتمع فئتين رئيسيتين:

١. الفنيين العاملين ميدانيًا في تنفيذ أعمال الصيانة الدورية والتصحيحية.
٢. المشرفين والمديرين المسؤولين عن التخطيط والإشراف على تنفيذ أنشطة الصيانة وإدارة الموارد البشرية والفنية المرتبطة بها.

ويتميّز هذا المجتمع بالتنوع في المستويات الوظيفية والخبرة العملية، حيث يجمع بين موظفين ذوي خبرة طويلة في الأنظمة التقليدية، وآخرين على دراية بالتقنيات الحديثة في التشغيل والصيانة الذكية، مما يجعلهم عينة مثالية لقياس مدى تقبل العاملين لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية، وفقًا لنموذج تبني التكنولوجيا (TAM) ونظرية الصيانة التنبؤية (PdM).

عينة الدراسة (Study Sample):

تم اختيار عينة قصدية (Purposive Sample) من مجتمع الدراسة لتمثل الفئتين الأساسيتين (الفنيين والمشرفين/المديرين) المرتبطين مباشرة بأنشطة الصيانة في أنظمة التكييف بالمطار. وقد بلغ حجم العينة الإجمالي (١٥٣)، تم توزيعهم كما يلي:

- **الفنيون:** يمثلون نسبة تقارب (٧٠٪) من إجمالي العينة - (٩٦ = ن) - نظرًا لدورهم الميداني المباشر في تنفيذ عمليات الصيانة وتشخيص الأعطال.
 - **المشرفون والمديرون:** يمثلون نحو (٣٠٪) - (٥٧ = ن) -، من إجمالي العينة، نظرًا لدورهم الإداري والإشرافي في التخطيط واتخاذ القرار في مجال الصيانة.
- وقد روعي في اختيار العينة التنوع في سنوات الخبرة العملية، والمستوى الوظيفي، والقسم الفني، ونوع المهام التشغيلية.

وتم جمع البيانات من خلال استبانتين منفصلتين صُممتا خصيصًا لتناسب طبيعة عمل كل فئة، إحداها موجهة للفنيين والآخرى للمشرفين والمديرين، باستخدام مقياس ليكرت الخماسي لقياس الاتجاهات والتصورات بدقة. وتم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة لاختبار الفرضيات والتأكد من صدق وثبات أدوات القياس.

وقد كان توزيع العينة حسب الخصائص الديموغرافية كما هو موضح أدناه:

جدول (١): توزيع العينة (الفنيين): البيانات الديموغرافية (ن = ٩٦)

م	المتغير	العبارة	العدد	النسبة المئوية
١	العمر	أقل من ٣٠	٣٨	٣٩,٦
		٣٠-٤٠	٤٤	٤٥,٨
		٤١-٥٠	٨	٨,٣
		أكثر من ٥٠	٦	٦,٣
		المجموع	٩٦	١٠٠,٠
٢	سنوات الخبرة الفنية	أقل من ٥	٢٩	٣٠,٢
		٥-١٠	٣١	٣٢,٣
		١١-١٥	١٧	١٧,٧
		أكثر من ١٥	١٩	١٩,٨
		المجموع	٩٦	١٠٠,٠
٣	القسم الفني	تكييف وتبريد	٥٧	٥٩,٤
		كهرباء	١٣	١٣,٥
		ميكانيكا	١١	١١,٥
		تحكم	١٥	١٥,٦
		المجموع	٩٦	١٠٠,٠

يُظهر الجدول رقم (١) الخصائص الديموغرافية لعينة الفنيين المشاركين في الدراسة، والبالغ عددهم (٩٦) فنيًا من مختلف أقسام الصيانة في مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة. وقد تم توزيعهم وفق ثلاثة متغيرات رئيسية هي: العمر، وسنوات الخبرة الفنية، والقسم الفني.

أولاً: فئة العمر

يتضح من الجدول أن الفئة العمرية (٣٠-٤٠) هي الأكثر تمثيلاً بين الفنيين، حيث بلغت نسبتهم (٤٥,٨٪)، تليها الفئة الأقل من ٣٠ سنة بنسبة (٣٩,٦٪). بينما شكلت الفئة العمرية (٤١-٥٠) نسبة (٨,٣٪)، والفئة أكثر من ٥٠ سنة بنسبة (٦,٣٪) من إجمالي العينة.

ويشير هذا التوزيع إلى أن غالبية الفنيين المشاركين من الفئة الشابة والمتوسطة عمراً، وهي الفئة الأكثر تفاعلاً مع التقنيات الحديثة ولديها استعداد أعلى لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجال الصيانة.

ثانياً: سنوات الخبرة الفنية

يتضح أن أكثر من ثلث الفنيين تقريباً (٣٢,٣٪) لديهم خبرة تتراوح بين ٥ إلى ١٠ سنوات، تليها فئة أقل من ٥ سنوات بنسبة (٣٠,٢٪)، في حين بلغت نسبة ذوي الخبرة (١١-١٥) سنة حوالي (١٧,٧٪)، وذوي الخبرة أكثر من ١٥ سنة نحو (١٩,٨٪).

ويُظهر هذا التوزيع أن غالبية الفنيين يمتلكون خبرة عملية متوسطة، ما يجعلهم أكثر قدرة على المقارنة بين أساليب الصيانة التقليدية والتقنيات الذكية المقترحة في الدراسة، كما يعكس وجود توازن جيد بين الخبرات الحديثة والمخضرة داخل مجتمع الصيانة في المطار.

ثالثاً: القسم الفني

تُشير البيانات إلى أن قسم التكييف والتبريد يُمثل النسبة الأكبر من الفنيين بنسبة (٥٩,٤٪) من إجمالي العينة، وهو أمر منطقي بالنظر إلى تركيز الدراسة على أنظمة HVAC. بينما بلغ تمثيل فنيي التحكم نسبة (١٥,٦٪)، وفنيي الكهرباء (١٣,٥٪)، أما فنيو الميكانيكا فبلغت نسبتهم (١١,٥٪). ويبرز هذا التوزيع أن العينة كانت متوازنة ومتنوعة فنياً، مع تمثيل قوي للقسم المستهدف في الدراسة (أنظمة التكييف والتبريد)، ما يُعزّز صدق نتائج الدراسة وملاءمتها لأهداف البحث.

بوجه عام، يُظهر الجدول أن عينة الفنيين تتكوّن من مجموعة مهنية متنوعة من حيث العمر والخبرة والتخصص الفني، مع هيمنة الفئة الشابة وذوي الخبرة المتوسطة، وهو ما يدعم افتراض الدراسة القائل بأن هؤلاء الفنيين لديهم استعداد إدراكي وعملي لتبني أنظمة الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، ويجعل نتائج الدراسة أكثر موثوقية وتمثيلاً للواقع التشغيلي في بيئة مطار الملك عبدالعزيز الدولي.

جدول (٢): توزيع العينة (المشرفين/ المديرين): البيانات الديموغرافية (ن = ٥٧)

م	المتغير	العبارة	العدد	النسبة المئوية
١	المستوى الوظيفي	مدير إدارة	٨	١٤,٠
		مشرف صيانة	٢٨	٤٩,١
		مسؤول تشغيل	٢١	٣٦,٨
		المجموع	٥٧	١٠٠,٠
٢	سنوات الخبرة الإدارية	أقل من ٥	٢٥	٤٣,٩
		١٠-٥	١٤	٢٤,٦
		١٥-١١	١٠	١٧,٥
		أكثر من ١٥	٨	١٤,٠
		المجموع	٥٧	١٠٠,٠
٣	المؤهل العلمي	دبلوم	١٥	٢٦,٣
		بكالوريوس	٤١	٧١,٩
		ماجستير	١	١,٨
		دكتوراه	٠	٠,٠
		المجموع	٥٧	١٠٠,٠

يُوضح الجدول رقم (٢) الخصائص الديموغرافية لعينة المشرفين والمديرين المشاركين في الدراسة، والبالغ عددهم (٥٧) فرداً من الكوادر الإدارية في إدارة الصيانة والتشغيل بمطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة. وقد تم توزيعهم بحسب المستوى الوظيفي، وسنوات الخبرة الإدارية، والمؤهل العلمي.

أولاً: المستوى الوظيفي

يُظهر الجدول أن فئة مشرفي الصيانة هي الأكثر تمثيلاً في العينة، إذ بلغت نسبتهم (٤٩,١٪) من إجمالي المشاركين، تليها فئة مسؤولي التشغيل بنسبة (36.8٪)، في حين شكّل مديرو الإدارات نسبة (١٤,٠٪) فقط.

ويُعزى ذلك إلى أن مشرفي الصيانة ومسؤولي التشغيل يشكّلون النسبة الأكبر من الهيكل الإداري المتوسط في إدارة الصيانة، وهم الفئة الأقرب ميدانياً إلى العمليات اليومية التي تتعلق بتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في أنظمة التكيف.

ويُعد هذا التوزيع إيجابياً لأنه يعكس تمثيلاً واسعاً للكوادر التنفيذية والإشرافية، مما يُعزز موثوقية النتائج عند تحليل تصورات العاملين الإداريين تجاه تبني التقنيات الذكية.

ثانياً: سنوات الخبرة الإدارية

يتضح أن الفئة الأكثر تمثيلاً هي من لديهم خبرة أقل من ٥ سنوات بنسبة (٤٣,٩٪)، تليها فئة ذوي الخبرة من ٥ إلى ١٠ سنوات بنسبة (٢٤,٦٪)، ثم من ١١ إلى ١٥ سنة بنسبة (١٧,٥٪)، وأخيراً فئة أكثر من ١٥ سنة بنسبة (١٤,٠٪). ويشير هذا التوزيع إلى أن أغلب المشرفين والمديرين المشاركين من الجيل الإداري الحديث نسبياً، ما يدل على توجه إداري شاب ومتجدد أكثر تقبلاً لمفاهيم التحول الرقمي والذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة. كما أن وجود نسبة جيدة من ذوي الخبرة الطويلة يُحقق توازناً معرفياً بين الخبرة العملية والرؤية الحديثة.

ثالثاً: المؤهل العلمي

تشير البيانات إلى أن الغالبية العظمى من أفراد العينة يحملون درجة البكالوريوس بنسبة (٧١,٩٪)، يليهم الحاصلون على الدبلوم بنسبة (٢٦,٣٪)، بينما لم تتجاوز نسبة حملة الماجستير (١,٨٪)، ولم تُسجّل أي نسبة لحملة الدكتوراه.

ويبرز هذا التوزيع أن معظم المشاركين يمتلكون مؤهلات علمية مناسبة لطبيعة عملهم في الصيانة والإدارة التقنية، مما يعكس مستوى معرفي يؤهلهم لفهم أساسيات تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجال عملهم.

كما أن محدودية حملة الدراسات العليا لا تُعد سلبية نظراً لطبيعة التخصص التطبيقي والعملية الذي تتطلبه مهام التشغيل والصيانة في بيئة المطار.

وبشكل عام، يُظهر تحليل الجدول أن عينة المشرفين والمديرين تمتاز بتنوع إداري من حيث المستوى الوظيفي والخبرة والمؤهل العلمي، مما يتيح تنوعاً في وجهات النظر الإدارية حول تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.

كما يُعطي هذا التوزيع مصداقية للدراسة، إذ يشمل مختلف مستويات الإدارة التشغيلية، الأمر الذي يُساعد على بناء تصور شامل حول العوامل التنظيمية والإدارية التي قد تؤثر على تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية داخل بيئة مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة.

أدوات الدراسة:

تتكون أدوات البحث من استبيانين إلكترونيين منفصلين على النحو التالي:

• الاستبيان الأول (الفنيين):

- يشمل أسئلة تتعلق بالبيانات الديموغرافية (مثل العمر، سنوات الخبرة، والقسم الفني).
- مقاييس تقيس إدراك الفنيين للمنفعة المتوقعة وسهولة الاستخدام لأنظمة الصيانة التنبؤية.
- أسئلة حول استعدادهم لتغيير أساليب العمل، والانخراط في برامج التدريب، وتوقعاتهم للأثر المتوقع، واستعدادهم للمشاركة الفعلية.
- فقرات لقياس التحديات المحتملة في بيئة العمل الميدانية.

• الاستبيان الثاني (المشرفين والمديرين):

- أسئلة ديموغرافية خاصة بالمشرفين والمديرين (مثل سنوات الخبرة الإدارية، والمستوى الوظيفي).
- مقاييس تقيس تصورات المشرفين والمديرين عن الأثر الاستراتيجي لتطبيق الذكاء الاصطناعي.
- مقاييس لمدى تقبل التحول الرقمي، وتقدير كفاءة رأس المال البشري، ودورهم في دعم المشاركة الفعلية والتدريب.
- أسئلة تستطلع خططهم للإشراف على تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي PdM في الأقسام الفنية.

تم بناء بنود الاستبانتين بالاستناد إلى الأدبيات السابقة مثل (Davis (1989 لنموذج TAM، و (Abdelalim et al. (2025 و (Sanzana et al. (2022 لنموذج PdM، مع تطبيق اختبار الصدق والثبات (Pilot Study) قبل التطبيق النهائي.

صدق أداة الدراسة:

أولاً: الصدق الظاهري لأداة الدراسة (صدق المحكمين)

للتأكد من الصدق الظاهري لأداة الدراسة (الاستبيانين)، تم عرضهما في صورتها الأولية على مجموعة من المحكمين المتخصصين في مجالات إدارة أنظمة الصيانة، والذكاء الاصطناعي، والمناهج والقياس التربوي. وقد طُلب من المحكمين إبداء آرائهم حول مدى وضوح العبارات، ودقتها، وشمولها لمجالات الدراسة، وملاءمتها لقياس المتغيرات المحددة وهي: الاستعداد لتغيير أساليب العمل التقليدية، والاستعداد للتدريب على التقنيات الحديثة، والتوقعات الايجابية للأثر تجاه الأثر المتوقع، والمشاركة الفعلية في إنجاح مبادرات التحول الرقمي.

وبناءً على ملاحظات المحكمين، تم إجراء عدد من التعديلات اللغوية والمضمونية على بعض العبارات لتكون أكثر تحديداً ووضوحاً، كما تم دمج عدد من البنود المتقاربة في المعنى وتقليص حجم الأداة إلى (١٣) بنداً نهائياً (استبيان الفنيين) و (١٦) بنداً (استبيان المشرفين والمديرين)، موزعة على محاورها الرئيسية.

وقد أجمع المحكمون على أن فقرات الاستبيانين تمثل بصورة مناسبة محتوى الظاهرة المدروسة، وتعكس بدقة أبعاد الإطار النظري للدراسة (نموذج تبني التكنولوجيا، ونظرية الصيانة التنبؤية)، مما يؤكد تحقق الصدق الظاهري لأداة القياس قبل تطبيقها الميداني.

ثانياً: صدق الاتساق الداخلي لمحاور الدراسة (Internal Validity)

تم قياس صدق الاتساق الداخلي لأداة الدراسة باستخدام معامل ارتباط بيرسون لكل محور، وذلك من خلال حساب الارتباط بين كل عبارة والدرجة الكلية للمحور التابع له، وذلك من خلال تطبيقها على عينة الدراسة البالغ عددها ٩٦ من الفنيين و ٥٧ من المشرفين والمديرين العاملين في إدارة أنظمة الصيانة والتشغيل بمطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة. يوضح الجدول أدناه النتائج:

جدول (٣): صدق الاتساق الداخلي لمحاور الدراسة (الفنيين) (ن = ٩٦)

أولاً – تقبل تغيير أساليب العمل		ثانياً – الاستعداد للتدريب		ثالثاً – التوقعات الايجابية للأثر		رابعاً – المشاركة الفعلية		خامساً – التحديات الميدانية	
معامل الارتباط	رقم العبارة	معامل الارتباط	رقم العبارة	معامل الارتباط	رقم العبارة	معامل الارتباط	رقم العبارة	معامل الارتباط	رقم العبارة
**٠,٩١٤	١	**٠,٩٥٣	١	**٠,٩٤٢	١	**٠,٩١٦	١	**٠,٩١٠	١
**٠,٨٦٨	٢	**٠,٩٤٣	٢	**٠,٩٤٤	٢	**٠,٩١٨	٢	**٠,٨٩٦	٢

** : دال عند ٠,٠١

** : دال عند ٠,٠٥

جدول (٤): صدق الاتساق الداخلي لمحاور الدراسة (المشرفين/ المديرين) (ن = ٥٧)

أولاً – تقبل التحول الرقمي		ثانياً – الاستعداد لدعم التدريب		ثالثاً – التوقعات الايجابية للأثر		رابعاً – دور المدير في المشاركة الفعلية		خامساً – التحديات الإدارية	
معامل الارتباط	رقم العبارة	معامل الارتباط	رقم العبارة	معامل الارتباط	رقم العبارة	معامل الارتباط	رقم العبارة	معامل الارتباط	رقم العبارة
**٠,٩٦٠	١	**٠,٩٨٧	١	**٠,٩١٨	١	**٠,٩٨٤	١	**٠,٩٥٦	١
**٠,٩٦٠	٢	**٠,٩٨٨	٢	**٠,٩٣٢	٢	**٠,٩٨٥	٢	**٠,٩٤٣	٢
				**٠,٩٤٤	٣				
				**٠,٩٤١	٤				
				**٠,٩٥١	٥				

** : دال عند ٠,٠١

** : دال عند ٠,٠٥

تشير النتائج الكلية للجدول (٣) و(٤) إلى أن جميع معاملات الارتباط كانت دالة إحصائياً عند مستوى ٠,٠١، مما يدل على أن كل محور من محاور الاستبيان يتمتع بدرجة عالية من الصدق الداخلي، وأن فقرات الاستبانتين (للفنيين والمديرين) مترابطة ومتماسكة في قياس المفاهيم النظرية للدراسة. وبناءً على ذلك، يمكن القول إن أداة البحث تُعد صالحة إحصائياً لقياس المتغيرات المستقلة والتابعة ضمن نموذج الدراسة المقترح، بما يتيح تحليل العلاقات بين تبني الذكاء الاصطناعي وكفاءة إدارة الصيانة وخفض التكاليف بدقة وموضوعية.

ثبات الاستبانة (Reliability):

تم قياس ثبات أداة البحث باستخدام معامل كرونباخ ألفا (Cronbach's Alpha)، حيث يُعتبر المقياس مستقرًا إذا كان معامل الثبات أكبر من ٠,٧، وهو الحد المقبول عمومًا في الدراسات الاجتماعية. وجاءت نتائج الاختبار كما يلي:

جدول (٥): معاملات الثبات ألفا كرونباخ لمحاور الاستبانة (الفنيين) (ن = ٩٦)

المحور	عدد العبارات	معامل ثبات ألفا كرونباخ
أولاً – تقبل تغيير أساليب العمل	٢	٠,٧٣٤
ثانياً – الاستعداد للتدريب	٢	٠,٨٨٥
ثالثاً – التوقعات الايجابية للأثر	٢	٠,٨٧٥
رابعاً – المشاركة الفعلية	٢	٠,٨١١
خامساً – التحديات الميدانية	٢	٠,٧٧٤
الأداة ككل	١٠	٠,٩٣٤

جدول (٦): معاملات الثبات ألفا كرونباخ لمحاور الاستبانة (المشرفين/ المديرين) (ن = ٥٧)

المحور	عدد العبارات	معامل ثبات ألفا كرونباخ
أولاً – تقبّل التحول الرقمي	٢	٠,٩١٥
ثانياً – الاستعداد لدعم التدريب	٢	٠,٩٧٤
ثالثاً – التوقعات الايجابية للأثر	٥	٠,٩٦٥
رابعاً – دور المدير في المشاركة الفعلية	٢	٠,٩٦٨
خامساً – التحديات الإدارية	٢	٠,٨٨٧
الأداة ككل	١٣	٠,٩٨١

تشير نتائج الجداول (٥) و(٦) إلى أن جميع معاملات الثبات تجاوزت الحد الأدنى المقبول (٠,٧٠) ووصلت إلى مستويات عالية جداً، مما يؤكد أن الاستبيانين يتمتعان بدرجة ممتازة من الثبات والاتساق الداخلي.

وبالتالي، يمكن الاعتماد عليهما كأداتين موثوقيتين لقياس المتغيرات البحثية الخاصة بـ:

- تقبّل وتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.
- تحسين كفاءة الصيانة وخفض التكاليف.

كما تدعم هذه النتائج صلاحية الأداة لاستخدامها في التحليل الإحصائي اللاحق واختبار فرضيات الدراسة بدقة علمية عالية.

مقياس التصحيح:

تم اعتماد مقياس ليكرت الخماسي لتقييم الإجابات على الأسئلة، لتحديد طول الخلية الصحيح تم قسمة الفارق بين الحدود (٥ - ١ = ٤) على عدد خلايا المقياس (٤ ÷ ٥ = ٠,٨). بعد ذلك تم إضافة هذه القيمة إلى أقل قيمة في المقياس وهي الواحد لتحديد الحد العلوي لهذه الخلية، وهكذا يتضح طول الخلايا كما هو مبين في الجدول التالي:

جدول (٧): أوزان الإجابات حسب المقياس الخماسي لكلا الاستبيانين

قيمة المتوسط الحسابي	النتيجة (الاتجاه العام)	الوزن النسبي %	مستوى (درجة) الممارسة/الاهمية
من ١ إلى أقل من ١,٨٠	غير موافق بشدة	من ٢٠٪ إلى أقل من ٣٦٪	منخفضة جداً
من ١,٨٠ إلى أقل من ٢,٦٠	غير موافق	من ٣٦٪ إلى أقل من ٥٢٪	منخفضة
من ٢,٦٠ إلى أقل من ٣,٤٠	محايد	من ٥٢٪ إلى أقل من ٦٨٪	متوسطة
من ٣,٤٠ إلى أقل من ٤,٢٠	موافق	من ٦٨٪ إلى أقل من ٨٤٪	مرتفعة
من ٤,٢٠ إلى ٥	موافق بشدة	من ٨٤٪ إلى ١٠٠٪	مرتفعة جداً

المعالجة والأدوات الإحصائية المستخدمة:

اعتمدت الدراسة على برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (IBM SPSS v.25) بوصفه الأداة الرئيسية لتحليل البيانات الميدانية المستخلصة من استبائي الفنيين والمديرين، وذلك بهدف التحقق من فرضيات البحث والإجابة عن تساؤلاته.

وقد استخدمت الدراسة مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية التي تتلاءم مع طبيعة البيانات والمنهج الوصفي التحليلي المستخدم، وذلك على النحو الآتي:

١. التحليل الوصفي (Descriptive Analysis)

تم استخدام التكرارات والنسب المئوية لوصف الخصائص الديموغرافية للمشاركين من الفنيين والمديرين (العمر، وسنوات الخبرة، والمستوى الوظيفي، والمؤهل العلمي، والقسم الفني)، لتكوين صورة شاملة عن خصائص مجتمع الدراسة. كما تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والأوزان النسبية لتحليل محاور الدراسة، وهي: تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة، وكفاءة إدارة الصيانة، وخفض تكاليف الصيانة، وذلك لتحديد مستوى كل محور واتجاهات استجابات العينة في ضوء مقياس ليكرت الخماسي.

٢. اختبار الصدق الداخلي (Internal Consistency Validity)

تم استخدام معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient) للتحقق من الاتساق الداخلي بين فقرات كل محور من محاور الاستبيان ومدى ارتباطها بالمتغير الكلي، وذلك لضمان صدق الأداة وقدرتها على قياس المفاهيم المقصودة بدقة.

٣. اختبار الثبات (Reliability Test)

تم حساب معامل كرونباخ ألفا (Cronbach's Alpha) لقياس درجة الثبات الداخلي لأداة الدراسة، والتأكد من اتساق إجابات المشاركين على فقرات كل محور من محاور الاستبيان. وقد اعتُمدت القيمة المعيارية (٠,٧٠) كحد أدنى لقبول الثبات، مما يعكس موثوقية الأداة في قياس المتغيرات البحثية.

٤. تحليل العلاقات بين المتغيرات (Inferential Analysis)

تم استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية الاستدلالية لتفسير العلاقات بين المتغيرات، على النحو الآتي:

اختبار تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) لقياس الفروق ذات الدلالة الإحصائية بين استجابات الفنيين والمديرين تبعًا للمتغيرات الديموغرافية (الخبرة، المؤهل، القسم الفني).

كما تمت مقارنة النتائج الإحصائية الحالية بنتائج الدراسات السابقة ذات الصلة بتطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة التنبؤية، بهدف تحديد أوجه التشابه والاختلاف في مستوى التنبؤ والأثر الإداري والفني لهذه التقنيات في بيئات العمل المشابهة، خصوصًا في قطاع النقل والمطارات.

ولقد مكنت هذه الإجراءات الإحصائية من تحليل العلاقة بين تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة وخفض تكاليفها، والتحقق من صدق الأدلة وثباتها، وصولًا إلى نتائج دقيقة وموضوعية تسهم في بناء تصور علمي واضح حول إمكانية تطبيق الصيانة التنبؤية الذكية في مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة.

الفصل الرابع

تحليل البيانات والنتائج والتوصيات والمقترحات

المقدمة:

يهدف هذا الفصل إلى تقديم تحليل شامل للبيانات المستمدة من استبيانات الفنيين والمشرفين والمديرين في مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة، بغرض استكشاف تصورات العاملين حول إمكانية توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف. يتضمن الفصل عرضاً مفصلاً للنتائج وفق المحاور الرئيسية للدراسة، والتي تشمل: تقبل تغيير أساليب العمل، والاستعداد للتدريب، والتوقعات الايجابية للأثر لاستخدام التقنية، والمشاركة الفعلية، والتحديات الميدانية، ودور القيادة والإدارة في دعم التحول الرقمي، بالإضافة إلى التحديات الإدارية المرتبطة بتبني هذه التقنيات.

يعتمد التحليل على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم استخدام المتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية، والوزن النسبي، والرتب، ومستوى النتائج لتفسير مواقف الأفراد نحو الذكاء الاصطناعي. كما تم اختبار الفرضيات الرئيسية والفرعية باستخدام تحليل التباين (ANOVA) لتحديد العلاقة بين المتغيرات المختلفة ومدى تأثيرها على استعداد الأفراد لتبني واستخدام التقنيات الذكية في الصيانة.

يهدف الفصل كذلك إلى تقديم تفسير متكامل للنتائج، ومناقشة دلالاتها العملية، واستعراض الفروق بين تصورات الفنيين والمشرفين والمديرين، مع تحديد المحاور التي تتطلب تدخلات عملية لتعزيز نجاح تطبيق الذكاء الاصطناعي. وفي نهاية الفصل، سيتم تقديم توصيات ومقترحات عملية واستراتيجية مبنية على النتائج المستخلصة، بما يساهم في تحقيق التحول الرقمي الفعال في صيانة أنظمة التكييف وتعزيز الكفاءة التشغيلية للمؤسسة.

تحليل البيانات الخاصة باستبانة الفنيين:

أولاً: محور تقبل تغيير أساليب العمل

تم تحليل المتغير الأول الخاص بأداة الدراسة عن طريق حساب المتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية، والنتيجة، والوزن النسبي، والمستوى والرتبة لكل عبارة من عبارات متغير تقبل تغيير أساليب العمل كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (٨): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمحور تقبل تغيير أساليب العمل (ن = ٩٦)

م	أولاً – تقبل تغيير أساليب العمل	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	أجد أن الصيانة التنبؤية باستخدام الذكاء الاصطناعي أكثر فاعلية من الأساليب التقليدية.	٤,٠١	١,٠٨	موافق	٨٠,٢٠	مرتفعة	٢
٢	لا أمانع التحول من الصيانة اليدوية إلى الصيانة الذكية إذا توفرت الأدوات المناسبة.	٤,١٩	٠,٨٩	موافق	٨٣,٨٠	مرتفعة	١
	الدرجة الكلية	٤,١٠	٠,٨٨	موافق	٨٢,٠٠	مرتفعة	

تشير بيانات الجدول رقم (٨) أن المتوسط الحسابي العام لمحور تقبل تغيير أساليب العمل بلغ (٤,١٠) بانحراف معياري قدره (٠,٨٨) ووزن نسبي (٨٢,٠٠٪)، وهو ما يشير إلى مستوى مرتفع من تقبل الفنيين للتحوّل من أساليب الصيانة التقليدية إلى أساليب الصيانة الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي. ويعكس ذلك استعدادًا إيجابيًا لدى أفراد العينة للتكيف مع المتغيرات الرقمية وتبني الأنظمة الحديثة، خصوصًا في بيئة تشغيلية حسّاسة مثل صيانة أنظمة التكييف في المطارات.

وبتحليل العبارات الفرعية للمحور ذاته، يتبين أن أعلى متوسط حسابي تحقق للعبارة الثانية: "لا أمانع التحول من الصيانة اليدوية إلى الصيانة الذكية إذا توفرت الأدوات المناسبة"، حيث بلغ المتوسط (٤,١٩) بانحراف معياري قدره (٠,٨٩) ووزن نسبي (٨٣,٨٠٪)، ما يعكس مستوى مرتفعًا جدًا من القبول يشير إلى استعداد عملي لدى الفنيين لتبني الصيانة الذكية بشرط توفير الأدوات والبيئة المناسبة.

تلتها في المرتبة الثانية العبارة الأولى: "أجد أن الصيانة التنبؤية باستخدام الذكاء الاصطناعي أكثر فاعلية من الأساليب التقليدية" بمتوسط حسابي (٤,٠١) وانحراف معياري (١,٠٨) ووزن نسبي (٨٠,٢٠٪)، وهو ما يدل على اقتناع واضح بفاعلية الصيانة التنبؤية، رغم وجود تباين نسبي في درجة القناعة بين المشاركين مقارنة بالعبارة السابقة.

وبشكل عام، تُظهر النتائج أن الفنيين يمتلكون رؤية إيجابية نحو التحول الرقمي في أنظمة الصيانة، ويقدرّون الفوائد التشغيلية التي توفرها الصيانة التنبؤية باستخدام الذكاء الاصطناعي. إلا أن هذه النتائج تؤكد أيضًا أن توفير أدوات وتقنيات العمل المناسبة يُعدّ عاملاً حاسماً لنجاح الانتقال نحو الصيانة الذكية، ما يستلزم دعمًا مؤسسيًا في البنية التقنية والتدريب لضمان التطبيق الفعّال لهذه الأنظمة.

ثانيًا: محور الاستعداد للتدريب

جدول (٩): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير الاستعداد للتدريب (ن = ٩٦)

م	ثانيًا – الاستعداد للتدريب	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	لدي استعداد لحضور برامج تدريبية حول استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي.	٤,٤٤	٠,٩٢	موافق بشدة	٨٨,٨٠	مرتفعة جدا	١
٢	التدريب على أدوات الذكاء الاصطناعي سيساعدني في أداء عملي بشكل أفضل.	٤,٤٠	٠,٨٣	موافق بشدة	٨٨,٠٠	مرتفعة جدا	٢
	الدرجة الكلية	٤,٤٢	٠,٨٣	موافق بشدة	٨٨,٤٠	مرتفعة جدا	

في ضوء البيانات الواردة في الجدول رقم (٩) الخاص بمحور الاستعداد للتدريب، يتضح أن المتوسط الحسابي العام لهذا المحور بلغ (٤,٤٢) بانحراف معياري قدره (٠,٨٣) ووزن نسبي (٨٨,٤٠٪)، ما يشير إلى مستوى مرتفع جدًا من الاستعداد لدى الفنيين للمشاركة في برامج تدريبية

مرتبطة بتقنيات الذكاء الاصطناعي. ويدل ذلك على وجود توجه إيجابي قوي نحو تطوير المهارات الفنية والتقنية، بما يعزز إمكانات العمل في بيئات الصيانة الذكية.

وبتحليل العبارات الفرعية، يظهر أن أعلى متوسط حسابي تحقق للعبارة الأولى: "الذي استعداد لحضور برامج تدريبية حول استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي"، بمتوسط (٤,٤٤) وانحراف معياري (٠,٩٢) ووزن نسبي (٨٨,٨٠٪)، الأمر الذي يعكس رغبة قوية جدًا لدى الفنيين في اكتساب مهارات جديدة مرتبطة بالذكاء الاصطناعي، حتى لو كانت تتطلب جهدًا إضافيًا أو تغييرًا في نمط الأداء المعتاد.

وتأتي العبارة الثانية في المرتبة التالية مباشرة بمتوسط (٤,٤٠) وانحراف معياري (٠,٨٣) ووزن نسبي (٨٨,٠٠٪)، والتي تنص على: "التدريب على أدوات الذكاء الاصطناعي سيساعدني في أداء عملي بشكل أفضل"، حيث تشير نتائجها إلى قناعة قوية لدى الفنيين بأن التدريب لن يكون مجرد تطوير معرفي، بل سيكون له أثر مباشر في تحسين جودة الأداء ورفع الكفاءة التشغيلية داخل بيئات العمل.

وبشكل عام، تؤكد هذه النتائج أن الفنيين لا يكتفون بتقبل التغيير في أساليب الصيانة فحسب، بل لديهم استعداد فعلي لتطوير مهاراتهم بشكل استباقي من خلال التدريب على أدوات وتقنيات الذكاء الاصطناعي، بما يعزز فرص نجاح التحول نحو بيئات الصيانة التنبؤية والذكية في المؤسسات الصناعية.

ثالثًا: محور التوقعات الايجابية للأثر

جدول (١٠): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير التوقعات الايجابية للأثر (ن = ٩٦)

م	ثالثًا – التوقعات الايجابية للأثر	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	أعتقد أن استخدام الذكاء الاصطناعي سيقبل من أعطال أنظمة التكييف.	٤,٢٠	١,٠١	موافق	٨٤,٠٠	مرتفعة جدا	١
٢	تطبيق الذكاء الاصطناعي سيسهم في خفض تكاليف الصيانة التشغيلية.	٤,١٠	١,٠٣	موافق	٨٢,٠٠	مرتفعة	٢
	الدرجة الكلية	٤,١٥	٠,٩٦	موافق	٨٣,٠٠	مرتفعة	

تشير البيانات الواردة في الجدول رقم (١٠) الخاص بمحور التوقعات الايجابية للأثر، أن المتوسط الحسابي العام لهذا المحور بلغ (٤,١٥) بانحراف معياري (٠,٩٦) ووزن نسبي (٨٣,٠٠٪)، وهو ما يشير إلى مستوى مرتفع من التوقعات الايجابية للأثر لدى الفنيين تجاه تطبيق الذكاء الاصطناعي في عمليات الصيانة، وبشكل خاص في مجال أنظمة التكييف. وتعكس هذه النتيجة قناعة فنية بأن التحول نحو الصيانة الذكية لا يُعد مجرد تغيير تقني، بل يمثل فرصة ملموسة لتحسين الأداء التشغيلي وتقليل التكاليف.

وبتحليل العبارات الفرعية، يتضح أن أعلى متوسط حسابي تحقق للعبارة الأولى: "أعتقد أن استخدام الذكاء الاصطناعي سيقول من أعطال أنظمة التكييف"، بمتوسط (٤,٢٠) وانحراف معياري (١,٠١) ووزن نسبي (٨٤,٠٠٪)، مما يدل على قناعة قوية جدًا لدى الفنيين بقدرة تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتحديدًا الصيانة التنبؤية، على تقليل الأعطال وتحسين كفاءة أداء أنظمة التكييف. وتعكس هذه النتيجة تقديرًا عمليًا لأهمية الذكاء الاصطناعي في تعزيز موثوقية الأجهزة وتقليل وقت التعطل.

وتليها العبارة الثانية في المرتبة الثانية بمتوسط (٤,١٠) وانحراف معياري (١,٠٣) ووزن نسبي (٨٢,٠٠٪)، وتتص على: "تطبيق الذكاء الاصطناعي سيُسهم في خفض تكاليف الصيانة التشغيلية"، حيث تشير هذه النتيجة إلى اتفاق واسع بين الفنيين على أن الصيانة الذكية ستسهم في تقليل التكلفة الإجمالية للصيانة من خلال الحد من الأعطال المفاجئة، وتقليل الحاجة إلى التدخلات الإصلاحية المتكررة، وتعزيز القدرة على التخطيط التشغيلي.

وبشكل عام، تؤكد هذه النتائج أن الفنيين لا يرون الذكاء الاصطناعي مجرد أداة تقنية جديدة، بل يعبرون عن توقعات إيجابية واضحة تجاه مكاسبه الاقتصادية والتشغيلية، وخاصة فيما يتعلق بتحسين موثوقية أنظمة التكييف وخفض تكاليف الصيانة. وهو ما يعزز توجه المؤسسات الصناعية نحو الاستثمار في تطبيقات الصيانة الذكية كخيار استراتيجي لرفع الكفاءة وتقليل النفقات.

رابعاً: محور المشاركة الفعلية

جدول (١١): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير المشاركة الفعلية (ن = ٩٦)

م	رابعاً – المشاركة الفعلية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	أرغب في المشاركة ببرامج التحول الرقمي للصيانة.	٤,٣٥	٨٣,٠	موافق بشدة	٨٧,٠٠	مرتفعة جداً	١
٢	أستطيع المساهمة في إنجاح مشروع تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة.	٤,٢٨	٨٤,٠	موافق بشدة	٨٥,٦٠	مرتفعة جداً	٢
	الدرجة الكلية	٤,٣٢	٠,٧٧	موافق بشدة	٨٦,٤٠	مرتفعة جداً	

في ضوء البيانات الواردة في الجدول رقم (١١) الخاص بمحور المشاركة الفعلية، يتضح أن المتوسط الحسابي العام لهذا المحور بلغ (٤,٣٢) بانحراف معياري (٠,٧٧) ووزن نسبي (٨٦,٤٠٪)، وهو ما يشير إلى مستوى مرتفع جداً من الاستعداد للمشاركة الفعلية في مبادرات التحول نحو الصيانة الذكية. وتعكس هذه النتيجة أن الفنيين لا يكتفون بتبني الأفكار أو إبداء استعداد للتدريب فحسب، بل يعبرون عن رغبة واضحة في الانخراط العملي والمباشر في تنفيذ مشاريع الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.

وبتحليل العبارات الفرعية، يتبين أن أعلى متوسط حسابي تحقق للعبارة الأولى: "أرغب في المشاركة ببرامج التحول الرقمي للصيانة"، بمتوسط (٤,٣٥) وانحراف معياري (٠,٨٣) ووزن نسبي (٨٧,٠٠٪)، مما يدل على رغبة قوية جدًا لدى الفنيين في الانضمام إلى المبادرات والمشاريع المرتبطة بالتحول الرقمي داخل بيئات العمل. ويشير ذلك إلى توجه إيجابي نحو الانخراط في جهود التطوير التقني وليس مجرد قبولها نظريًا.

وتأتي العبارة الثانية في المرتبة الثانية بمتوسط (٤,٢٨) وانحراف معياري (٠,٨٤) ووزن نسبي (٨٥,٦٪)، وتنص على: "أستطيع المساهمة في إنجاح مشروع تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة"، حيث تعكس هذه النتيجة إحساسًا عاليًا بالقدرة الذاتية والمهنية لدى الفنيين للمساهمة في إنجاح تنفيذ أنظمة الصيانة الذكية، وهو مؤشر على وجود ثقة فنية جيدة في الإمكانيات الشخصية والخبرات العملية التي يمكن توظيفها لدعم التحول الرقمي.

وبشكل عام، تظهر هذه النتائج أن الفنيين يمتلكون مستوى عاليًا من الاستعداد للتطبيق العملي للذكاء الاصطناعي في الصيانة، سواء من خلال المشاركة في البرامج التدريبية أو بالمساهمة المباشرة في تنفيذ المشاريع. وهو ما يعزز فرص نجاح التحول نحو الصيانة الذكية داخل المؤسسات الصناعية، خاصة إذا ما تم توفير الدعم التنظيمي والتقني المناسب الذي يمكّن الفنيين من ممارسة دورهم الفعّال في هذا التحول.

خامسا: محور التحديات الميدانية

جدول (١٢): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير التحديات الميدانية (ن = ٩٦)

الرتبة	المستوى	الوزن النسبي %	النتيجة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	خامساً – التحديات الميدانية
٢	مرتفعة	٨١,٠	موافق	١,٠٤	٤,٠٥	أرى أن ضعف البنية التحتية التقنية يمثل عائقاً أمام تطبيق الذكاء الاصطناعي.
١	مرتفعة جداً	٨٥,٦٠	موافق بشدة	٩٧,٠	٤,٢٨	نقص الكوادر الفنية المؤهلة قد يعيق نجاح الصيانة التنبؤية.
	مرتفعة	٨٣,٤٠	موافق	٠,٩١	٤,١٧	الدرجة الكلية

يتضح من الجدول رقم (١٢) الخاص بمحور التحديات الميدانية أن المتوسط الحسابي العام بلغ (٤,١٧) بانحراف معياري (٠,٩١) ووزن نسبي (٨٣,٤٠٪)، وهو ما يشير إلى مستوى مرتفع من إدراك الفنيين لوجود تحديات ميدانية قد تعيق تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي في الصيانة. وتكشف هذه النتائج أن تبني الصيانة التنبؤية لا يعتمد فقط على استعداد الأفراد أو رغبتهم، وإنما يتطلب توفير بيئة تنظيمية وتقنية مؤهلة لتطبيق هذا التحول.

وبتحليل العبارات الفرعية، يتبين أن أعلى متوسط حسابي تحقق للعبارة الثانية: "نقص الكوادر الفنية المؤهلة قد يعيق نجاح الصيانة التنبؤية"، حيث بلغ المتوسط (٤,٢٨) بانحراف معياري (٠,٩٧) ووزن نسبي (٨٥,٦٠٪)، مما يدل على إدراك قوي جدًا لدى الفنيين بأن نقص الخبرات المتخصصة يمثل تحديًا جوهريًا أمام تطبيق الذكاء الاصطناعي في مجال الصيانة. ويشير ذلك إلى أهمية الاستثمار في التدريب المتقدم والرفع المستمر لمستويات الكفاءة البشرية المتخصصة في إدارة أنظمة الصيانة الذكية.

أما العبارة الأولى: "أرى أن ضعف البنية التحتية التقنية يمثل عائقًا أمام تطبيق الذكاء الاصطناعي"، فقد جاءت في المرتبة الثانية بمتوسط (٤,٠٥) وانحراف معياري (١,٠٤) ووزن نسبي (٨١,٠٪)، وهي نتيجة تعكس اتفاقًا واسعًا بين الفنيين على أن توفر بيئة تقنية مناسبة يعد شرطًا أساسيًا لتفعيل الصيانة التنبؤية. ويظهر من هذه النتيجة أن التحول نحو الذكاء الاصطناعي لا يمكن تحقيقه ما لم يتم دعم المنشآت ببنية متطورة تشمل الأنظمة الرقمية، شبكات الاتصال، وأجهزة الاستشعار المتقدمة.

وبشكل عام، تؤكد النتائج أن التحديات الميدانية ترتبط بعنصرين رئيسيين: نقص الكوادر المؤهلة وضعف البنية التحتية، وهما عاملان يتطلبان استراتيجية مؤسسية طويلة المدى تشمل الاستثمار في التدريب المتخصص، وتطوير البنية الرقمية داخل مؤسسات الصيانة. ومن ثم، فإن ضمان نجاح تطبيق الذكاء الاصطناعي لا يعتمد فقط على القبول والاستعداد الفردي، بل على توفير الموارد والبيئة المساندة التي تمكن الأفراد من توظيف قدراتهم في إطار منظومة صيانة ذكية مستدامة.

تحليل البيانات الخاصة باستبانة المشرفين/ المديرين:

أولاً: محور تقبل التحول الرقمي

جدول (١٣): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، والمستوى والرتبة لمتغير تقبل التحول الرقمي (ن = ٥٧)

م	أولاً – تقبل التحول الرقمي	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	أعتقد أن الذكاء الاصطناعي يمثل أداة استراتيجية لتطوير إدارة الصيانة.	٤,٢٣	١,١٢	موافق بشدة	٨٤,٦٠	مرتفعة جداً	١
٢	إدخال الذكاء الاصطناعي يعزز تنافسية المطار على المستوى الإقليمي.	٤,١١	١,١٣	موافق	٨٢,٢٠	مرتفعة	٢
	الدرجة الكلية	٤,١٧	١,٠٨	موافق	٨٣,٤٠	مرتفعة	

يتضح من الجدول رقم (١٣) الخاص بمحور تقبل التحول الرقمي لدى فئة المشرفين والمديرين أن المتوسط الحسابي العام بلغ (4.17) بانحراف معياري (1.08) ووزن نسبي (83.40٪)، وهو ما يشير إلى مستوى مرتفع من القبول الإداري لتبني التحول الرقمي في مجال الصيانة، وخاصة تطبيقات

الذكاء الاصطناعي. وتعكس هذه النتائج أن القيادة التشغيلية في قطاع الصيانة تمتلك رؤية إيجابية تجاه الذكاء الاصطناعي باعتباره جزءًا من تطوير البنية التقنية والإدارية للمطار، وليس مجرد خيار تجريبي أو تقني.

وبتحليل العبارات الفرعية، يظهر أن أعلى متوسط حسابي تحقق للعبارة الأولى: "أعتقد أن الذكاء الاصطناعي يمثل أداة استراتيجية لتطوير إدارة الصيانة"، حيث بلغ المتوسط (4.23) بانحراف معياري (1.12) ووزن نسبي (84.60%)، مما يدل على قناعة قوية جدًا لدى المشرفين والمديرين بأن تطبيقات الذكاء الاصطناعي لا تُعد مجرد وسائل تشغيلية، بل أدوات استراتيجية تسهم في إعادة هيكلة منظومة الصيانة وتطويرها بشكل شامل. ويعكس ذلك إدراكًا إداريًا متقدمًا لدور التحول الرقمي في تحسين اتخاذ القرار، وزيادة الإنتاجية، ورفع موثوقية المعدات.

أما العبارة الثانية: "إدخال الذكاء الاصطناعي يعزز تنافسية المطار على المستوى الإقليمي"، فقد جاءت في المرتبة الثانية بمتوسط (4.11) وانحراف معياري (1.13) ووزن نسبي (82.20%)، مما يشير إلى أن المشرفين والمديرين يرون أن تطبيق الصيانة الذكية يمثل عاملاً تنافسيًا مهمًا في قطاع الطيران، خاصة من حيث تحسين مستوى الخدمة، وخفض الأعطال المفاجئة، وتعزيز السلامة التشغيلية، وتسريع عمليات الصيانة الدورية.

وبشكل عام، تُظهر هذه النتائج أن القيادات التشغيلية تمتلك توجهًا استراتيجيًا واضحًا نحو دعم التحول الرقمي في الصيانة، وتدرك قيمته التنافسية والتنظيمية. ويعزز ذلك فرص نجاح مشاريع الصيانة التنبؤية في بيئات المطارات بشرط توفير الاستثمار المطلوب في التقنيات والكوادر، بما يتماشى مع التوجه الإداري المؤيد لهذا التحول.

ثانياً: محور الاستعداد لدعم التدريب

جدول (١٤): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير الاستعداد لدعم التدريب (ن = ٥٧)

م	ثانياً – الاستعداد لدعم التدريب	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	أوصي بتوفير برامج تدريبية مستمرة للعاملين حول أنظمة الصيانة التنبؤية.	٤,٣٥	١,١٧	موافق بشدة	٨٧,٠	مرتفعة جداً	١
٢	الاستثمار في تدريب الفنيين يُعد شرطاً أساسياً لإنجاح التحول الرقمي.	٤,٣٥	١,٢٢	موافق بشدة	٨٧,٠	مرتفعة جداً	١
	الدرجة الكلية	٤,٣٥	١,١٨	موافق بشدة	٨٧,٠	مرتفعة جداً	

يتضح من الجدول رقم (١٤) الخاص بمحور الاستعداد لدعم التدريب لدى فئة المشرفين والمديرين أن المتوسط الحسابي العام بلغ (4.35) بانحراف معياري (1.18) ووزن نسبي (87.0%)، وهو ما يشير إلى مستوى مرتفع جدًا من الدعم الإداري لتوفير التدريب للعاملين بهدف تطبيق أنظمة

الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. وتعكس هذه النتيجة إدراكًا واضحًا لدى القيادة التشغيلية بأن نجاح التحول الرقمي لا يتحقق فقط بتبني التكنولوجيا، بل من خلال بناء قدرات بشرية قادرة على التعامل معها بكفاءة.

كما تُظهر النتائج أن العبارتين حصلتا على نفس المتوسط الحسابي والوزن النسبي (4.35) و (87%) مع مستوى تقييم مرتفع جدًا، وهو ما يؤكد توافقًا قويًا بين المشرفين والمديرين بشأن أهمية التدريب. وتدل هذه النتائج على أن الدعم الإداري للتدريب يشكل محورًا تنظيميًا أساسيًا يمكن أن يسهم في تجاوز معوقات تبني الصيانة التنبؤية، خاصة في ظل تحديات نقص الكفاءات الفنية التي أظهرتها استبانة الفنيين. وعليه، فإن الاستثمار في التدريب يعد عاملاً حاسماً لتمكين العاملين من استخدام الأنظمة الذكية بكفاءة، وتعزيز قدراتهم في تحليل البيانات وتشخيص الأعطال، والتفاعل مع تقنيات الصيانة الرقمية بشكل مستدام.

ثالثاً: محور التوقعات الايجابية للأثر لأثر استخدام التقنية

جدول (١٥): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير التوقعات الايجابية للأثر (ن = ٥٧)

م	ثالثاً - التوقعات الايجابية للأثر	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي سيساعد في تحليل بيانات الصيانة بدقة أعلى وفقاً لمعايير الجودة والصيانة العالمية المعتمدة.	٤,١٢	١,٢١	موافق	٨٢,٤٠	مرتفعة	٣
٢	استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي سيُسهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الفاقد الناتج عن التشغيل غير المثالي.	٤,٢١	١,١٨	موافق بشدة	٨٤,٢٠	مرتفعة جداً	١
٣	الاعتماد على تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال سيُمكن من الاكتشاف المبكر للمشكلات قبل تفاقمها، مما يقلل الأعطال المفاجئة.	٤,١٤	١,٢٢	موافق	٨٢,٨٠	مرتفعة	٢
٤	تطبيق نظم الصيانة التنبؤية المبنية على الذكاء الاصطناعي سيؤدي إلى خفض التكاليف التشغيلية نتيجة تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.	٤,٠٤	١,١٨	موافق	٨٠,٨٠	مرتفعة	٤
٥	استخدام التحليلات الذكية سيساعد في تحسين دقة التنبؤ بالعمر الافتراضي للمكونات، ما يرفع موثوقية أنظمة التكيف.	٤,٠٢	١,١٧	موافق	٨٠,٤٠	مرتفعة	٥
	الدرجة الكلية	٤,١١	١,١٢	موافق	٨٢,٢٠	مرتفعة	

يوضح الجدول رقم (١٥) نتائج متغير التوقعات الايجابية للأثر لأثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في أنظمة الصيانة لدى عينة الدراسة (ن = ٥٧). وقد بلغ المتوسط الكلي لهذا المحور (٤,١١) من ٥ بدرجة تقييم "موافق" وبوزن نسبي (82.20%)، وهو ما يشير إلى مستوى مرتفع من التوقعات الايجابية للأثر تجاه الأثر المتوقع لاعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية لأنظمة التكيف. وتظهر النتائج ما يلي:

- جاءت العبارة "استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي سيُسهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الفاقد الناتج عن التشغيل غير المثالي" في المرتبة الأولى بمتوسط (٤,٢١)، ووزن نسبي (٨٤,٢٠٪)، وبمستوى مرتفع جدًا؛ مما يعكس إدراكًا واضحًا لدور الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة العمليات التشغيلية وترشيد استهلاك الطاقة.
 - بينما احتلت عبارة "تطبيق نظم الصيانة التنبؤية المبنية على الذكاء الاصطناعي سيؤدي إلى خفض التكاليف التشغيلية نتيجة تقليل فترات التوقف غير المخططة" المرتبة الرابعة (٨٠,٨٠٪)، مما يشير إلى وعي متوسط الميل إلى الارتفاع بأهمية الصيانة التنبؤية كوسيلة مباشرة لتقليل الأعطال المفاجئة وما يترتب عليها من تكاليف.
 - وجاءت في المرتبة الخامسة عبارة "استخدام التحليلات الذكية سيساعد في تحسين دقة التنبؤ بالعمر الافتراضي للمكونات" بمتوسط (٤,٠٢)، ما يدل على وجود قناعة جيدة لدى المشاركين بأهمية التقنيات الذكية في إطالة عمر المكونات وتعزيز موثوقية الأنظمة.
- بشكل عام، تُظهر النتائج وجود اتجاه إيجابي مرتفع لدى أفراد العينة نحو فاعلية الذكاء الاصطناعي في تحسين الصيانة، سواء من خلال رفع موثوقية الأنظمة، أو تقليل الأعطال، أو رفع كفاءة الطاقة، أو خفض التكاليف التشغيلية. ويعكس ذلك استعدادًا واضحًا لدعم التحول التقني في مجال الصيانة التنبؤية ضمن بيئة العمل المدروسة.

رابعاً: محور دور المدير في المشاركة الفعلية

جدول (١٦): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير دور المدير في المشاركة الفعلية (ن = ٥٧)

م	رابعاً – دور المدير في المشاركة الفعلية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	أنا مستعد لدعم مبادرات التحول الرقمي في مجال الصيانة.	٤,٢١	١,١٨	موافق بشدة	٨٤,٢٠	مرتفعة جداً	١
٢	سأعمل على تشجيع العاملين للمشاركة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي.	٤,١٤	١,٢٠	موافق	٨٢,٨٠	مرتفعة	٢
	الدرجة الكلية	٤,١٨	١,١٧	موافق	٨٣,٦٠	مرتفعة	

يظهر الجدول رقم (١٦) نتائج تقييم دور المشرف/المدير في المشاركة الفعلية في تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحول الرقمي في مجال الصيانة، حيث بلغ المتوسط الكلي للمحور (4.18) من ٥ بدرجة "موافق" وبوزن نسبي (83.60٪)، وهو مستوى مرتفع يشير إلى استعداد قوي لدى المديرين المشاركين لدعم التحول التقني داخل المؤسسات.

كما تظهر النتائج ما يلي:

- جاءت العبارة "أنا مستعد لدعم مبادرات التحول الرقمي في مجال الصيانة" في الترتيب الأول، بمتوسط (٤,٢١) وبوزن نسبي (٨٤,٢٠٪) وبمستوى مرتفع جدًا، ما يعكس درجة عالية من الالتزام القيادي تجاه تبني الأنظمة الذكية والصيانة التنبؤية كجزء من مستقبل العمل المؤسسي.
 - فيما حصلت العبارة الثانية "سأعمل على تشجيع العاملين للمشاركة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي" على متوسط (٤,١٤) وبوزن نسبي (٨٢,٨٠٪)، ما يشير إلى استعداد المديرين لتفعيل دورهم التحفيزي في نشر الثقافة الرقمية وبناء بيئة داعمة للتغيير والتعلم التقني.
- وتدل هذه النتائج مجتمعة على أن القيادات الإدارية في مجتمع الدراسة لديها توجه فعلي نحو تبني التحول الرقمي في مجال الصيانة، ليس فقط على مستوى القبول، بل من خلال الاستعداد للمشاركة والتحفيز والمتابعة. ويعكس ذلك فهمًا واضحًا بأن نجاح الصيانة الذكية يعتمد على تبني القيادة وتفعيل مشاركة العاملين لضمان الاستفادة القصوى من التقنيات.

خامسا: محاور التحديات الإدارية

جدول (١٧): المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، النتيجة، الوزن النسبي، المستوى والرتبة لمتغير التحديات الإدارية (ن = ٥٧)

م	خامساً – التحديات الإدارية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	النتيجة	الوزن النسبي %	المستوى	الرتبة
١	ارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية يمثل عقبة أمام تبني الذكاء الاصطناعي.	٣,٦٥	١,٢٣	موافق	٧٣,٠٠	مرتفعة	٢
٢	مقاومة التغيير لدى العاملين قد تحد من نجاح التطبيق.	٣,٨٩	١,٠٨	موافق	٧٧,٨٠	مرتفعة	١
	الدرجة الكلية	٣,٧٧	١,١٠	موافق	٧٥,٤٠	مرتفعة	

في ضوء البيانات الواردة في الجدول رقم (١٧) الخاص بمحور التحديات الإدارية لدى فئة المشرفين والمديرين، يتضح أن المتوسط الحسابي العام للمحور بلغ (3.77) بانحراف معياري (1.10) ووزن نسبي (75.40%)، وهو ما يشير إلى مستوى مرتفع من إدراك القيادات للتحديات الإدارية التي قد تعيق تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجال الصيانة. وتدل هذه النتائج على أن تبني التحول الرقمي لا يقتصر على الجانب التقني أو الفني، بل يتأثر بالقدرة الإدارية على إدارة الموارد، وتحفيز العاملين، وضمان توافر التمويل اللازم.

وتفصيلاً للعبارات الفرعية:

- جاءت العبارة "مقاومة التغيير لدى العاملين قد تحد من نجاح التطبيق" في المرتبة الأولى بمتوسط (٣,٨٩) وانحراف معياري (١,٠٨) ووزن نسبي (٧٧,٨٠٪)، ما يعكس إدراكًا واضحًا لدى المديرين بأن العامل البشري يمثل التحدي الأكبر أمام تنفيذ مشاريع التحول الرقمي، وأن النجاح يتطلب استراتيجيات إدارة التغيير والتواصل الفعال مع الموظفين.

- أما العبارة الثانية "ارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية يمثل عقبة أمام تبني الذكاء الاصطناعي" فقد جاءت في المرتبة الثانية بمتوسط (٣,٦٥) وانحراف معياري (١,٢٣) ووزن نسبي (٧٣,٠٠٪)، مما يدل على أن تكلفة الاستثمار المبدئي في الأنظمة الذكية تعتبر عاملاً مهماً لكنه أقل تأثيراً نسبياً مقارنة بعامل مقاومة التغيير البشري.

وبشكل عام، تؤكد النتائج أن التحديات الإدارية تشمل مزيجاً من العوائق المالية والبشرية، وأن نجاح تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية يتطلب تخطيطاً استراتيجياً لإدارة التغيير، ودعمًا ماليًا مناسبًا، وبرامج تحفيز للموظفين لضمان استيعاب التقنية الجديدة وتطبيقها بفعالية ضمن بيئة العمل.

اختبار فروض الدراسة:

الفرضية الرئيسية:

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تصورات العاملين حول توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية وبين استعدادهم الفعلي لتبني هذه الأنظمة.

جدول (١٨): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الرئيسية (ن = ٩٦)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	183.000	1	183.000	101.643	.000(a)
	Residual	169.240	94	1.800		
	Total	352.240	95			

a Predictors: (Constant), Total. الفعلية المشاركة.

b Dependent Variable: Total. الإيجابية. التوقعات.

تظهر نتائج الجدول رقم (١٨) أن قيمة Sig. أقل من مستوى الدلالة التقليدي (٠,٠٥)، ما يدل على وجود علاقة ذات دلالة إحصائية قوية بين التوقعات الإيجابية للأثر للفنيين حول استخدام الذكاء الاصطناعي وبين مشاركتهم الفعلية واستعدادهم لتبني هذه الأنظمة. كما أن قيمة F العالية (١٠١,٦٤٣) تشير إلى قوة تأثير تصورات الفنيين على سلوكهم الفعلي في تطبيق الصيانة التنبؤية. وبذلك، يمكن قبول الفرضية الرئيسية وتُرفض الفرضية العدمية لعينة الفنيين.

جدول (١٩): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الرئيسية (ن = ٥٧)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	200.252	1	200.252	182.303	0.000(a)
	Residual	60.415	55	1.098		
	Total	260.667	56			

a Predictors: (Constant), Total. للأثر. الإيجابية. التوقعات. ثالثاً.

b Dependent Variable: Total. الرقمي. التحول. تقبل. أولاً.

تشير نتائج الجدول رقم (١٩) إلى أن Sig. أقل من ٠,٠٥، مما يعني وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الايجابية للأثر للمديرين حول أثر استخدام التقنية وبين تقبلهم للتحويل الرقمي. وتعكس قيمة F العالية (١٨٢,٣٠٣) قوة التأثير، مما يؤكد أن تصورات المديرين حول الفوائد المحتملة للذكاء الاصطناعي تؤثر بشكل مباشر على استعدادهم لدعم وتنفيذ التحويل الرقمي في الصيانة التنبؤية. بشكل عام، تؤكد نتائج اختبار ANOVA لكل من الفنيين والمشرفين/المديرين، أن التصورات الإيجابية نحو استخدام الذكاء الاصطناعي ترتبط ارتباطاً قوياً وذو دلالة إحصائية بالاستعداد الفعلي لتبني هذه الأنظمة. وبالتالي، يتم تأكيد الفرضية الرئيسية للدراسة في كلتا المجموعتين، مما يشير إلى أهمية تعزيز تصورات العاملين حول الفوائد العملية والتشغيلية للذكاء الاصطناعي لتعزيز مشاركتهم واستعدادهم لتطبيق الصيانة التنبؤية بنجاح.

الفروض الفرعية:

١. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الايجابية للأثر لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند الفنيين، والاستعداد لتغيير أساليب العمل التقليدية.

جدول (٢٠): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (١) (ن = ٩٦)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	206.808	1	206.808	133.670	0.000(a)
	Residual	145.432	94	1.547		
	Total	352.240	95			

a Predictors: (Constant), Total. العمل. أساليب. تغيير. تقبل.

b Dependent Variable: Total. الإيجابية. التوقعات.

يبين الجدول رقم (٢٠) أن قيمة معامل $F = 133.670$ عند مستوى دلالة $\text{Sig} = 0.000$ ، وهي قيمة دالة إحصائية ($\alpha \leq 0.01$). وتشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة قوية ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الايجابية للأثر للفنيين حول استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي واستعدادهم لتغيير أساليب العمل التقليدية. وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية رقم (١) وتُرفض الفرضية العدمية. وتعني هذه النتيجة أن توقعات الفنيين الإيجابية تجاه الذكاء الاصطناعي تُسهم بصورة جوهرية في تحفيزهم على تبني أساليب عمل جديدة تعتمد على الصيانة التنبؤية، بما يعزز من كفاءة العمليات التشغيلية وتقليل الأعطال المفاجئة.

٢. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الايجابية للأثر لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند الفنيين، والاستعداد لتلقي التدريب على استخدام تلك التقنيات.

جدول (٢١): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٢) (ن = ٩٦)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	166.561	1	166.561	84.321	0.000
	Residual	185.679	94	1.975		
	Total	352.240	95			

Predictors: (Constant), Total. الاستعداد للتدريب.

Dependent Variable: Total. التوقعات الإيجابية.

يبين الجدول رقم (٢١) أن قيمة معامل $F = 84.321$ عند مستوى دلالة $\text{Sig} = 0.000$ ، وهي قيمة دالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.01$). وتشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة قوية ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الإيجابية للأثر للفنيين حول استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي واستعدادهم لتلقي التدريب على استخدام هذه التقنيات. وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية رقم (٢) وتُرفض الفرضية العدمية. وتعني هذه النتيجة أن توقعات الفنيين الإيجابية تجاه الذكاء الاصطناعي تُسهم بصورة جوهرية في تعزيز رغبتهم واستعدادهم لتلقي التدريب، مما يرفع كفاءتهم وقدرتهم على تبني أساليب الصيانة التنبؤية بكفاءة أكبر ويضمن استدامة تطبيق التقنيات الحديثة في بيئة العمل.

٣. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الإيجابية للأثر لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند الفنيين، والاستعداد للمشاركة الفعلية في تطبيق تلك التقنيات.

جدول (٢٢): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٣) (ن = ٩٦)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	183.000	1	183.000	101.643	.000(a)
	Residual	169.240	94	1.800		
	Total	352.240	95			

a Predictors: (Constant), Total. الفعلية المشاركة.

b Dependent Variable: Total. التوقعات الإيجابية.

يبين الجدول رقم (٢٢) أن قيمة معامل $F = 101.643$ عند مستوى دلالة $\text{Sig} = 0.000$ ، وهي قيمة دالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.01$). وتشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة قوية ذات دلالة إحصائية بين التوقعات الإيجابية للأثر للفنيين حول استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي واستعدادهم للمشاركة الفعلية في تطبيق هذه التقنيات. وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية رقم (٣) وتُرفض الفرضية العدمية.

وتعني هذه النتيجة أن التوقعات الإيجابية للأثر للفنيين تجاه الذكاء الاصطناعي تُسهم بصورة جوهرية في تحفيزهم على المشاركة الفعلية في تطبيق أنظمة الصيانة التنبؤية، مما يعزز من فاعلية العمليات التشغيلية ويضمن نجاح التحول الرقمي في بيئة العمل.

٤. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التحديات الميدانية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند الفنيين، والاستعداد للمشاركة الفعلية في تطبيق تلك التقنيات.

جدول (٢٣): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٤) (ن = ٩٦)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	109.456	1	109.456	50.466	0.000
	Residual	203.877	94	2.169		
	Total	313.333	95			

Predictors: (Constant), Total. المشاركة الفعلية.

Dependent Variable: Total. التحديات الميدانية.

يبين الجدول رقم (٢٣) أن قيمة معامل $F = 50.466$ عند مستوى دلالة $\text{Sig} = 0.000$ ، وهي قيمة دالة إحصائية ($\alpha \leq 0.01$). وتشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة قوية ذات دلالة إحصائية بين التحديات الميدانية المتعلقة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لدى الفنيين واستعدادهم للمشاركة الفعلية في تطبيق هذه التقنيات. وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية رقم (٤) وتُرفض الفرضية العدمية. وتعني هذه النتيجة أن إدراك الفنيين للتحديات الميدانية، مثل نقص البنية التحتية التقنية أو محدودية الكوادر المؤهلة، يُؤثر بشكل مباشر على استعدادهم للمشاركة الفعلية، مما يستدعي تصميم استراتيجيات دعم مناسبة لتذليل هذه التحديات وتعزيز مشاركة الفنيين في تطبيق الصيانة التنبؤية بكفاءة.

٥. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقبل استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند المشرفين والمديرين، والاستعداد لدعم تدريب تلك التقنيات.

جدول (٢٤): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٥) (ن = ٥٧)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	170.574	1	170.574	104.132	.000(a)
	Residual	90.093	55	1.638		
	Total	260.667	56			

a Predictors: (Constant), Total. التدريب لدعم الاستعداد. ثانياً.

b Dependent Variable: Total. الرقمي. التحول. تقبل. أولاً.

يبين الجدول رقم (٢٤) أن قيمة معامل $F = 104.132$ عند مستوى دلالة $\text{Sig} = 0.000$ ، وهي قيمة دالة إحصائية ($\alpha \leq 0.01$). وتشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة قوية ذات دلالة إحصائية بين تقبل المشرفين والمديرين لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي واستعدادهم لدعم تدريب هذه التقنيات. وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية رقم (٥) وتُرفض الفرضية العدمية. وتعني هذه النتيجة أن تقبل القيادة التقنية للذكاء الاصطناعي يسهم بصورة جوهرية في تعزيز استعدادهم لتوفير برامج تدريبية مستمرة للعاملين، مما يدعم بناء قدرات بشرية قادرة على التعامل مع أنظمة الصيانة التنبؤية وتحقيق نجاح التحول الرقمي في المؤسسة.

٦. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقبل استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند المشرفين والمديرين، والتوقعات الايجابية للأثر لأثر استخدام تلك التقنيات.

جدول (٢٥): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٦) (ن = ٥٧)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	200.252	1	200.252	182.303	0.000(a)
	Residual	60.415	55	1.098		
	Total	260.667	56			

a Predictors: (Constant), Total. ثلاثاً. الإيجابية. التوقعات.

b Dependent Variable: Total. الرقمي. التحول. تقبل. أولاً.

يبين الجدول رقم (٢٥) أن قيمة معامل $F = 182.303$ عند مستوى دلالة $Sig = 0.000$ ، وهي قيمة دالة إحصائية ($\alpha \leq 0.01$). وتشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة قوية ذات دلالة إحصائية بين تقبل المشرفين والمديرين لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتوقعات الايجابية للأثر لديهم تجاه أثر هذه التقنيات. وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية رقم (٦) وتُرفض الفرضية العدمية. وتعني هذه النتيجة أن تقبل القيادة لتقنيات الذكاء الاصطناعي يسهم بصورة جوهرية في تعزيز توقعاتهم الايجابية حول أثر استخدام هذه التقنيات، سواء في تحسين كفاءة العمليات، أو خفض التكاليف التشغيلية، أو رفع موثوقية أنظمة الصيانة التنبؤية، مما يعزز من قدرة الإدارة على قيادة التحول الرقمي بنجاح.

٧. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقبل استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي عند المشرفين والمديرين، ومشاركتهم الفعلية في استخدام تلك التقنيات.

جدول (٢٦): اختبار تحليل التباين ANOVA للفرضية الفرعية رقم (٧) (ن = ٥٧)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	209.060	1	209.060	222.807	0.000(a)
	Residual	51.607	55	0.938		
	Total	260.667	56			

a Predictors: (Constant), Total. رابعاً. دور. المدير. المشاركة. في.

b Dependent Variable: Total. الرقمي. التحول. تقبل. أولاً.

يبين الجدول رقم (٢٦) أن قيمة معامل $F = 222.807$ عند مستوى دلالة $Sig = 0.000$ ، وهي قيمة دالة إحصائية ($\alpha \leq 0.01$). وتشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة قوية ذات دلالة إحصائية بين تقبل المشرفين والمديرين لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي ومشاركتهم الفعلية في تطبيق هذه التقنيات. وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية رقم (٧) وتُرفض الفرضية العدمية. وتعني هذه النتيجة أن تقبل القيادة التقنية للذكاء الاصطناعي يسهم بصورة جوهرية في تعزيز مشاركتهم الفعلية في تطبيق الأنظمة الذكية للصيانة التنبؤية، مما يدعم نجاح التحول الرقمي ويضمن تحقيق الفوائد التشغيلية المستهدفة في المؤسسات.

- في المقابل، أظهرت بعض النتائج المتعلقة بالتحديات الميدانية مثل ضعف البنية التحتية أو نقص الكوادر المؤهلة بعض التحفظات، مما يوضح وجود عقبات محتملة قد تؤثر على سرعة تطبيق التقنيات إذا لم يتم معالجتها.

كما أكدت نتائج اختبار الفرضيات الفرعية وجود علاقات ذات دلالة إحصائية قوية بين التوقعات الايجابية للأثر للفنيين واستعدادهم لتغيير أساليب العمل، واستعدادهم للتدريب، والمشاركة الفعلية، وكذلك بين التحديات الميدانية واستعدادهم للمشاركة. وتعكس هذه النتائج أن التصورات الإيجابية للفنيين تجاه الذكاء الاصطناعي تعتبر محفزاً رئيسياً لسلوكهم العملي في تبني هذه التقنيات، بينما تمثل التحديات الميدانية عوامل قد تحد من هذه المشاركة إذا لم تُدار بشكل مناسب.

ثانياً: المشرفون والمديرون

بينت نتائج استبانة المشرفين والمديرين أن تقبل التحول الرقمي، والاستعداد لدعم التدريب، والتوقعات الايجابية للأثر، والمشاركة الفعلية جاءت مرتفعة، مما يشير إلى أن القيادة تعي أهمية الذكاء الاصطناعي كأداة استراتيجية لتعزيز كفاءة الصيانة التنبؤية، وتسعى لدعم تدريب العاملين، وتشجيع المشاركة الفعلية، وتحقيق التحول الرقمي بنجاح.

- أعلى متوسطات القياس كانت مرتبطة بدعم التدريب والمشاركة الفعلية، ما يدل على أن المشرفين والمديرين لا يكتفون بتقبل التقنية نظرياً، بل يسعون لتطبيقها عملياً ودعم فرقهم للوصول إلى أفضل النتائج التشغيلية.

- رغم ذلك، أظهرت بعض النتائج المتعلقة بالتحديات الإدارية مثل ارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية أو مقاومة التغيير أن هناك عوائق محتملة يمكن أن تحد من سرعة تبني التحول الرقمي، مما يستدعي سياسات داعمة وإجراءات تخفيف المخاطر لضمان نجاح التطبيق.

كما أظهرت اختبارات الفرضيات الفرعية وجود علاقات ذات دلالة إحصائية قوية بين تقبل المشرفين/المديرين لاستخدام الذكاء الاصطناعي وبين استعدادهم لدعم التدريب، والتوقعات الايجابية للأثر، والمشاركة الفعلية، وكذلك بين التحديات الإدارية ومشاركتهم الفعلية. وهذه النتائج تؤكد أن تقبل القيادة التقنية والوعي بالعوائق الإدارية يشكلان عوامل حاسمة لنجاح التحول الرقمي وتطبيق الصيانة التنبؤية بكفاءة.

ثالثاً: العلاقة بين التصورات والاستعداد الفعلي

أظهرت نتائج اختبار الفرضية الرئيسية أن التصورات الإيجابية لكل من الفنيين والمشرفين/المديرين مرتبطة ارتباطاً مباشراً واستعدادهم الفعلي لتبني الذكاء الاصطناعي، سواء من

ناحية المشاركة الفعلية، أو تغيير أساليب العمل، أو دعم التدريب. وتدل هذه النتائج على أن تعزيز التوقعات الايجابية للأثر نحو الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل جوهري في زيادة استعداد الأفراد للانخراط الفعلي في التحول الرقمي، وهو ما يتوافق مع النظريات الحديثة في تبني التكنولوجيا مثل نموذج TAM ونظرية الصيانة التنبؤية.

كما تشير نتائج الدراسة إلى أن تبني الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية ليس مجرد مسألة تقنية، بل هو عملية تتطلب تصورات وتوقعات إيجابية، واستعدادًا للتدريب، ومشاركة فعلية من الفنيين والقيادة على حد سواء. ويظهر التحليل أن التصورات الإيجابية هي المحفز الأساسي للسلوك التطبيقي، في حين أن التحديات الميدانية والإدارية تمثل عوامل تحدّ من هذا التبني إذا لم تتم إدارتها بشكل فعال. وتؤكد هذه النتائج أن تحقيق التحول الرقمي الناجح في الصيانة التنبؤية يعتمد على التفاعل المتزامن بين تصورات الفنيين، ودعم القيادة، وتخطيط استراتيجي لمواجهة التحديات، مع التركيز على التدريب وبناء القدرات البشرية، وهو ما يضمن تحسين الأداء التشغيلي وتقليل الأعطال، بما يتوافق مع أهداف الاستدامة والكفاءة التشغيلية في المؤسسات.

التوصيات والمقترحات:

بالاستناد إلى نتائج الدراسة العامة، يمكن استخلاص بعض التوصيات والمقترحات كما يلي:

١. تعزيز برامج التدريب المستمر للفنيين

- تصميم برامج تدريبية شاملة حول استخدام الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية.
- التركيز على المهارات العملية والتطبيقية لتعزيز القدرة على التعامل مع الأنظمة الذكية.
- تقييم أثر التدريب بشكل دوري لتحديد الفجوات وتحسين كفاءة التدريب.

٢. تشجيع المشاركة الفعلية للفنيين والمشرفين/المديرين

- إنشاء بيئة عمل تحفيزية تدعم التجربة العملية للذكاء الاصطناعي.
- ربط المشاركة الفعلية بمكافآت أو تقدير للإنجازات لضمان التزام أكبر من الأفراد.
- إشراك الفنيين والقيادة في فرق عمل مشتركة لتطبيق مشاريع التحول الرقمي.

٣. إدارة التحديات الميدانية والفنية

- تحسين البنية التحتية التقنية لضمان جاهزية الأنظمة الذكية.
- توظيف كوادر فنية مؤهلة لتشغيل وصيانة الأنظمة الجديدة.

- توفير أدوات ومعدات حديثة لدعم الصيانة الذكية.

٤. معالجة التحديات الإدارية والقيادة

- وضع خطط تمويل مرنة لتغطية التكاليف الاستثمارية الأولية.
- تنفيذ برامج إدارة التغيير لتقليل مقاومة العاملين للتقنيات الجديدة.
- تعزيز دور القيادة الفاعلة في دعم ومتابعة تطبيقات الذكاء الاصطناعي.

٥. تعزيز التوقعات الايجابية للأثر للفنيين والقيادة

- نشر قصص نجاح وتجارب عملية لإظهار فوائد الذكاء الاصطناعي.
- توضيح أثر الذكاء الاصطناعي على كفاءة الصيانة وتقليل الأعطال والتكاليف.
- تشجيع المشاركة في التجارب التطبيقية لزيادة الثقة بالأنظمة الذكية.

٦. دمج التحول الرقمي ضمن استراتيجيات المؤسسة

- إدراج الذكاء الاصطناعي كجزء من الخطط التشغيلية طويلة المدى.
- ربط مؤشرات الأداء الفردية والمؤسسية بتحقيق أهداف التحول الرقمي.
- متابعة مستمرة لتقييم أثر التحول الرقمي على الأداء والكفاءة التشغيلية.

٧. تعزيز التعاون بين الفنيين والقيادة

- تنظيم اجتماعات دورية لمناقشة التحديات والفرص في تطبيق الذكاء الاصطناعي.
- مشاركة الفنيين في اتخاذ القرارات المتعلقة بتطبيق التقنيات الجديدة.
- تبادل المعرفة والخبرات بين الفرق لضمان الاستفادة المثلى من التحول الرقمي.

٨. تطوير أنظمة متابعة وتقييم مستمر

- إنشاء مؤشرات قياس أداء لتطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية.
- تقييم مدى تقليل الأعطال وتحسين الكفاءة التشغيلية بشكل دوري.
- تعديل الخطط والبرامج بناءً على نتائج المتابعة لضمان التحسين المستمر.

المراجع

- Abdelalim, A. M., Essawy, A., Sherif, A., & Salem, M. (2025).** Optimizing facilities management through artificial intelligence and digital twin technology in mega-facilities. *Sustainability*, 17(5), 1826. <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/5/1826>
- Alkhalidi, A. H. (2025).** AI-Based Optimization of HVAC Systems in Kuwait (A Descriptive Study on Industry Adoption and Performance Benefits). *Ajrsp*, 6(72), 05-21.
- Becker, G. S. (1964).** *Human capital: A theoretical and empirical analysis, with special reference to education* (3rd ed.). University of Chicago Press.
- Davis, F. D. (1989).** Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3). <https://doi.org/10.2307/249008>
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983).** The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147–160. <https://doi.org/10.2307/2095101>
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017).** Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (pp. 85–113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4
- <https://doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926>
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006).** A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>

- Källbäcker, J., Bergqvist, A., Cajander, Å., Cort, R., Normark, M., & Premanandan, S. (2025, May).** Exploring the Future of AI, Autonomous Vehicles, and Emerging Technologies in Airport Operations: Stakeholder Perspectives. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 3-20). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Lahna, T. (2023).** *The use of BIM for the management of predictive maintenance in airport infrastructure* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT). <https://theses.hal.science/tel-04417157/>
- Merlo, T. R. (2024).** Emerging role of artificial intelligence (AI) in aviation: using predictive maintenance for operational efficiency. In *Harnessing Digital Innovation for Air Transportation* (pp. 28-46). IGI Global Scientific Publishing. <https://www.igi-global.com/chapter/emerging-role-of-artificial-intelligence-ai-in-aviation/340953>
- Mobley, R. K. (2002).** *An introduction to predictive maintenance*. Elsevier.
- Moghayedi, A., Michell, K., Awuzie, B., & Adama, U. J. (2024).** A comprehensive analysis of the implications of artificial intelligence adoption on employee social well-being in South African facility management organizations. *Journal of Corporate Real Estate*, 26(3), 237-261.
- Mrusek, B., Wilson, J. K., Solti, J., Reimann, M., & Witcher, K. (2022).** Predictive Data Analytics in Aviation Maintenance: A Cultural Perspective. *Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2022): Integrating People and Intelligent Systems*, 22(22).

- Sanzana, M. R., Maul, T., Wong, J. Y., Abdulrazic, M. O. M., & Yip, C. C. (2022).** Application of deep learning in facility management and maintenance for heating, ventilation, and air conditioning. *Automation in Construction*, 141, 104445. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522003181>
- Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000).** A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management science*, 46(2), 186-204.
- Williady, A., Narariya, D. H., & Kim, H. S. (2024).** Investigating Efficiency and Innovation: An Exploratory and Predictive Analysis of Smart Airport Systems. *Digital*, 4(3), 599. <https://search.proquest.com/openview/f859680eb0f03f9f8a1934260bbbfbf7/1?pq-origsite=gscholar&cbl=5465953>
- Yusup, M., & Sofyan, E. (2024).** Perbandingan hasil pemaparan ChatGPT-4 dengan Perplexity AI dalam penggunaan AI sebagai alat bantu untuk melakukan kajian Service Bulletin Embraer Legacy 600/650. *Teknika STTKD*, 17(1).

الملاحق

الموضوع: طلب تحكيم استبيان بحثي

الدكتور/ المحترم،

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته، أتمنى أن تكونوا بخير وأفضل حال.

أود أن أعرفكم بنفسي، أنا طالب في جامعة ميدأوشن – كلية الإدارة – تخصص ماجستير إدارة الأعمال، وأعمل حالياً على بحث "تصورات العاملين حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف: دراسة استطلاعية بمطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة"، وذلك كجزء من متطلبات درجة الماجستير في إدارة الأعمال.

أتوجه إليكم بهذا الطلب لأستفيد من خبراتكم القيمة في تحكيم الاستبيان الخاص ببحثي. أرفق لكم نسخة من الاستبيان، وأرجو منكم التكرم بمراجعته وإبداء ملاحظاتكم واقتراحاتكم حول مدى دقة وملاءمة العبارات المطروحة لقياس الأهداف المرجوة من الدراسة. كما أرجو منكم اقتراح أي تعديلات ترونها مناسبة سواءً بإعادة صياغة العبارات، أو حذفها، أو إضافة عبارات جديدة.

أشركم جزيل الشكر على وقتكم وجهودكم، وأتطلع إلى تلقي ملاحظاتكم القيمة.

مع خالص التقدير والاحترام،

الباحث: شادي فضل الشريف

Subject: Request for Research Questionnaire Review

Dear Dr.,

I hope this message finds you in good health and high spirits.

I am a graduate student at MidOcean University – College of Management, specializing in the Master’s program in business Management. I am currently working on a research study titled: **“Employees’ Perceptions Toward the Potential Use of Artificial Intelligence in Managing HVAC Maintenance: An Exploratory Study at King Abdulaziz International Airport, Jeddah.”** This research is part of the requirements for obtaining a Master’s degree in business Management.

I am writing to kindly request your valuable expertise in reviewing the questionnaire for my research. I have attached a copy of the questionnaire and would greatly appreciate your feedback, comments, and suggestions regarding the accuracy and relevance of the statements in measuring the intended objectives of the study. I would also be grateful for any modifications you may deem appropriate, whether through rephrasing, deleting, or adding new statements.

Thank you very much for your time and efforts. I look forward to receiving your valuable remarks.

With sincere appreciation and respect,

Researcher: Shadi Fadel Al Sharif

استبيان

"تصورات العاملين حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف:

دراسة استطلاعية بمطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة"

المشاركون الكرام، تحية طيبة وبعد:

لقد تم إعداد هذا الاستبيان في إطار التحضير لدرجة الماجستير، قسم إدارة الأعمال، تحت عنوان:

"تصورات العاملين حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة أنظمة التكييف: دراسة

استطلاعية بمطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة"، لذا نرجو منكم التكرم بقراءة أسئلة الاستمارة بعناية،

والإجابة عن كافة الأسئلة بناء على التعليمات الواردة في كل سؤال، وهذا لتزويدنا بمعلومات تفيد الهدف

الأساسي للبحث، ونحيطكم علماً بأن هذه البيانات مخصصة لأغراض علمية بحتة. شاكرين لكم حسن

تعاونكم

الباحث: شادي فضل الشريف

الاستبيان الأول: الفنيين

القسم الأول: البيانات الديموغرافية

١. العمر: () أقل من ٣٠ () 41-50 () 30-40 () أكثر من ٥٠
 ٢. سنوات الخبرة الفنية: () أقل من ٥ () 11-15 () 5-10 () أكثر من ١٥
 ٣. القسم الفني: () تكييف وتبريد () ميكانيكا () كهرباء
- القسم الثاني: محاور الاستبيان (مقياس ليكرت: ١=لا أوافق إطلاقاً → ٥=أوافق بشدة)

أولاً: الاستعداد لتغيير أساليب العمل

١. أجد أن الصيانة التنبؤية باستخدام الذكاء الاصطناعي أكثر فاعلية من الأساليب التقليدية.
٢. لا أمانع التحول من الصيانة اليدوية إلى الصيانة الذكية إذا توفرت الأدوات المناسبة.

ثانياً: الاستعداد للتدريب

١. لدي استعداد لحضور برامج تدريبية حول استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي.
٢. التدريب على أدوات الذكاء الاصطناعي سيساعدني في أداء عملي بشكل أفضل.

ثالثاً: التوقعات الإيجابية للأثر

١. أعتقد أن استخدام الذكاء الاصطناعي سيقفل من أعطال أنظمة التكييف.
٢. تطبيق الذكاء الاصطناعي سيُسهم في خفض تكاليف الصيانة التشغيلية.

رابعاً: المشاركة الفعلية

١. أرغب في المشاركة ببرامج التحول الرقمي للصيانة.
٢. أستطيع المساهمة في إنجاح مشروع تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة.

خامساً: التحديات الميدانية

١. أرى أن ضعف البنية التحتية التقنية يمثل عائقاً أمام تطبيق الذكاء الاصطناعي.
٢. نقص الكوادر الفنية المؤهلة قد يعيق نجاح الصيانة التنبؤية.

الاستبيان الثاني: المشرفين/المديرين

القسم الأول: البيانات الديموغرافية

١. المستوى الوظيفي: () مدير إدارة () مشرف صيانة () مسؤول تشغيل
 ٢. سنوات الخبرة الإدارية: () أقل من ٥ () ٥-11 () 11-15 () 15-5 أكثر من ١٥
 ٣. المؤهل العلمي: () دبلوم () بكالوريوس () ماجستير () دكتوراه
- القسم الثاني: محاور الاستبيان (مقياس ليكرت: ١=لا أوافق إطلاقاً → ٥=أوافق بشدة)

أولاً: تقبل التحول الرقمي

١. أعتقد أن الذكاء الاصطناعي يمثل أداة استراتيجية لتطوير إدارة الصيانة.
٢. إدخال الذكاء الاصطناعي يعزز تنافسية المطار على المستوى الإقليمي.

ثانياً: الاستعداد لدعم التدريب

١. أوصي بتوفير برامج تدريبية مستمرة للعاملين حول أنظمة الصيانة التنبؤية.
٢. الاستثمار في تدريب الفنيين يُعد شرطاً أساسياً لإنجاح التحول الرقمي.

ثالثاً: التوقعات الايجابية للأثر

١. تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي سيساعد في تحليل بيانات الصيانة بدقة أعلى وفقاً لمعايير الجودة والصيانة العالمية المعتمدة.
٢. استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي سيُسهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الفاقد الناتج عن التشغيل غير المثالي.
٣. الاعتماد على تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال سيُمكّن من الاكتشاف المبكر للمشكلات قبل تفاقمها، مما يقلل الأعطال المفاجئة.
٤. تطبيق نظم الصيانة التنبؤية المبنية على الذكاء الاصطناعي سيؤدي إلى خفض التكاليف التشغيلية نتيجة تقليل فترات التوقف غير المخطط لها.
٥. استخدام التحليلات الذكية سيساعد في تحسين دقة التنبؤ بالعمر الافتراضي للمكونات، ما يرفع موثوقية أنظمة التكيف.

رابعاً: دور المدير في المشاركة الفعلية

١. أنا مستعد لدعم مبادرات التحول الرقمي في مجال الصيانة.
٢. سأعمل على تشجيع العاملين للمشاركة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي.

خامساً: التحديات الإدارية

١. ارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية يمثل عقبة أمام تبني الذكاء الاصطناعي.
٢. مقاومة التغيير لدى العاملين قد تحد من نجاح التطبيق.

Questionnaire

“Employees’ Perceptions Toward the Potential Use of Artificial Intelligence in Managing HVAC Maintenance: An Exploratory Study at King Abdulaziz International Airport, Jeddah”

Dear Participants,

Greetings, this questionnaire has been prepared as part of a Master’s thesis entitled: **“Employees’ Perceptions Toward the Potential Use of Artificial Intelligence in Managing HVAC Maintenance: An Exploratory Study at King Abdulaziz International Airport, Jeddah.”** You are kindly requested to read the questions carefully and respond to all items according to the provided instructions. Your participation will contribute valuable insights to the study’s objectives. Please note that all information collected will be used strictly for academic and scientific purposes only. Thank you for your time and cooperation.

Researcher: Shadi Fadel Al Sharif

Questionnaire (1): Technicians

Section One: Demographic Information

1. Age: ☐ Under 30 ☐ 30–40 ☐ 41–50 ☐ Over 50
2. Years of technical experience: ☐ Less than 5 ☐ 5–10 ☐ 11–15 ☐ More than 15
3. Technical Department: ☐ Cooling ☐ Ventilation ☐ Electrical

Section Two: Questionnaire Dimensions

(Likert Scale: 1 = Strongly Disagree → 5 = Strongly Agree)

1. Acceptance of Change in Work Methods

- I find that predictive maintenance using artificial intelligence is more effective than traditional maintenance methods.
- I have no objection to shifting from manual maintenance to smart maintenance if the proper tools are provided.

2. Readiness for Training

- I am willing to attend training programs on the use of artificial intelligence technologies.
- Training on AI tools would help me perform my work more effectively.

3. Positive Expectations

- I believe that using artificial intelligence will reduce HVAC system failures.
- Implementing AI will contribute to lowering operational maintenance costs.

4. Active Participation

- I would like to participate in digital transformation programs for maintenance.

- I believe I can contribute to the success of AI implementation in maintenance operations.

5. Field Challenges

- I believe that weak technical infrastructure represents a barrier to AI implementation.
- The lack of qualified technical personnel may hinder the success of predictive maintenance.

Questionnaire (2): Supervisors/Managers

Section One: Demographic Information

1. Job Level: () Department Manager () Maintenance Supervisor () Operations Officer
2. Years of administrative experience: () Less than 5 () 5–10 () 11–15 () More than 15
3. Educational qualification: () Diploma () Bachelor's () Master's () Doctorate

Section Two: Questionnaire Dimensions

Likert Scale: 1 = Strongly Disagree → 5 = Strongly Agree

1. Acceptance of Digital Transformation

- I believe that artificial intelligence represents a strategic tool for developing maintenance management.
- Integrating AI enhances the airport's competitiveness at the regional level.

2. Readiness to Support Training

- I recommend providing continuous training programs for employees on predictive maintenance systems.
- Investing in technician training is an essential prerequisite for successful digital transformation.

3. Positive Expectations of Impact

- Applying AI technologies will help analyze maintenance data more accurately, in line with international maintenance and quality standards.
- Using AI technologies will improve energy consumption efficiency and reduce waste caused by suboptimal operation.

- Relying on AI in fault analysis will enable early detection of potential issues, thereby reducing unexpected breakdowns.
- Implementing predictive maintenance systems based on AI will reduce operational costs by minimizing unplanned downtime.
- Utilizing intelligent analytics will enhance the accuracy of predicting component life expectancy, improving the reliability of HVAC systems.

4. Managerial Role in Active Participation

- I am ready to support digital transformation initiatives in maintenance management.
- I will encourage employees to participate in implementing AI technologies.

5. Administrative Challenges

- High initial investment costs represent an obstacle to adopting AI technologies.
- Employee resistance to change may limit the success of implementation.

Abstract

This study aims to explore employees' perceptions regarding the potential use of artificial intelligence (AI) in managing HVAC Maintenance, through an exploratory study conducted at King Abdulaziz International Airport in Jeddah. The research examines four main dimensions: acceptance of changing work methods, readiness for training, positive expectations, and actual participation, as well as field and administrative challenges affecting AI adoption.

The study employs a descriptive-analytical methodology, based on the Technology Adoption Model (TAM) to interpret individual behavior toward new technologies, and the Predictive Maintenance Theory to understand the impact of AI on maintenance operations. Data were collected via two digital questionnaires, distributed to 96 technicians and 57 supervisors and managers, and analyzed using SPSS v.25.

The results indicate that technicians, supervisors, and managers demonstrate high levels of acceptance, readiness for training, and active participation, alongside positive expectations regarding AI's impact on enhancing maintenance efficiency, reducing breakdowns, and lowering operational costs. Statistical analyses confirmed significant relationships between employees' perceptions and their readiness to adopt and utilize AI technologies.

The study recommends enhancing specialized training programs, promoting active participation, managing field and administrative challenges, and providing strong leadership support to ensure the successful digital transformation of air-conditioning maintenance.

Keywords: Artificial Intelligence, HVAC Maintenance, Digital Transformation, Technology Adoption Model, Predictive Maintenance

MidOcean University

College of Management

Master of Business Management



**“Employees’ Perceptions Toward the Potential Use of Artificial
Intelligence in Managing HVAC Maintenance: An Exploratory
Study at King Abdulaziz International Airport, Jeddah”**

Prepared by:

Student: Shadi Fadel Al Sharif

Academic ID: 251002723

Supervised by:

Dr. Al-Faisal Abdul Hameed Mohammed

Dr. Faiz Ali Jarad

Academic Year:

2025 / 1447