

عنوان البحث

"تصورات العاملين حول إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة
أنظمة التكييف (HVAC): دراسة استطلاعية بمطار الملك عبدالعزيز الدولي
بجدة"

إعداد الطالب / شادي فضل الشريف (251002623)

إشراف/

د.فايز جراد

د.الفصل عبد الحميد

العام الدراسي:

2025

مقدمة:

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 الـ 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 دوراً جوهرياً 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 بيّنت 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 لأثر الذكاء الاصطناعي على الأداء والتكاليف، وأخيرا 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 بجدة 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 تحديًا جوهريًا 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 ومديرين بمطار الملك عبد العزيز الدولي بجدة، حول

إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في صيانة أنظمة التكييف؟

أسئلة البحث الفرعية:

1. ما مدى تقبل الفنيين والمديرين لفكرة تغيير أساليب العمل التقليدية لصيانة أنظمة التكييف، والتحول إلى أساليب صيانة تنبؤية قائمة على الذكاء الاصطناعي؟
2. ما مستوى استعداد العاملين بمختلف فئاتهم (فنيين ومديرين) لتلقي التدريب على استخدام أنظمة وأدوات الذكاء الاصطناعي في أعمال الصيانة التنبؤية؟
3. ما هي توقعات العاملين حول الأثر المحتمل لتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء أنظمة التكييف وتقليل التكاليف التشغيلية والصيانة؟

4. ما مدى استعداد العاملين للمشاركة الفعلية في مبادرات التحول الرقمي وإنجاح تطبيق أنظمة

الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي؟

5. 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 2030.

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 أيضًا في مساهمته في:

1. تزويد الإدارة بقاعدة بيانات كمية تدعم القرارات المتعلقة بتطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي

والصيانة التنبؤية AI-PdM .

2. تقديم توصيات عملية يمكن البناء عليها لتصميم برامج تدريب وتغيير تنظيمي.

3. 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 تصوّرات العاملين من فنيين ومديرين 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:

1. قياس مستوى الوعي والتصورات لدى العاملين من فنيين ومديرين حول أهمية الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية.
2. تحليل استعداد العاملين لتغيير أساليب العمل التقليدية لصالح أساليب معتمدة على الذكاء الاصطناعي AI .
3. استكشاف مدى استعداد العاملين للمشاركة في برامج التدريب على استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي AI .
4. قياس توقعات العاملين حول الأثر الإيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين الأداء وخفض التكاليف.
5. تحديد مدى استعداد العاملين للمشاركة الفعلية في إنجاح مبادرات التحول الرقمي.
6. 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 الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية وبين استعدادهم الفعلي لتبني هذه الأنظمة.

الفروض الفرعية:

1. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التصورات الإيجابية والاستعداد لتغيير أساليب العمل.
2. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التصورات الإيجابية والاستعداد لتلقي التدريب على استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي.
3. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التصورات الإيجابية وتوقعات الأثر الإيجابي على الأداء والتكاليف.
4. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التصورات الإيجابية واستعداد العاملين للمشاركة الفعلية في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي.
5. تختلف التصورات والاستعداد الفعلي باختلاف المسمّى الوظيفي (فني/مدير).
6. تختلف التصورات والاستعداد الفعلي باختلاف عدد سنوات الخبرة.

الدراسات السابقة:

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

دراسة (الخالدي، 2025): 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 203 مشاركين من ذوي الاختصاص، ضمّت مهندسين وفنيين ومديرين في مؤسسات

تعمل في تشغيل وصيانة أنظمة HVAC. وغطّت الأداة عدة محاور أساسية تضمنت تصوّرات

المستجيبين حول الفوائد المحتملة لتبني أنظمة الذكاء الاصطناعي، ومدى جاهزية 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، إضافةً 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، 2025): قدمت هذه الدراسة إطارًا تطبيقيًا حديثًا 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 تحكم تفاعلية لتمكين فرق الصيانة من اختبار السيناريوهات وتشخيص الأعطال قبل وقوعها.

وأظهرت النتائج تحسنًا في سرعة الاستجابة للأعطال بنسبة وصلت إلى 40% مقارنةً بالطرق التقليدية، مع انخفاض التكاليف السنوية للصيانة بنسبة بلغت نحو 12%. 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 التحوّل 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 يشكل 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, 2024): 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 بالمخرجات 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, 2024): 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 التحوّلات الرقمية ضمن بيئة تشغيلية شديدة الحساسية مثل الطيران المدني. استخدمت الدراسة منهجًا نوعيًا من خلال إجراء مقابلات نصف مهيكلّة مع عينة من 30 مشاركًا ضمّت فنيين ومديري صيانة، إلى جانب توزيع استبيان مُكمّل لقياس درجة الثقة لدى العاملين في أدوات الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.

وخلصت النتائج إلى أن حوالي 65% من المشاركين أبدوا استعدادًا إيجابيًا لتبني هذه الأنظمة، بشرط توفير برامج تدريب وتأهيل مناسبة. وأشارت النتائج أيضًا إلى أن العامل البشري ما يزال يمثل عنصرًا حاسمًا 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 نهجًا متعدد الأساليب لدراسة اعتماد الذكاء الاصطناعي والرفاهية الاجتماعية للموظفين في مؤسسات إدارة المرافق في جميع أنحاء جنوب أفريقيا. وشمل البحث موظفين من 22 مؤسسة، وكشف أنه على الرغم من قدرة الذكاء الاصطناعي على تعزيز جوانب الرفاهية الاجتماعية وتحسين الصيانة التنبؤية، إلا أنه يثير أيضًا 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.,2024): 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 جُمعت 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 12%، إضافةً إلى انخفاض أعطال الأنظمة الحيوية مثل HVAC بنسبة 18%، مما يعكس دور الابتكار الرقمي في دعم جاهزية البنية التحتية وتحقيق وفورات تشغيلية ملموسة في قطاع الطيران.

دراسة (Lahna,2023): 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 25%، مع تحسن دقة جداول الصيانة الدورية بنسبة 30%. 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 (Wilson 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. وتتبع 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 تأثرًا 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 تشكّل 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 ويحدّ من فعالية تبني الأنظمة الحديثة. كما بيّنت 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 92% في رصد الأعطال قبل حدوثها

بعدة أيام، مما انعكس إيجاباً على خفض التكاليف التشغيلية بنسبة تراوحت بين 10% و15% 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 التوأّم 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 **Wilson 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 ركّزت 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، مسلّطاً الضوء على فجوات المهارات ومخاطر أمن البيانات. وأخيراً، بيّنت 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 (تقبّل التغيير، والتدريب، والتوقعات، والمشاركة الفعلية). كما ساعدت نتائج هذه الأدبيات في صياغة أسئلة البحث وفروضه، خاصةً في تأكيد أن نجاح أي مشروع صيانة تنبؤية يعتمد على استعداد الكوادر البشرية ومدى تقبّلها للتكنولوجيا الحديثة، فضلاً عن أهمية التدريب والتنوعية 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 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 (استبيانين) تفصل بين الفنيين والمديرين لضمان ملائمة القياس. كما يقدّم البحث مقارنة دقيقة تربط الجوانب الفنية بالعوامل البشرية في نفس السياق المحلي، وهو ما لم تتطرق 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.

المنطلقات النظرية 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)

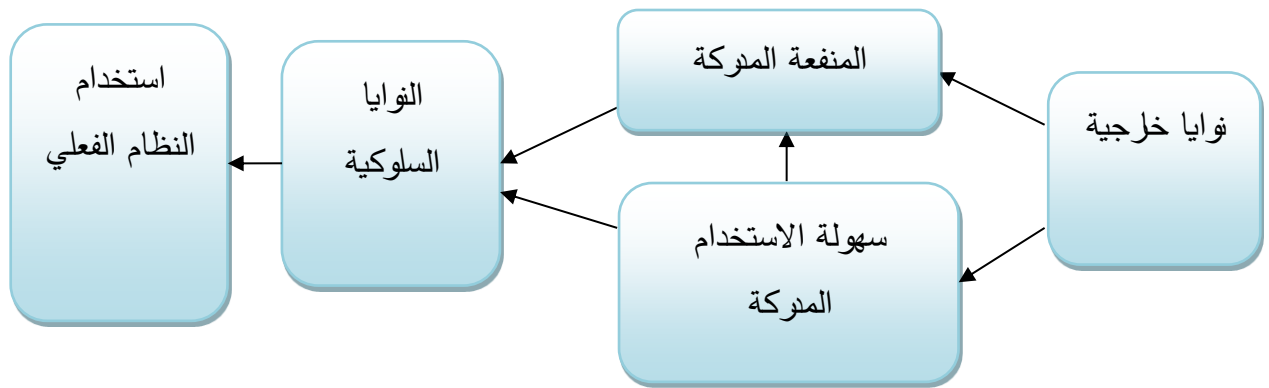
صمّم هذا النموذج ليوضح كيفية قبول المستخدمين للتكنولوجيا الحديثة، وبني الأساس النظري للنموذج على فرضية وجود ثلاثة عوامل تؤثر في قرارهم بشأن تقبل التكنولوجيا الحديثة وهي: الفائدة التي تعود على المستخدم من قبول التكنولوجيا، ثم مدى سهولة الأدوات التكنولوجية التي يتعرض لها المستخدم، وثالثاً: موقف المستخدم 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.

ويعُدُّ نموذج قبول التكنولوجيا (TAM) Technology Acceptance Model 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 1985.

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، نموذجاً قوياً 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 (1) 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 أيضا بعض الدراسات التي أجريت في البيئة العربية والتي تناولت انتشار تكنولوجيا المعلومات واستخدامها بالاعتماد على نموذج تقبل التكنولوجيا.

واستنادا 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 عاملا محددا للاستخدام الفعلي، أو عدم الاستخدام لهذه التكنولوجيا. ويتأثر اتجاه المستخدم بدوره بعاملين رئيسيين: هما المنفعة المدركة، وسهولة الاستخدام المدركة. كما أن سهولة الاستخدام المدركة تؤثر مباشرة في المنفعة المدركة، ويرتبط عامل الاتجاه بمشاعر الفرد وانفعالاته نحو استخدام التكنولوجيا، وأخيرا تتأثر كل من المنفعة المدركة وسهولة الاستخدام بعوامل أخرى خارجية External Variables.

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

وفي هذا الإطار، استُخدم النموذج لتفكيك المتغيّر المستقل (التصوّرات) إلى بُعدين جوهريين يقيسان:

- أولاً: قناعة العاملين بأن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يُحسّن أداء أنظمة التكيف ويقلل من

الأعطال والتكاليف (المنفعة المدركة).

- ثانياً: درجة سهولة تعلّم 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 (Predictive Maintenance – PdM)

تعد نظرية الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance – PdM) 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:

1. 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.

2. 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.

3. 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).

4. 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).

المخطط المفاهيمي لإطار الصيانة التنبؤية (PdM) المدمجة بـ AI و IoT

أصل النظام (Asset)



(حساسات IoT)



(قاعدة بيانات لحظية)



(منصة تحليلات بالذكاء الاصطناعي)



(نموذج تعلم آلي) (توأم رقمي) Digital Twin



(تنبؤ بالأعطال)



(جدولة أوتوماتيكية للصيانة)



(خفض التكاليف + تحسين الأداء)

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 وفقاً لرؤية 2030.

ومن خلال اعتماد هذا الإطار، يسعى البحث الحالي إلى استكشاف تصوّرات العاملين حول مدى استعدادهم لتبنيّ 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**.

المنهجية وطرق البحث:

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي لدراسة العلاقة بين تصوّرات العاملين من فنيين ومديرين كمتغيّر مستقل، وبين الاستعداد الفعلي لتبنيّ الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي كمتغيّر تابع، وذلك من خلال قياس الأبعاد الأربعة الرئيسة: (1) الاستعداد لتغيير أساليب العمل التقليدية، (2) الاستعداد للتدريب على التقنيات الحديثة، (3) التوقعات الإيجابية تجاه الأثر المتوقع، و(4) 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 تقبّل التكنولوجيا - نظرية الصيانة التنبؤية).

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

أدوات الدراسة:

تتكون أدوات البحث من استبيانين إلكترونيين منفصلين على النحو التالي:

■ الاستبيان الأول (الفنيين):

- يشمل أسئلة تتعلق بالبيانات الديموغرافية (مثل العمر، سنوات الخبرة، القسم 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 (المديرين):

- أسئلة ديموغرافية خاصة بالمديرين (مثل سنوات الخبرة الإدارية، المستوى الوظيفي).
- مقاييس تقيس تصورات المديرين عن الأثر الاستراتيجي لتطبيق الذكاء الاصطناعي.
- مقاييس لمدى تقبل التحوّل 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.

وسيتم بناء بنود الاستبيانين 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.

وبعد جمع البيانات الإحصائية، سيتم تحليلها باستخدام البرمجيات الإحصائية الملائمة مثل SPSS، وتشمل:

- الإحصاءات الوصفية لقياس الاتجاهات العامة للعينة.
- معامل الارتباط (Pearson) لاختبار العلاقة بين التصورات والاستعداد بأبعاده الأربعة.
- اختبار الفروق (T-test) أو (ANOVA) لتحليل الفروق حسب الدور الوظيفي وسنوات الخبرة.
- تحليل الانحدار البسيط والمتعدد لاختبار قوة التأثير لكل بعد من الأبعاد.

حدود الدراسة:

1. الحدود المكانية:

ينحصر تطبيق الدراسة في مطار الملك عبدالعزيز الدولي بجدة كبيئة تشغيلية حساسة تعتمد

أنظمة HVAC.

2. الحدود الزمانية:

تغطي فترة جمع البيانات وتحليلها العام الأكاديمي 2026/2025.

3. الحدود الموضوعية:

يركّز البحث فقط على العلاقة بين تصورات الفنيين والمديرين تجاه توظيف الذكاء

الاصطناعي في الصيانة التنبؤية، مع تحليل الاستعداد الفعلي بأبعاده الأربعة، دون التطرق إلى أنواع صيانة أو أنظمة تشغيل أخرى.

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. (2025). AI-based optimization of HVAC systems in Kuwait:

A descriptive study on industry adoption and performance benefits.

Academic Journal of Research and Scientific Publishing.

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

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., et al. (2025). Exploring the future of AI in airport operations.

Lahna, T. (2023). *The use of BIM for the management of predictive maintenance in airport infrastructure* (Doctoral dissertation). HAL Archives. <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 *Emerging Trends in Aviation*. IGI Global. <https://www.igi->

global.com/chapter/emerging-role-of-artificial-intelligence-ai-in-aviation/340953

Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

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*. Advance online publication.

Sanzana, M. R., Maul, T., Wong, J. Y., & Abdulrazic, M. O. M. (2022). Application of deep learning in facility management and maintenance for heating, ventilation, and air conditioning. *Automation in Construction*. Advance online publication.

<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).

<https://doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926>

Williady, A., Narariya, D. H., & Kim, H. S. (2024). Investigating efficiency and innovation: An exploratory and predictive analysis of smart airport systems. *ProQuest Dissertations & Theses Global*.

<https://search.proquest.com/openview/f859680eb0f03f9f8a1934260bbbfbf7/1?pq-origsite=gscholar&cbl=5465953>

Wilson, J. K., Mrusek, B., Reimann, M., Witcher, K., & Solti, J. (2022). Predictive data analytics in aviation maintenance: A cultural perspective. In *International Conference on Intelligent Human Systems Integration*.

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).