

Final Project 2

PMG 497

المشروع النهائي

عنوان المشروع

دور تقنيات تحليل البيانات في تطوير
استراتيجيات الصيانة ورفع الكفاءة التشغيلية في منظومة الطائرات

الطالب

مشعل يوسف محمود قدوري

المشروع النهائي- 2

كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

إشراف

د. عبد الرحيم نادر

عضو هيئة التدريس- كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

2025

الفصل الدراسي الثالث

مستخلص الدراسة

الهدف:

تهدف الدراسة الى توضيح دور التقنية وتحليل البيانات في تحسين أساليب الصيانة بداخل منظومة الطائرات وذلك من خلال الاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات لتقليل حدوث الأعطال غير المخطط لها ورفع الكفاءة التشغيلية

المنهجية:

اعتمدت الدراسة على منهج وصفي تحليلي يستند إلى الدراسات والبيانات السابقة في قطاع الطيران إضافة إلى اقتراح دراسة مستقبلية لجمع البيانات من شركات الطيران ومراكز الصيانة لتقييم أثر تحليل البيانات على أداء الصيانة

النتائج:

أظهرت الدراسة أن دمج تقنيات تحليل البيانات في أنظمة الصيانة يساعد في خفض التكاليف التشغيلية وتقليل الأعطال المفاجئة إلى جانب المساهمة في اتخاذ القرارات بناءً على بيانات دقيقة

التطبيقات والأهمية:

تقدم هذه الدراسة حلول تقنية تساعد في الكفاءة التشغيلية في منظومة صيانة الطائرات من خلال تجنب الآثار الناتجة عن جدولة الصيانة بشكل مفاجئ دون بيانات أو دراسات دقيقة أو تنبؤية كما انها تساعد في تحسين دقة قرارات الصيانة والتخطيط المسبق لها وتظهر النتائج بعد الدراسة ان الأنظمة المعتمدة على التحليل التنبؤي قادرة على تحديد الأعطال المحتملة قبل حدوثها مما يقلل من الأعطال الطارئة

الكلمات المفتاحية:

تحليل البيانات - الذكاء الاصطناعي - التحليل التنبؤي - الكفاءة التشغيلية - منظومة الطائرات - صيانة الطائرات - التحول الرقمي في قطاع الطيران

جدول المحتويات

2	مستخلص الدراسة.....
5	1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة.....
6	1.1. المقدمة:.....
7	1.2. مشكلة الدراسة.....
7	1.2.1. فجوات على المستوى النظري.....
7	1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي.....
7	1.3. أهمية الدراسة.....
7	1.3.1. على المستوى النظري:.....
7	1.3.2. على المستوى التطبيقي:.....
8	1.4. أسئلة الدراسة.....
8	1.5. أهداف الدراسة.....
8	1.6. فرضيات الدراسة.....
8	1.7. نموذج الدراسة.....
9	1.8. الدراسة الميدانية.....
10	1.9. مخطط المشروع.....
11	2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة.....
12	2.1. المقدمة:.....
13	2.2. المتغير المستقل.....
14	2.3. المتغير التابع.....
15	2.4. العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع.....
16	2.5. الخاتمة.....

3. الفصل الثالث: منهجية الدراسة.....	17
3.1. المقدمة.....	18
3.2. التعريفات الإجرائية لمتغيرات البحث.....	18
3.3. تصميم البحث.....	18
3.4. مجتمع البحث وطرق وتقنيات أخذ العينات.....	19
3.5. طريقة جمع البيانات.....	20
3.6. أنواع البيانات.....	20
3.7. إجراءات التحليل الإحصائي.....	21
3.8. الخاتمة.....	21
4. الفصل الرابع: التحليل الإحصائي ومناقشة النتائج.....	22
4.1. المقدمة.....	23
4.2. توصيف عينة الدراسة (الإحصائيات الوصفية لعينة البحث).....	23
4.3. اختبارات الصدق والثبات للاستبيانات.....	24
4.4. الإحصاء الوصفي لمتغيرات البحث (الإجابة على أسئلة البحث).....	26
4.5. اختبار الفرضيات ومناقشة النتائج.....	27
4.6. الخاتمة.....	27
5. الفصل الخامس: حدود البحث والتوصيات والاستنتاجات.....	28
5.1. حدود الدراسة والدراسات المستقبلية:.....	29
5.2. توصيات الدراسة:.....	29
5.3. الخاتمة:.....	29
قائمة المراجع.....	30
الملاحق.....	31

1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1. المقدمة:

- تواجه شركات الطيران تحديات كبيرة في جدولة الصيانة مما يؤدي الى فترات توقف غير مخطط لها تؤثر سلباً على الكفاءة التشغيلية وقد يساعد استخدام التقنيات والذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال المحتملة في تعزيز الكفاءة التشغيلية
- تناولت الدراسات السابقة أهمية جدولة الصيانة وتأثيرها على الأداء وقد يساعد دمج الذكاء الاصطناعي في تقليل الآثار المترتبة على الجدولة
- تفتقر الأبحاث السابقة الى تحليل متكامل يجمع بين توافر الموارد البشرية والتقنيات الحديثة
- يهتم هذا البحث بدمج التقنيات الحديثة لتحسين استراتيجيات الصيانة والمساهمة في الكفاءة التشغيلية مما يساعد في سلامة الطيران ورضا العملاء
- يهدف هذا البحث الى استكشاف العوامل المؤثرة في جدولة الصيانة وتقديم التوصيات والتنبؤات من خلال استخدام التقنيات الحديثة مما يقدم صورة واضحة ومتكاملة لمراكز الصيانة بشكل مستمر ودوري بناء على بيانات دقيقة ودراسات

1.2. مشكلة الدراسة

1.2.1. فجوات على المستوى النظري

تفتقر الأدبيات الحالية إلى نموذج متكامل يوضح العلاقة بين تحليل البيانات واستراتيجيات الصيانة مما يصعب فهم أثرها على تحسين الكفاءة التشغيلية

1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي

يظهر نقص واضح في الدراسات التي توضح دور البيانات في دعم قرارات الصيانة مما يحد من الاستفادة العملية في بيانات العمل الواقعية من التقنيات الحديثة

ما العوامل المؤثرة في تشغيل وتوظيف تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي لتحسين استراتيجيات الصيانة ورفع كفاءة الأداء في شركات الطيران؟

1.3. أهمية الدراسة

1.3.1. على المستوى النظري:

تسهم هذه الدراسة في إثراء الأدبيات المتعلقة بصيانة الطائرات من خلال توضيح العلاقة بين تحليل البيانات وتقنيات الذكاء الاصطناعي واستراتيجيات الصيانة مما يعزز ويسهم في بناء ترابط بين التقنيات الحديثة والكفاءة التشغيلية

1.3.2. على المستوى التطبيقي:

تقدم هذه الدراسة توصيات عملية لشركات الطيران حول توظيف التقنيات الحديثة والذكاء الاصطناعي لتحسين استراتيجيات الصيانة مما يسهم في تقليل فترات التوقف غير المخطط لها ورفع الكفاءة التشغيلية إضافة إلى تعزيز سلامة الطيران ورضا العملاء ودعم القدرة التنافسية في النقل الجوي

1.4. أسئلة الدراسة

- كيف يمكن لاستخدام تحليل البيانات وتقنيات الذكاء الاصطناعي أن يؤثر على معدلات التوقف غير المخطط لها في شركات الطيران؟
- ما العلاقة بين تحليل البيانات ودقة جدولة الصيانة وتأثيرها على تكاليف التشغيل الإجمالية في منظومة صيانة الطائرات؟
- إلى أي مدى تساهم التقنيات الحديثة وتحسين عمليات تحليل البيانات في رفع كفاءة استخدام الموارد البشرية والتقنية في مراكز صيانة الطائرات؟

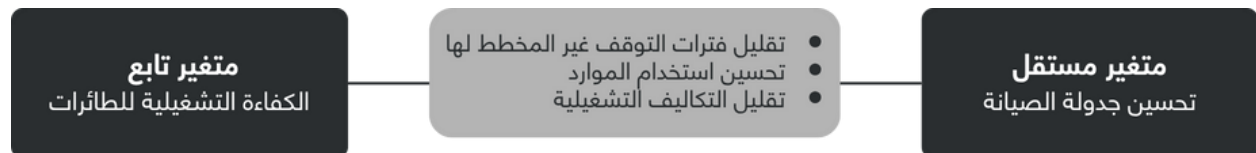
1.5. أهداف الدراسة

- تحليل تأثير تطبيق التقنيات الحديثة مثل تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي على تقليل فترات توقف الطائرات غير المخطط لها وزيادة الكفاءة التشغيلية
- تقييم العوامل المؤثرة في جدولة الصيانة ودور البيانات في تحسينها لتحقيق أداء أفضل في منظومة صيانة الطائرات
- تقديم توصيات عملية لتعزيز استراتيجيات الصيانة بما يساهم في تحسين استخدام الموارد البشرية والتقنية وتقليل التكاليف التشغيلية

1.6. فرضيات الدراسة

- توظيف تحليل البيانات والتقنيات في تحسين جدولة الصيانة يؤدي إلى رفع الكفاءة التشغيلية عبر تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وتحسين إدارة الموارد وتقليل التكاليف التشغيلية

1.7. نموذج الدراسة



1.8. الدراسة الميدانية

قامت شركة الخطوط الجوية اليابانية (Japan Airlines) بإجراء دراسة ميدانية بهدف تحسين جدولة الصيانة وزيادة كفاءة تشغيل الطائرات.

جاءت هذه الدراسة بعد ملاحظة الشركة لوجود بعض التأخيرات الناتجة عن الأعطال المفاجئة فبدأت في تطبيق نظام جديد يعتمد على تحليل البيانات وجمع المعلومات من سجلات الصيانة السابقة لتحديد الأوقات المناسبة لإجراء الصيانة قبل حدوث أي مشكلة

اعتمدت الشركة على برنامج إلكتروني ذكي يقوم بمتابعة حالة الطائرات بشكل مستمر ويرسل تنبيهات عند اقتراب موعد الصيانة أو عند ملاحظة أي مؤشرات قد تؤدي إلى عطل مستقبلاً

من خلال هذه الخطوة استطاعت الشركة تنظيم مواعيد الصيانة بطريقة أفضل وتوزيع العمل بين الفرق الفنية بشكل متوازن مما ساعد على تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وتحسين جاهزية الطائرات للرحلات اليومية

أظهرت نتائج الدراسة أن هذا النظام الجديد أدى إلى تقليل مدة الصيانة بنسبة تقارب 10%، ورفع مستوى الكفاءة التشغيلية بنسبة ملحوظة مقارنة بالسنوات السابقة.

كما ساعد النظام على استغلال الموارد البشرية بشكل أفضل وتقليل الضغط على الفرق الفنية، إلى جانب خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بعمليات الصيانة

وتعتبر تجربة الخطوط الجوية اليابانية مثالاً عملياً ناجحاً يوضح كيف يمكن لتطبيق أنظمة حديثة في جدولة الصيانة أن يرفع من مستوى الأداء ويحسن سير العمل داخل شركات الطيران مما يدعم أهمية تطوير هذا النوع من الأنظمة في مختلف قطاعات النقل الجوي

1.9. مخطط المشروع



2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة

2.1. المقدمة:

يحظى مجال صيانة الطائرات باهتمام متزايد في الوقت الحالي خاصة من الباحثين الذين يدرسون طرق تنظيم وجدولة الصيانة وتأثيرها على كفاءة تشغيل الطائرات

توضح كثير من الدراسات أن الاهتمام بجدولة الصيانة يساعد في الحفاظ على سلامة الطائرات وتقليل الأعطال غير المتوقعة التي تسبب تأخير الرحلات أو توقفها

كما أظهرت الأبحاث أن وضع خطة صيانة منظمة وفعّالة يسهم في تحسين استخدام الموارد داخل مراكز الصيانة وتقليل المصروفات التشغيلية، مما ينعكس إيجابًا على أداء الشركات وجودة خدماتها

وفي السنوات الأخيرة بدأت بعض شركات الطيران بالاعتماد على أنظمة ذكية لتحليل بيانات الطائرات والتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها وهو ما ساعد في رفع كفاءة التشغيل وتقليل الوقت الضائع في الصيانة

ورغم هذا التقدم ما زال هناك حاجة لمزيد من التطوير في هذا المجال خصوصًا فيما يتعلق بأنظمة الجدولة

في هذا السياق تسعى هذه الدراسة إلى استعراض وتحليل أهم ما توصلت إليه الدراسات السابقة حول أثر جدولة الصيانة على الكفاءة التشغيلية مع التركيز على الأساليب الحديثة والتقنيات المستخدمة في هذا المجال كما تهدف إلى تحديد الجوانب التي لم يتم تناولها بشكل كافٍ في الأبحاث السابقة والتي يمكن أن تسهم الدراسة الحالية في معالجتها

2.2. المتغير المستقل

جدولة الصيانة:

تُعد جدولة الصيانة من أهم العوامل التي تؤثر مباشرة على كفاءة عمل منظومة صيانة الطائرات. ويقصد بها تنظيم وتخطيط مواعيد الصيانة مسبقاً لضمان جاهزية الطائرات وتقليل احتمالية حدوث الأعطال المفاجئة

تعتمد عملية الجدولة على عدة عوامل مثل حالة الطائرة وساعات الطيران والتعليمات الصادرة من الشركات المصنعة، إضافةً إلى متطلبات السلامة من الجهات التنظيمية. وتختلف طرق الجدولة بين الأساليب التقليدية التي تعتمد على فترات زمنية ثابتة، والأساليب الحديثة التي تستخدم تحليل البيانات ومتابعة أداء المكونات لتحديد الوقت الأنسب للصيانة.

تساعد جدولة الصيانة الجيدة في تحسين استغلال الموارد البشرية والمادية، وتقليل فترات التوقف المفاجئة، مما يؤدي إلى رفع الكفاءة التشغيلية للطائرات. لذلك يُعتبر تطوير أساليب الجدولة خطوة مهمة نحو تحسين السلامة التشغيلية وتقليل التكاليف المرتبطة بالصيانة والإصلاح.

2.3. المتغير التابع

الكفاءة التشغيلية:

تشير الكفاءة التشغيلية إلى مدى قدرة منظومة الصيانة على الحفاظ على جاهزية الطائرات واستمرارها في العمل بكفاءة وأمان دون تأخير أو توقف غير مخطط له.

وتُعد الكفاءة التشغيلية مؤشراً أساسياً لنجاح عمليات الصيانة في ضمان أداء الطائرات بالشكل المطلوب.

يتم تقييم الكفاءة التشغيلية من خلال مؤشرات مثل نسبة الجاهزية التشغيلية، ومتوسط زمن التوقف، ومعدل الأعطال المفاجئة، والتكاليف التشغيلية المرتبطة بالصيانة.

وتؤثر هذه الكفاءة بشكل مباشر على قدرة شركات الطيران على تنفيذ رحلاتها في المواعيد المحددة وتقليل التأخيرات، مما ينعكس إيجاباً على رضا العملاء وتقليل الخسائر المالية.

لذلك، يُعتبر تحسين الكفاءة التشغيلية هدفاً أساسياً لكل منظومات صيانة الطائرات، وهو يعتمد بدرجة كبيرة على مدى فعالية جدولة الصيانة وتنفيذها بدقة وفق الخطط المحددة.

2.4. العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع

ترتبط جدولة الصيانة بالكفاءة التشغيلية ارتباطاً مباشراً فكلما كانت الصيانة منظمة ومخططة بشكل جيد زادت قدرة الطائرات على العمل بكفاءة واستمرار.

يساعد التخطيط المسبق للصيانة في تقليل الأعطال المفاجئة التي تسبب توقف الطائرات كما يسهل اكتشاف المشكلات الفنية في وقت مبكر قبل أن تتطور وهذا يقلل من تكاليف الإصلاح ويحافظ على جاهزية الطائرات.

كذلك تسهم الجدولة الجيدة في استخدام أفضل للوقت والموارد وتمنع التأخير أو التداخل في أعمال الصيانة مما يسرع من عودة الطائرات للعمل بشكل آمن وفعال.

ومع التقدم التقني أصبحت أنظمة الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي تساعد في تحسين جدولة الصيانة لأنها تتوقع الأعطال قبل حدوثها وتقترح الوقت الأنسب للصيانة وهذا يرفع من مستوى الكفاءة التشغيلية للطائرات.

وبشكل عام هناك علاقة طردية بين المتغيرين فكلما كانت جدولة الصيانة أدق وأكثر تنظيماً واعتماداً على التقنيات الحديثة ارتفعت كفاءة التشغيل وقلت الأعطال والتكاليف.

2.5. الخاتمة

في ختام هذا البحث يتضح أن جدولة الصيانة تلعب دورا كبيرا في رفع الكفاءة التشغيلية لمنظومة صيانة الطائرات، فهي تؤثر بشكل مباشر على جاهزية الطائرات وسلامتها واستمرار رحلاتها. أظهرت النتائج أن التخطيط الجيد والمنظم لمواعيد الصيانة سواء كان بالطريقة التقليدية أو من خلال الجدولة التنبؤية يساعد على تقليل الأعطال المفاجئة واختصار فترات التوقف غير المخطط لها، مما يحسن استخدام الموارد ويقلل من تكاليف الصيانة والتشغيل.

كما أن استخدام التقنيات الحديثة مثل تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي أصبح جزءا أساسيا في تطوير أنظمة الصيانة الحديثة، حيث تتيح هذه الأدوات التنبؤ بالمشكلات قبل حدوثها وتحديد الوقت الأنسب للصيانة، مما يزيد من قدرة المنظومة على التعامل بسرعة مع التغيرات الفنية والتشغيلية ويرفع من مستوى الكفاءة التشغيلية بشكل واضح.

ومع ذلك ما زالت هناك تحديات تواجه أنظمة الصيانة مثل تعقيد الإجراءات والحاجة إلى تنسيق أفضل بين الأنظمة التقنية والعاملين إضافة إلى متطلبات السلامة الصارمة التي تتطلب دقة عالية في كل خطوة ولهذا فإن تطوير أساليب جدولة أكثر مرونة وذكاء إلى جانب تدريب الكوادر الفنية واستخدام أنظمة تحليل متقدمة يعد خطوة مهمة لمواكبة التطور السريع في صناعة الطيران.

من جهة أخرى فإن الكفاءة التشغيلية لا تقتصر على الجوانب الفنية فبل تشمل أيضا الجوانب الإدارية والاقتصادية التي تؤثر على انتظام الرحلات ورضا العملاء وقدرة شركات الطيران على المنافسة. لذلك فإن الاستثمار في تحسين جدولة الصيانة هو استثمار استراتيجي يعود بالنفع على الأداء والسلامة والتكلفة على المدى الطويل.

في ضوء ذلك توصي هذه الدراسة بضرورة تبني أنظمة جدولة تعتمد على البيانات والذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي، مع تعزيز التعاون بين مختلف الإدارات داخل منظومة الصيانة لضمان تحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية. كما تشجع على إجراء المزيد من الدراسات التطبيقية لتطوير أدوات ذكية تتناسب مع التطور التقني ومتطلبات السلامة في مجال الطيران.

وفي النهاية يمكن القول إن جدولة الصيانة ليست مجرد عملية تنظيمية بل هي عنصر أساسي واستراتيجي يضمن نجاح واستدامة عمليات الطيران ومن خلال تطويرها بالاعتماد على التحليل الذكي والتقنيات الحديثة يمكن تحقيق تحول حقيقي في أداء منظومات الصيانة بما يعزز سلامة الركاب والطواقم ويرفع من كفاءة صناعة الطيران بشكل عام

3. الفصل الثالث: منهجية الدراسة

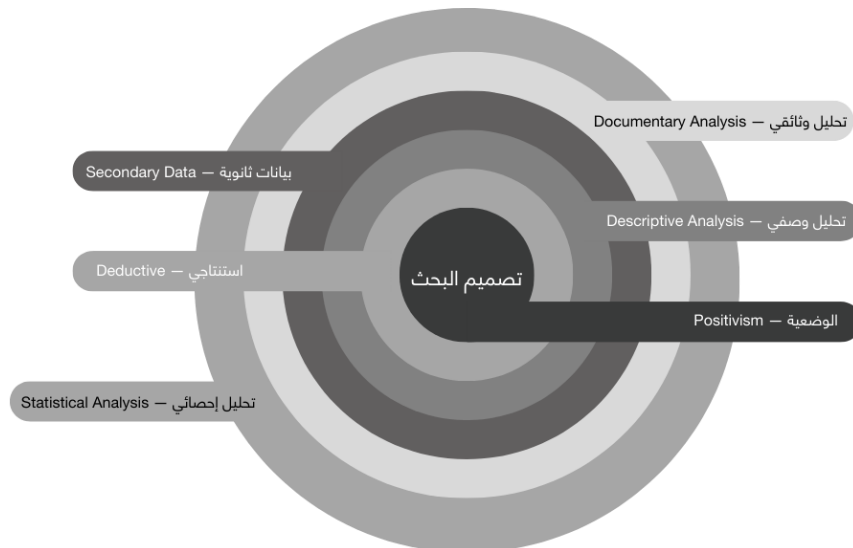
3.1. المقدمة

يتناول هذا الفصل المنهجية العلمية التي تم اتباعها في الدراسة وبما أن موضوع الدراسة يعتمد على فهم وتحليل السجلات الفنية المتعلقة بصيانة الطائرات فقد تم استخدام منهج وصفي تحليلي بهدف تحليل البيانات الفنية المتاحة واستخلاص المؤشرات التي تعكس أثر تقنيات تحليل البيانات على استراتيجيات الصيانة والكفاءة التشغيلية واعتمدت الدراسة على البيانات الثانوية المتوفرة في التقارير المنشورة حول صيانة الطائرات بما في ذلك المؤشرات التشغيلية ومعدلات الأعطال الواردة في الدراسات السابقة وتقارير الشركات العالمية مثل Boeing و Airbus ولم تعتمد الدراسة على سجلات تشغيل داخلية نظرا لعدم إتاحتها للباحثين

3.2. التعريفات الإجرائية لمتغيرات البحث

- تقنيات تحليل البيانات - المتغير المستقل
وتشير إلى استخدام ادوات تحليل البيانات المتوفرة ضمن التقارير الفنية وبيانات الأعطال ويتم قياسها من خلال مدى استخدام التحليل التنبؤي وجودة البيانات واستخراجها
- استراتيجيات الصيانة - المتغير الوسيط
وتشمل الصيانة الوقائية والتنبؤية ويتم قياسها من خلال مستوى تطبيقها وفق لما تظهره التقارير الفنية وسجلات الدورات الفنية للطائرات
- الكفاءة التشغيلية - المتغير التابع
وتقاس من خلال مؤشرات مثل زمن التوقف ومعدلات الأعطال والجاهزية وذلك كما ورد في سجلات التشغيل اليومية وتقارير الأداء الفني

3.3. تصميم البحث (بصلة البحثي)



- الفلسفة البحث:
المنهج الوضعي
- أساليب التحليل:
استنتاجي
- منهجيات البحث:
تحليل وصفي
- أدوات البحث:
أداة واحدة كمية
- المدة الزمنية:
المقطعية
- التقنيات والإجراءات:
بيانات ثانوية وتحليل إحصائي

3.4. مجتمع البحث وطرق وتقنيات أخذ العينات

يمثل مجتمع البحث في هذه الدراسة المصادر الدولية التي توفر بيانات واقعية عن صيانة الطائرات بما فيها:

- الشركات المصنعة للطائرات (Boeing – Airbus)
- الجهات الرقابية (EASA)
- المنظمات الدولية للطيران (ICAO)
- وكالات بحثية (NASA)
- قواعد بيانات الصيانة والسلامة
- أبحاث علمية متخصصة في التحليل التنبؤي للأعطال بالذكاء الاصطناعي

وقد تم الاعتماد على العينة لاختيار البيانات التي تتناول:

(تحليل البيانات - الأعطال - مؤشرات الكفاءة - الصيانة - توظيف الذكاء الاصطناعي)

المصدر	نوع الجهة	نوع البيانات / مجال الاستخدام
Boeing	شركة مصنعة للطائرات	بيانات تشغيل – معدلات الأعطال
Airbus	شركة مصنعة للطائرات	تقارير الصيانة – تحسين الأداء
EASA	جهة تنظيمية	مؤشرات السلامة – جاهزية الطائرات
ICAO	منظمة دولية	قواعد بيانات الأعطال
NASA	وكالة بحثية	بيانات تقنية – تقارير تطوير أنظمة الصيانة

3.4.2 عينة البحث

تتكون عينة البحث في هذه الدراسة من مجموعة من التقارير والبيانات والأبحاث المنشورة ذات العلاقة المباشرة بالصيانة وتوظيف الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات في قطاع الطيران وتم اختيار هذه العينة بناء على مصادرها وموثوقيتها وارتباطها بموضوع الدراسة

وقد شملت عينة البحث ما يلي:

- تقارير تشغيل وصيانة من الشركات المصنعة للطائرات
- قواعد بيانات سلامة وأعطال من منظمات دولية
- أبحاث علمية حديثة تتناول الربط والدمج بين الذكاء الاصطناعي والتنبؤ بالأعطال

نوع المصدر	المصدر	العدد	الهدف من الاختيار
تقارير تشغيل وصيانة	Boeing – Airbus	4	تحليل الأداء الفني ومعدلات الأعطال
قواعد بيانات سلامة وأعطال	EASA – ICAO – NASA	3	تتبع المؤشرات التشغيلية والجاهزية
أبحاث علمية متخصصة	Wilson – Yang – Kabashkin– Verhagen & De Boer – Lopes	8	دعم الجانب التحليلي وتوضيح أثر الذكاء الاصطناعي في الصيانة
مجموعات بيانات منشورة	Yang & Desell	1	استخدام بيانات فعلية في النماذج التنبؤية

3.5. طريقة جمع البيانات

نظراً لطبيعة الدراسة التي تعتمد على تحليل البيانات المنشورة مسبق فقد تم جمع البيانات من خلال مراجعة التقارير والدراسات العلمية المتوفرة بشكل رسمي من جهات عالمية في قطاع الطيران شملت هذه البيانات معلومات متعلقة بالأعطال والجاهزية التشغيلية، ومؤشرات الأداء الفني للطائرات وتم الحصول على البيانات إلكترونياً عبر المواقع الرسمية للشركات المصنعة والهيئات بالإضافة إلى قواعد البيانات المفتوحة

المصدر	نوع البيانات	آلية جمع البيانات
Boeing – Airbus	معدلات الأعطال – التقارير التشغيلية	تحميل مباشر من المواقع الرسمية
EASA – ICAO – NASA	قواعد بيانات سلامة وجاهزية وتشغيل	بحث إلكتروني في قواعد البيانات المفتوحة
أبحاث علمية منشورة	بيانات تحليلية حول الصيانة وتوظيف التقنيات	استخراج البيانات من نصوص الدراسات
مجموعات بيانات علمية	سجلات طيران والصيانة والذكاء الاصطناعي	الحصول عليها من مستودعات البيانات

3.6. أنواع البيانات

تم الاعتماد في هذه الدراسة على البيانات الثانوية المنشورة المتعلقة بصيانة الطائرات وبشكل خاص البيانات التي تعتمد على تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال وتحسين الأداء وتشمل هذه البيانات

- تقارير فنية توضح كيفية استخدام التحليل في الصيانة
- بيانات تشغيل رقمية مثل نسب الأعطال ومؤشرات الجاهزية
- أبحاث علمية تناولت دمج التقنيات الحديثة في الصيانة
- مجموعات بيانات تستخدم في تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي

وتهدف هذه البيانات إلى تحليل أثر تطبيق الجانب الرقمي في قطاع الصيانة الجوية من خلال مقارنة الأداء قبل وبعد استخدام تقنيات

بذلك تكون مصدر البيانات الوحيد في الدراسة هو المصادر الثانوية نظراً لطبيعة القطاع وصعوبة الوصول لسجلات الصيانة الداخلية

نوع المتغير	المتغير	الأبعاد
المتغير المستقل	تقنيات تحليل البيانات الذكية	الذكاء الاصطناعي – أنظمة مراقبة الأعطال – جودة البيانات
المتغير الوسيط	استراتيجيات الصيانة الحديثة	الصيانة التنبؤية – تحسين قرارات الصيانة – التحول الرقمي في الصيانة
المتغير التابع	الكفاءة التشغيلية للطائرات	الجاهزية – تقليل الأعطال – تقليل زمن التوقف

3.7. إجراءات التحليل الإحصائي

بناءً على طبيعة الدراسة والأهداف التي تسعى لتحقيقها تم تحليل البيانات باستخدام منهج التحليل الوصفي الإحصائي وذلك بالاعتماد على البيانات الفنية المنشورة من الجهات المختصة بالطيران الهدف من هذا التحليل هو تتبع مؤشرات الأداء الفني للطائرات وقياس أثر استخدام تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي على تحسين الصيانة التنبؤية وتقليل الأعطال.

وقد تم تطبيق مجموعة من الأساليب الإحصائية كما يلي:

- التكرارات والنسب المئوية:
تم استخدامها لعرض وتوزيع البيانات الخاصة بمعدلات الأعطال ومستويات الجاهزية التشغيلية للطائرات في جداول ورسوم بيانية
- المتوسطات الحسابية والمقارنات الإحصائية:
تم الاستناد إليها لتحليل الفروقات واتجاهات التغيير في الأداء الفني قبل وبعد تطبيق التقنيات الحديثة في تحليل البيانات
- تحليل الاتجاهات:
لقياس التطور الزمني لصيانة الطائرات ودراسة التغير في الاعتمادية التشغيلية عند دمج التحليل والذكاء الاصطناعي
- الرسوم البيانية:
لتوضيح العلاقة بين استخدام التقنيات الذكية والاستشعار المبكر عن الأعطال وبين تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل زمن التوقف

يعتمد هذا التحليل على البيانات الجاهزة المنشورة دون الحاجة لاختبارات إحصائية نظراً لعدم وجود عينة بشرية أو بيانات أولية ميدانية

3.8. الخاتمة

تناول هذا الفصل منهجية الدراسة حيث تم استعراض الأسلوب المتبع لتحليل أثر استخدام تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي في تحسين الصيانة ورفع الكفاءة التشغيلية للطائرات وتم تحديد المتغيرات الأساسية في الدراسة وتشمل تقنيات تحليل البيانات كمتغير مستقل واستراتيجيات الصيانة كمتغير وسيط والكفاءة التشغيلية كمتغير تابع.

كما تم تعريف مجتمع البحث والذي يضم الجهات والمصادر المتخصصة في نشر بيانات تشغيل وصيانة الطائرات وتم اختيار عينة من التقارير والأبحاث ذات الصلة بهدف ضمان موثوقية البيانات واعتماديتها

واعتمدت الدراسة على البيانات الثانوية المنشورة وذلك لصعوبة الوصول إلى السجلات التشغيلية الداخلية للطائرات وتم جمع البيانات إلكترونياً من التقارير الدولية والدراسات العلمية الحديثة التي تستعرض دور التقنيات الذكية في تطوير الصيانة الجوية

ومن أجل تحليل البيانات تم استخدام التحليل الوصفي الإحصائي من خلال التكرارات والنسب المئوية والجداول والرسوم البيانية إضافة إلى التحليل بهدف فهم العلاقة بين تطبيق تقنيات تحليل البيانات وتحسن مؤشرات الأداء الفني للطائرات

4. الفصل الرابع: التحليل الإحصائي ومناقشة النتائج

4.1. المقدمة

يتناول هذا الفصل عرض وتحليل النتائج التي تم التوصل إليها بالاعتماد على البيانات الثانوية المتعلقة بصيانة الطائرات واستخدام تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال وتحسين الكفاءة التشغيلية وقد تم بناء هذا التحليل على ما تم عرضه في منهجية الدراسة من حيث تحديد المتغيرات الرئيسية (تقنيات تحليل البيانات واستراتيجيات الصيانة والكفاءة التشغيلية) واختيار مصادر البيانات من تقارير الشركات المصنعة للطائرات والجهات التنظيمية والأبحاث العلمية المتخصصة ويهدف هذا الفصل إلى تقديم صورة وصفية وتحليلية للعلاقة بين تقنيات تحليل البيانات واستراتيجيات الصيانة من جهة وبين الكفاءة التشغيلية لمنظومة الطائرات من جهة أخرى إضافة إلى مناقشة مدى تطابق النتائج مع ما توصلت إليه الدراسات السابقة وجود الأدلة المتاحة

4.2. توصيف عينة الدراسة (الإحصائيات الوصفية لعينة البحث)

نظرًا لاعتماد هذه الدراسة على البيانات الثانوية تتمثل (عينة البحث) في مجموعة من التقارير والبيانات والأبحاث المنشورة لصيانة الطائرات وتوظيف الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات في هذا القطاع وقد شملت العينة ما يلي:

- تقارير تشغيل وصيانة من الشركات المصنعة للطائرات وتضمنت بيانات حول:

- معدلات الأعطال
- فترات التوقف للصيانة
- مؤشرات الجاهزية التشغيلية

- قواعد بيانات سلامة وأعطال صادرة عن جهات دولية واحتوت على:

- سجلات أعطال موثقة.
- بيانات عن الحوادث والوقائع الفنية.
- مؤشرات السلامة والجاهزية للطائرات.

- أبحاث علمية متخصصة تناولت دمج تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال وتحسين استراتيجيات الصيانة

- مجموعات بيانات منشورة استخدمت في تدريب نماذج تنبؤية لصيانة الطائرات

وبذلك كان إجمالي مصادر البيانات في هذه الدراسة (17) مصدر بين تقارير تشغيل وصيانة وقواعد بيانات وأبحاث علمية ومجموعات بيانات منشورة

4.3. اختبارات الصدق والثبات للاستبيانات

نظرا لاعتماد هذه الدراسة على البيانات الثانوية المنشورة بدلا من أدوات جمع البيانات بشكل ميداني فقد تم التحقق من الصدق والثبات بطريقة تتناسب مع طبيعة البيانات كما يأتي:

- الصدق

تم التأكد من صدق البيانات من خلال الحصول عليها من مصادر رسمية موثوقة ومعتمدة في قطاع الطيران، مثل الشركات المصنعة للطائرات (Boeing – Airbus) والهيئات التنظيمية (EASA) والمنظمات الدولية (ICAO) والوكالات البحثية (NASA) إضافة إلى دراسات علمية متخصصة منشورة في المجالات التي تدعم هذه الدراسة وقد تم الاعتماد على البيانات التي ترتبط مباشرة بالدراسة

- صدق البناء

تمت مقارنة المؤشرات التشغيلية كما وردت في أكثر من مصدر علمي وتقني بهدف التأكد من اتساق الاتجاهات العامة للعلاقة بين تقنيات تحليل البيانات والكفاءة التشغيلية

- الثبات

تم التحقق من ثبات البيانات بالاعتماد على ما يلي:

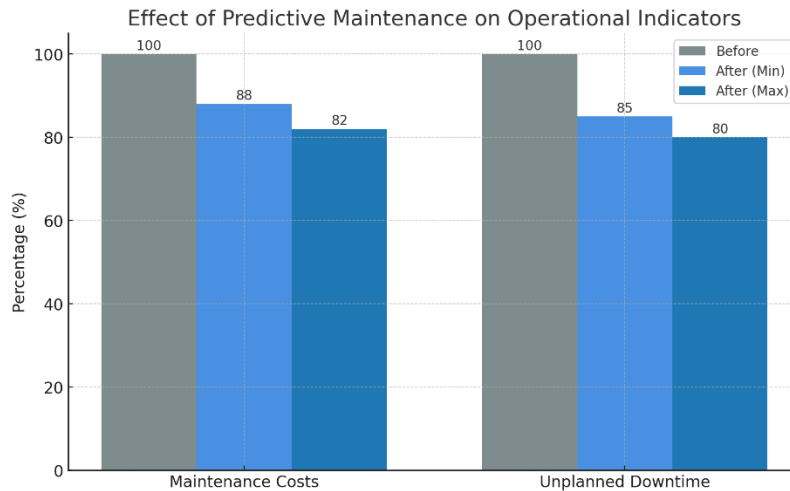
- تكرار ظهور المؤشرات نفسها في عدة تقارير
- الاعتماد على البيانات الرسمية مما يضمن ثبات إجراءات جمعها من مصدرها الأصلي

وبذلك يمكن اعتبار البيانات المستخدمة في هذه الدراسة ذات صدق والثبات وملائمة لتحليل أثر تقنيات تحليل البيانات على الكفاءة التشغيلية لمنظومة صيانة الطائرات

أثر الصيانة التنبؤية بالذكاء الاصطناعي على التشغيل

يوضح الشكل التحسن في التكلفة والتوقف غير المخطط بعد تطبيق الصيانة التنبؤية باستخدام تحليل البيانات حيث انخفضت التكاليف بنسبة 12-18% وتراجع التوقف المفاجئ بنسبة 15-20%

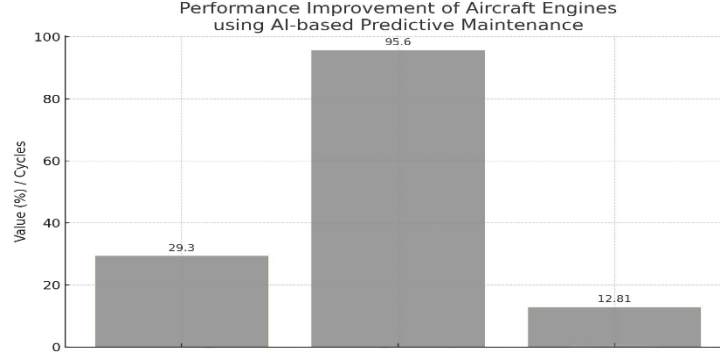
المؤشر	قبل الاستخدام	بعد الاستخدام	نسبة التحسن
تكاليف الصيانة	100%	82%-88%	12%-18%
التوقف غير المخطط للطائرات	100%	80%-85%	15%-20%



نتائج نموذج تعلم معزز لصيانة محركات الطائرات

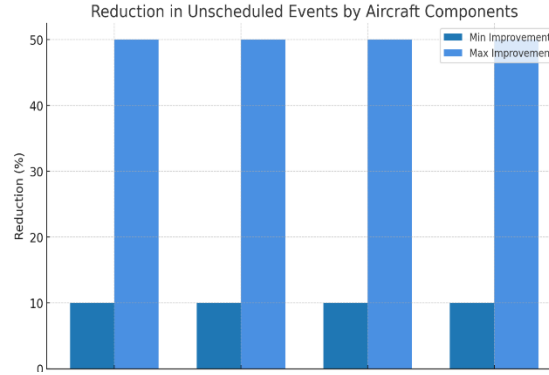
يعرض الشكل أداء نموذج تعلم معزز لصيانة محركات الطائرات حيث تم منع الصيانة غير المجدولة بنسبة 95.6% مع خفض التكاليف بنسبة 29.3%.

المؤشر	بعد تطبيق الذكاء الاصطناعي
خفض إجمالي تكاليف الصيانة	29.3%
منع أعمال الصيانة غير المجدولة	95.6%



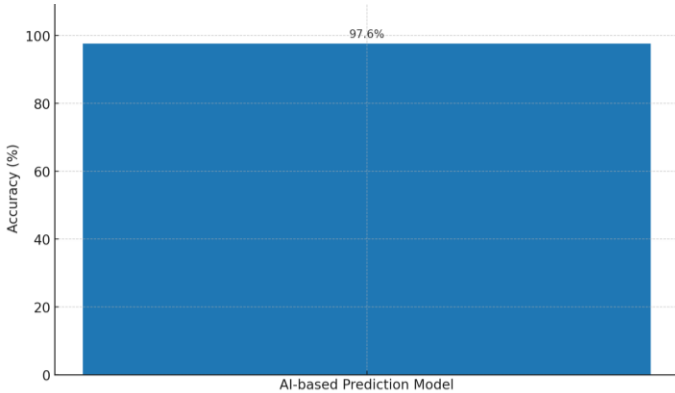
خفض الأعطال غير المجدولة بالطائرات بعد استخدام التقنيات التنبؤية

الأعطال	نسبة خفض الأحداث غير المجدولة
أنظمة التكييف والضغط	50-10%
أنظمة القدرة الكهربائية	50-10%
معدات الهبوط والفرامل	50-10%



دقة نموذج التنبؤ بالأعطال للمحركات

يوضح الشكل تفوق نموذج التنبؤ بعمر المحركات عبر الذكاء الاصطناعي بدقة بلغت 97.6%.



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

يهدف هذا الجزء إلى تقديم تحليل وصفي لمتغيرات البحث الأساسية من خلال ربط نتائج البيانات المستندة إلى التقارير والدراسات العلمية بأسئلة البحث الرئيسية وذلك للتأكد من أثر توظيف تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي في رفع الكفاءة التشغيلية لمنظومة صيانة الطائرات

أولاً: سؤال البحث الأول

كيف يؤثر استخدام تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي على معدلات التوقف غير المخطط للطائرات؟

- أظهرت النتائج انخفاضاً واضحاً في معدلات التوقف غير المخطط عند تطبيق الصيانة التنبؤية حيث انخفض التوقف المفاجئ بنسبة تتراوح بين 15% و 20% وفق البيانات التشغيلية الحديثة كما ان النتائج اظهرت استخدام نماذج التنبؤ بالأعطال في محركات الطائرات ساهم في منع 95.6% من أعمال الصيانة غير المخططة

ثانياً: سؤال البحث الثاني

ما العلاقة بين تحليل البيانات ودقة جدولة الصيانة وتأثيرها على التكاليف التشغيلية؟

- أظهرت النتائج أن تطبيق تحليل البيانات في الصيانة أدى إلى خفض التكاليف التشغيلية للصيانة بنسبة تتراوح بين 12% و 18% نتيجة تحسين عمليات الجدولة وتقليل الإصلاحات الطارئة كما اظهرت نتائج تحليل أداء محركات الطائرات أن التكاليف الإجمالية للصيانة قد انخفضت بنسبة 29.3% عند الاعتماد على نظم التنبؤ بالأعطال مما يعكس أن استخدام البيانات التشغيلية في اتخاذ قرارات الصيانة يسهم في تقليل المصروفات المتعلقة بالأعطال المفاجئة

ثالثاً: سؤال البحث الثالث

إلى أي مدى تساهم التقنيات الحديثة في رفع كفاءة استخدام الموارد البشرية والتقنية في مراكز صيانة الطائرات؟

- تشير البيانات المستخلصة إلى أن التنبؤ بالأعطال يساعد في إعادة توزيع الموارد الفنية بشكل أكثر كفاءة وتقليل الجهود ووقت الإصلاح وتحسين جاهزية الطائرات للعمليات التشغيلية كما ساهمت أنظمة تحليل البيانات في تقليل العمر المهدور للمحرك إلى 12.81 دورة مما يدل على تطور مستوى الاستفادة من الموارد التقنية وتحسين جودة الصيانة

وبذلك يتضح أن البيانات التشغيلية الوصفية تؤكد وجود علاقة إيجابية بين استخدام تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي وتحسين مؤشرات الكفاءة التشغيلية في منظومات صيانة الطائرات من خلال خفض التكاليف وتقليل التوقف غير المخطط وتعزيز القدرة على توظيف الموارد الفنية والتقنية

4.5. اختبار الفرضيات ومناقشة النتائج

تعتمد هذه الدراسة على فرضية رئيسية وهي إن استخدام تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي في الصيانة يساعد في تحسين الكفاءة التشغيلية للطائرات من خلال تقليل التوقف المفاجئ وخفض التكاليف وتحسين استخدام الموارد

أولاً: تقليل التوقف غير المخطط

أظهرت النتائج أن تطبيق الصيانة التنبؤية يقلل الأعطال المفاجئة بشكل واضح حيث انخفض التوقف غير المخطط بنسبة تتراوح بين 15% و 20%. كما ساعدت تقنيات التنبؤ في منع حوالي 95.6% من أعمال الصيانة غير المجدولة مما يعني جاهزية أكبر للطائرات واستمرارية أفضل للرحلات

ثانياً: خفض التكاليف التشغيلية

أشارت البيانات إلى انخفاض تكاليف الصيانة عند استخدام التحليل التنبؤي حيث وصلت نسبة الخفض إلى 12%-18% وفي نماذج متقدمة لصيانة المحركات ظهر انخفاض أكبر وصل إلى 29.3% من إجمالي تكاليف الصيانة وهذا يعكس أثر الذكاء الاصطناعي في تقليل الإصلاحات المفاجئة وتوفير الموارد المالية

ثالثاً: تحسين استخدام الموارد

ساهمت تقنيات التنبؤ بالأعطال في توزيع العمل بشكل أفضل داخل مراكز الصيانة وتقليل الضغط على الفرق الفنية.

مناقشة النتائج

بشكل عام النتائج تدعم الفكرة الرئيسية وتؤكد أن تحليل البيانات يساعد في تطوير الصيانة ورفع الكفاءة التشغيلية لشركات الطيران كما تتوافق النتائج مع اتجاه قطاع الطيران العالمي نحو التحول الرقمي واعتماد الصيانة التنبؤية لتحسين السلامة وجودة التشغيل

4.6. الخاتمة

قد تناول هذا الفصل تحليل البيانات المستخلصة من الدراسات والتقارير المنشورة التي توضح أثر تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي على صيانة الطائرات وتحسين الكفاءة التشغيلية وتم تقديم جداول ورسوم بيانية توضح انخفاض التوقف غير المخطط وتقليل تكاليف الصيانة وتحسين استغلال الموارد الفنية كما اعتمدت على تحليل وصفي يوضح الفرق بين الوضع قبل تطبيق التقنيات الحديثة وبعدها ومناقشة النتائج بما يتفق مع أسئلة الدراسة

5. الفصل الخامس: حدود البحث والتوصيات والاستنتاجات

5.1. حدود الدراسة والدراسات المستقبلية:

تعتمد هذه الدراسة على بيانات منشورة فقط من جهات دولية في مجال الطيران وهذا قد يجعل النتائج غير قابلة للتعميم على كل الشركات لأن كل شركة لها نظام تقني مختلف ولم يتم جمع بيانات مباشرة من مراكز الصيانة بسبب صعوبة الوصول إليها كما تقترح الدراسة مستقبلا جمع بيانات حقيقية من داخل شركات الطيران وتطوير دراسات تعتمد على بيانات تشغيل لحظية إضافة إلى مقارنة نتائج التحليل بين شركات متعددة مع التركيز على تأثير الموارد البشرية في نجاح استخدام التقنيات الحديثة في الصيانة

5.2. توصيات الدراسة:

من خلال النتائج توصي الدراسة بعدة نقاط

- تطبيق الصيانة التنبؤية لأنها تساعد في تقليل الأعطال المفاجئة
- تحسين أنظمة الصيانة الرقمية وربطها ببيانات الطائرات بشكل مستمر
- تدريب الفنيين على استخدام أدوات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي
- زيادة التعاون بين الشركات المصنعة للطائرات وشركات الطيران لتوفير بيانات أدق
- اعتماد التحول الرقمي في الصيانة ضمن الخطط التشغيلية المستقبلية

5.3. الخاتمة:

ركزت هذه الدراسة على دور تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي في تحسين الصيانة وزيادة الكفاءة التشغيلية للطائرات وأوضحت النتائج أن استخدام التقنيات الحديثة يساعد في تقليل التوقفات المفاجئة وخفض التكاليف وتحسين التخطيط داخل مراكز الصيانة يتضح أن التحول الرقمي في الصيانة لم يعد خيار بل ضرورة للحفاظ على مستوى السلامة والجودة في قطاع الطيران لذلك تشجع الدراسة على الاستمرار في تطوير أنظمة الصيانة الذكية والاعتماد على البيانات بشكل أكبر في اتخاذ القرارات

قائمة المراجع

1. Airbus. (2022). *Maintenance & Engineering Support*. Retrieved from <https://www.airbus.com/en/support/maintenance-and-engineering>
2. Al Hasib, A., Rahman, A., Khabir, M., & Shawon, M. T. R. (2023). *An interpretable systematic review of machine learning models for predictive maintenance of aircraft engines*. arXiv:2309.13310.
3. Boeing. (2021). *Boeing Global Services – Maintenance & Support Program*. Retrieved from <https://www.boeing.com/en/products-services/support-and-maintenance>
4. Boeing. (2023). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*. Retrieved from <https://www.boeing.com/company/about-bca/statistical-summary>
5. EASA. (2023). *Annual Safety Review*. European Union Aviation Safety Agency. Retrieved from <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/annual-safety-review>
6. FAA. (2021). *Preventive Maintenance Handbook*. Federal Aviation Administration. Retrieved from https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft
7. FAA. (2023). *Comprehensive Aircraft Maintenance Policies*. Federal Aviation Administration.
8. IATA. (2023). *General Publications and Maintenance Guidelines*. International Air Transport Association. Retrieved from <https://www.iata.org/en/publications/>
9. ICAO. (2023). *Air Transport Data Portal*. International Civil Aviation Organization. Retrieved from <https://data.icao.int/>
10. Kabashkin, I. (2025). *Ontology-driven digital twin ecosystem for aviation maintenance training*. Processes (MDPI), 13(3), 1–18.
11. Lopes, N. M., Aparicio, M., & Neves, F. T. (2024). *Challenges and prospects of artificial intelligence in aviation: A bibliometric study*. Data Science and Management, 8(2), 207–223.
12. Moghadasnian, S. (2025). *Generative AI for aviation maintenance: Enhancing predictive analytics through strategic prompt engineering and hybrid human–AI collaboration*. ResearchGate.
13. NASA. (2023). *Aviation Safety Reporting System (ASRS)*. National Aeronautics and Space Administration. Retrieved from <https://asrs.arc.nasa.gov>
14. Verhagen, W. J. C., & De Boer, L. W. M. (2019). Predictive maintenance for aircraft components using proportional hazard models. *Journal of Industrial Information Integration*, 12, 23–35.
15. Wilson, J., & Others. (2022). *AI and predictive analytics for enhancing aircraft maintenance reliability*. OpenAccess Conference Proceedings.
16. Yang, H., LaBella, A., & Desell, T. (2021). *Predictive maintenance for general aviation using convolutional transformers*. arXiv:2110.03757.
17. Yang, H., & Desell, T. (2022). *A large-scale annotated multivariate time-series aviation maintenance dataset from NGAFID*.

الملاحق

الملحق (أ): الجداول الإحصائية الوصفية

يتضمن هذا الملحق الجداول الخاصة بنتائج التحليل الوصفي للبيانات المستخدمة في الدراسة والتي توضح أثر استخدام تقنيات تحليل البيانات في تحسين استراتيجيات الصيانة وزيادة الكفاءة التشغيلية للطائرات

- **Table A1 - Reduction of Unscheduled Downtime**

Indicator	Before	After	Improvement
Unscheduled Downtime	100%	80% - 85%	15% - 20%

- **Table A2 - Maintenance Cost Reduction**

Indicator	Before	After	Reduction
Maintenance Cost	100%	82% - 88%	12% - 18%

- **Table A3 - Operational Efficiency Indicators**

Indicator	Value
Operational Efficiency Improvement	Significant Improvement
Avoidance of Unscheduled Maintenance	95.6%
Prediction Accuracy	97.6%

- **Table A4 - Failure Reduction in Aircraft Systems**

System	Failure Reduction
Air Conditioning & Pressurization	10% - 50%
Electrical Power System	10% - 50%
Landing Gear & Brakes	10% - 50%

الملحق (ب): مخرجات تحليل البيانات (مصادر البيانات الثانوية)
 يحتوي هذا الملحق على الجداول الخاصة بمصادر البيانات المستخدمة في هذه الدراسة والتي تم الحصول عليها من منصات ومصادر دولية تتعلق بصيانة الطائرات

Source	Type	Data Type	Year	Country
Boeing	Manufacturer	Maintenance & Operational Data	2023	USA
Airbus	Manufacturer	Maintenance Support & Engineering	2022	EU
FAA	Regulatory Authority	Maintenance Regulations & Manuals	2021	USA
EASA	Regulatory Authority	Safety Reports	2023	EU
IATA	International Organization	Operational Aviation Publications	2023	Global
ICAO	International Organization	Open Aviation Data	2023	Global
NASA	Research Agency	Safety Reporting System	2023	USA

الملحق (ج): الرسوم البيانية الداعمة
 يحتوي هذا الملحق على الرسوم البيانية التي توضح أثر توظيف تقنيات تحليل البيانات وذلك استناداً إلى البيانات الثانوية المستخدمة في الدراسة

