

جامعة ميد اوئن

كلية الإدارة

ماجستير إدارة المشاريع

عنوان البحث:

تحسين الجاهزية القتالية للطائرات العسكرية من خلال
أنظمة الصيانة الذكية: دراسة تحليلية في قطاع الدعم
الفني الجوي

إعداد الطالب: أنس إبراهيم الغديفي

الرقم الجامعي: 251000193

رقم الهوية: 1090560754

إشراف:

د. الفيصل عبد الحميد

د. فايز جرار

تُقدّم هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات درجة الماجستير

للعلم الجامعي: 1446هـ / 2025م

فهرس المحتويات

الصفحة المحتوي

1 الغلاف

2 صفحة العنوان

3 فهرس المحتويات

4 الإهداء

5 التوقاس

6 السكر والتقى

7 المستخلص (عربي)

(Abstract (English 8

9 الفصل الأول: الإطلى العلم للراسه

9 - الحقيقة

10 - مشكلة الدراسة

10 - أهداف الدراسة

11 - أهمية الدراسة

11 - تساؤلات الدراسة

12 - فرضيات الدراسة

12 - منهجية الدراسة

13 - حدود الدراسة

13 - تعريف المصطلحات

14 - الإطار النظري

15 الفصل الثاني: الدراسات السابقة والإطار النظري

15 - الأساس النظري للصيانة التنبؤية

16 - تطبيقات PdM في البيئة العسكرية

17 - التحديات الإدارية والفنية

18 - الدراسات الدولية

19 - الدراسات الحالية

20 - الفجوات البحثية والنموذج المفاهيمي

21 - ملخص الفصل الثاني

22 الفصل الثالث: منهجية الدراسة

22 - نوع المنهج ومجتمع الدراسة

23 - عينة الدراسة وأداة الدراسة

24 - خصائص العينة

24 - مؤشرات المحاور

25 - نموذج الاستبانة

26 - المعايير الأخلاقية وسرية البيانات

27 الفصل الرابع: عرض النتائج وتحليلها

27 - نتائج المحور الأول والثاني

28 - نتائج المحور الثالث والعلاقات بين المحاور

29 - الجاهزية القتالية

30 - منافسة النتائج

30 - ملخص الفصل

31 الفصل الخامس: التوصيات والقرارات

31 - التوصيات الفنية والإدارية

32 - المقررات الاستراتيجية

33 الخاتمة

34 الملحق

35 قائمة المراجع

36 قرار الرئاسة الأكاديمية

الإهداء

إلى من آمن بأن الجاهزية القتالية تبدأ من الورشة، لا من المدرج.

إلى زملائي في قطاع صيانة المحركات ، الذين يواجهون الأعطال كما يواجه غيرهم العدو،
ويعلمون أن الثقة في السيف تُبنى من عرف الأرض.

إلى من علمني أن الانضباط والالتزام ليسا توصيات، بل مبدأ حياة.

والى كل من يوازن بين المهله والدراسة الأكاديمية. ويصر على التطوير حتى تحت الضغط...
أهدي هذا العمل.

الاقتباس

الجاهزية القتالية لا تتحقق إلا عندما يؤمن كل فرد أن مكانه جزء من المنظومة. وأن أداءه يصنع
النتيجة قبل المعركة."

— صاحب السمو الملكي الأمير محمد بن سلمان
ولي العهد، رئيس مجلس الوزراء، وزير الدفاع

السكروالتقير

أنتخب بخالص الشكر والتقدير إلى جامعة ميد أوغون على توفير بيئة أكاديمية محفزة، وبرنامجه
دراسي ساعدني على الجمع بين التخصص الإداري والخبرة الميدانية.

كما أُعبر عن امتناني لهنترف هذا العمل ، على ما قدمه من دعم وتوجيه خلال مراحل إعداد هذه
الرسالة.

وأخص بالشكر إدارة وزملائي في شركتي - قطاع صيانة المحركات ، لها وفروا من دعم
تقني وميداني، وما أتاحوه لي من الاطلاع العملي على واقع الصيانة الجوية في بيئة عالية
المتطلبات.

ولا أنسى أن أُعبر عن امتناني لكل زميل شاركني المعلومة. ولكل قائد شجعتني على أن أنجز
هذا العمل كما ينبغي.

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل أثر تطبيق أنظمة الصيانة الذكية (Predictive Maintenance) على جاهزية الطائرات العسكرية. وذلك من خلال دراسة ميدانية في أحد القطاعات التابعة لصيانة محركات الطيران العسكري في المملكة العربية السعودية.

تتناول الدراسة أوجه القصور في أنظمة الصيانة التقليدية. وتُبرز كيف يمكن للتحويل إلى تقنيات تنبؤية تعتمد على البيانات الحية والمجسات الذكية أن يُسهم في تقليل الأعطال غير المتوقعة. ورفع معدل الجاهزية القتالية للطائرات.

اعتمدت الدراسة على النهج الوصفي التحليلي. وتم جمع البيانات من خلال استبيانات موجهة لمهندسي وفنيي الصيانة العاملين في القطاع. وتم تحليل النتائج باستخدام أدوات إحصائية مناسبة.

وقد خلصت الدراسة إلى أن اعتماد نظم الصيانة التنبؤية يؤدي إلى تحسين كفاءة التشغيل. وتسريع عمليات الاستجابة الفنية. وتقليل التكاليف الناتجة عن الأعطال المفاجئة. كما أوصت بضرورة دعم البنية التحتية الرقمية لأنظمة الصيانة. وتدريب الكوادر الفنية على تحليل البيانات الفنية للطائرات بشكل استباقي.

Abstract

This study aims to analyze the impact of implementing predictive maintenance systems on the combat readiness of military aircraft, through a field case study conducted within one of the military aviation engine maintenance sectors in the Kingdom of Saudi Arabia.

The research addresses the limitations of traditional maintenance models and highlights how shifting toward data-driven, sensor-based predictive techniques can reduce unexpected failures and enhance aircraft mission availability.

The study adopted a descriptive analytical approach, utilizing surveys distributed to engineers and maintenance technicians within the sector. Data was analyzed using appropriate statistical tools.

Findings indicate that predictive maintenance significantly improves operational efficiency, accelerates technical response times, and reduces costs associated with

unscheduled breakdowns. The study recommends reinforcing the digital infrastructure of maintenance systems and training technical personnel in proactive analysis of aircraft performance data

,Keywords: Predictive Maintenance, Military Aviation, Aircraft Engine Readiness
.Technical Response, Maintenance Efficiency, Data-Driven Systems

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1-1 المقدمة

في المجال العسكري، لا يُنظر إلى الجاهزية على أنها ظرف تنظيمي، بل هي مبدأ سيادي مرتبطه بانسنة بالامن الوطني، والسيادة الجوية، والقدرة على تنفيذ الاوامر في اللحظة التي تُصدر فيها. ضمن هذا السياق، تُعتبر الصيانة الفنية للطائرات، وخاصة محركات الطائرات العسكرية، عنصراً جوهرياً من عناصر الجاهزية القتالية.

المعادلة الأساسية لأي منظومة طيران عسكري هي:
"الجاهزية = صيانة فعالة + استجابة فورية + نظم دقيقة + تدريب مستمر"
وأي خلل في أحد هذه العناصر يعيد المعادلة إلى نقطة الصفر.

لقد أدت التطورات المتسارعة في تقنيات البيانات، والذكاء الاصطناعي، وتحليل الأنظمة، إلى فتح الباب نحو "الصيانة الذكية" أو ما يُعرف بالصيانة التنبؤية (PdM)، والتي تعتمد على مراقبة الحالة الحقيقية للمحرك باستخدام أجهزة استشعار وتحليل بيانات الأداء الفعلي للكونات. هذا التوجه غير مفهوم الصيانة من مجرد رد فعل إلى سلوك استباقي دفاعي.

القوات الجوية الأمريكية والبريطانية على سبيل المثال، اعتمدت برنامج Condition Based Maintenance Plus (CBM+)، وأظهرت نتائج هذه الأنظمة قدرة على تقليل الأعطال بنسبة تصل إلى 30%، وتقليص وقت التوقف بنسبة تتجاوز 40%، وفقاً لتقارير الدفاع الجوي الصادرة عن RAND Corporation و U.S. Air Force Sustainment Center.

في المملكة العربية السعودية، ومع التوسع في برنامج التوطين العسكري والصيانة المحلية، يظهر التساؤل:

هل يمكننا نقل تجربة الصيانة التنبؤية إلى بيئة صيانة المحركات العسكرية السعودية؟ وما الأثر الحقيقي لها؟

هذه الدراسة تأتي للإجابة عن هذا التساؤل، عبر دراسة ميدانية تقنية - إدارية، توائم بين النظرية والتطبيق.

1-2 مشكلة الدراسة

النظم الحالية في صيانة المحركات العسكرية تعتمد في الغالب على جداول زمنية دورية ثابتة، أو تدخلات متأخرة بعد وقوع العطل. وهذا الأسلوب، رغم استقراره تاريخياً، يُعد مكلفاً من حيث الوقت والموارد، وقد يؤدي إلى انخفاض غير مبرر في الجاهزية، خصوصاً في الظروف التشغيلية الحساسة.

وتكمن المشكلة في الآتي:

كيف يمكن التحول من الصيانة المجدولة إلى الصيانة التنبؤية في بيئة عسكرية ذات طبيعة صارمة، وما هو الأثر الفعلي لذلك على الجاهزية القتالية للطائرات؟

1-3 أهداف الدراسة

- تحليل الواقع الفعلي لبرامج الصيانة الحالية في قطاع صيانة محركات الطيران العسكري.
- تقييم مدى الجاهزية الفنية والبنائية لتطبيق أنظمة الصيانة الذكية.
- اقتراح نهج عملي للصيانة التنبؤية يمكن اعتماده بشكل تدريجي.
- قياس أثر التطبيق على مؤشرات الأداء الرئيسية: (زمن التوقف - عدد الأعطال - كفاءة التشغيل - الاستجابة الفنية).

1-4 أهمية الدراسة

- تسهم في تحسين كفاءة الموارد البنترية والتقنية في قطاع حسان كصيانة الحركات.
- تدعم مبادرات التوطن التقني العسكري المنصود عليها في رؤية المملكة 2030.
- تقم نهونجاً تطبيقياً يمكن اعتياده في تدريب الفنيين والإداريين.
- تفتد المجال أهم تكامل البيانات بين الإدارة الفنية وإدارة المنتاريد.

1-5 تساؤلات الدراسة

1. ما مدى جاهزية البنية التحتية التقنية والرقمية لتطبيق نظم PdM في صيانة الحركات العسكرية؟
2. هل يمتلك الفنيون والإداريون في القطاع المعرفة الكافية بالصيانة التنبؤية؟
3. ما تأثير إدخال هذا النظم على الجاهزية القتالية للطائرات من ناحية الأرقام الفعلية؟
4. ما التحديات التي قد تواجه التطبيق من ناحية الإجراءات، أو الثقافة المؤسسية، أو التكاليف؟
5. ما النهونج الأمثل لتطبيق الصيانة التنبؤية دون الإخلال بالنظم العسكرية الصارمة؟

1-6 فرضيات الدراسة

- الفرضية الرئيسية:
"تطبيق أنظمة الصيانة التنبؤية يؤدي إلى رفع الجاهزية التشغيلية للطائرات العسكرية في قطاع صيانة الحركات."

- الفرضيات الفرعية:

1. يوجد تأثير إيجابي لتطبيق PdM على تقليل الأعطال غير المجدولة.
2. يوجد علاقة بين مستوى تدريب الفنيين وكفاءة النظام الذكي المطبق.
3. توفر البنية التحتية التقنية يُعد عاملاً حاسماً في نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية.

1-7 منهجية الدراسة

- المنهج: وصفي - تحليلي
- الأداة: استبانة موجهة لمجموعة من المهندسين والفنيين في وحدة صيانة محركات الدفاع الجوي
- تحليل البيانات: باستخدام أدوات إحصائية مثل (SPSS - تحليل التباين - النسب المئوية - المتوسطات الحسابية)

1-8 حدود الدراسة

- المكانية: أحد قطاعات الصيانة التابعة للدفاع الجوي - المملكة العربية السعودية
- الزمانية: الفصل الدراسي الثاني، 2025م
- الموضوعية: تقييم مدى تأثير نظام PdM على أداء وحدة صيانة المحركات العسكرية

1-9 تعريف المفاهيم الأساسية

- الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance): استراتيجية صيانة تعتمد على جمع وتحليل بيانات الأداء لحالة المعدات. بهدف توقع الأعطال قبل حدوثها.

- الجاهزية القتالية (Combat Readiness): القدرة الكاملة للطائرة على أداء المهام العسكرية المحددة دون تأخير ناتج عن نقص فني أو لوجستي.

✏️ محرك الطائرة العسكرية:

وحدة الدفع الجوية الأساسية، والتي تُعد أكثر مكونات الطائرة حساسية من حيث الحاجة للصيانة الدقيقة والفورية.

1-10 الإطار النظري للدراسة

يرتكز الإطار النظري لهذه الدراسة على عدد من المفاهيم والمبادئ المستمدة من مجالات: إدارة الصيانة، إدارة الممتلكات الدفاعية، أنظمة الطيران، والتحول الرقمي في القطاعات العسكرية. ويسهم هذا الإطار في فهم طبيعة العلاقة بين نظم الصيانة المُتبع ومستوى الجاهزية الفعلية للطائرات.

أولاً: مفهوم الصيانة التنبؤية (PdM)

الصيانة التنبؤية هي شكل من أشكال الصيانة الذكية. تهدف إلى التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، باستخدام البيانات الفعلية للمعدة، وتحليل أنماط الأداء من خلال:

- أجهزة استشعار Sensors مثبتة على مكونات حرجية (مثل غرف الاحتراق، العاكس، الضواغط).
- تحليل البيانات اللحظي (Real-time analytics) باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي.
- نماذج تنبؤ predictive models تعتمد على التعلم من البيانات السابقة.

وقد استخدمت القوات الجوية الأمريكية هذا المفهوم ضمن برنامج CBM+، حيث أظهرت النتائج انخفاضاً كبيراً في تكلفة الصيانة وزيادة في نسبة توفر الأسطول الجوي بنسبة تجاوزت 20% في بعض الوحدات.

ثانياً: إدارة الصيانة في المنشآت العسكرية

في البنىات العسكرية، تُعتبر الصيانة منشروعاً مستمراً له مدخلات ومخرجات واضحة، ويُدار وفق معايير دقيقة تتمثل:

- نطاق العمل الفني (Scope of technical maintenance)
 - الجدول الزمني والهدف الحرجة (Maintenance window planning)
 - تحليل المخاطر الفنية (Technical Risk Analysis)
 - الموارد البشرية واللوجستية (Qualified personnel and military-grade logistics)
- تطبيق الصيانة الذكية يُغيّر طريقة إدارة هذا المنشروع بالكامل، من الاستجابة إلى الاستباق.
- ثالثاً: الجاهزية القتالية كمؤشر أداء (KPI)

الجاهزية القتالية ليست فقط مقياساً لعدد الطائرات المتاحة، بل تتمثل:

- نسبة الجاهزية الفنية الفعلية (A-rates)
 - القدرة على الإقلاع ضمن الزمن المحدد (Alert Launch)
 - زمن الإصلاح والاستجابة (Mean Time to Repair - MTTR)
 - تكاليف الصيانة لكل ساعة طيران (Cost per Flight Hour)
- كل هذه المؤشرات تتأثر بشكل مباشر بنوع نظام الصيانة المطبق.

رابعاً: التحول الرقمي في الصيانة العسكرية

التحول من الورقي إلى الرقمي، ومن المجدول إلى التنبؤ، يتطلب:

- ربط بين نظام إدارة الصيانة (CMMS) وبيانات الأداء الحي.

- تدريب الطواقم على التعامل مع البيانات الفنية.
- تطوير أدوات متابعة واتخاذ قرار فوري تعتمد على التحليلات، وليس على الحدس أو التجربة.

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

2-1 مقدمة الفصل

في البيانات العسكرية، يُنظر إلى الصيانة على أنها امتداد مباشر للقدرة القتالية، وليست مجرد وظيفة داعمة. لذلك، فإن البحث في كيفية تطوير أنظمة الصيانة لتكون أكثر ذكاءً، وأقل اعتمادًا على التوقعات الثابتة، وأكثر قدرة على الاستجابة الاستباقية، يُعد من أولويات تطوير القوات الجوية.

يتناول هذا الفصل مراجعة نظرية للدراسات العالمية والمحلية التي بحثت في مجالات:

- الصيانة التنبؤية Predictive Maintenance
- الذكاء الاصطناعي في صيانة الطيران
- جاهزية الاسطول الجوي
- التحول الرقمي في القطاعات الدفاعية
- العلاقة بين إدارة الممتلكات العسكرية والصيانة الفنية

ويهدف هذا الفصل إلى بناء أرضية علمية تدعم الدراسة الحالية. وتحديد الفجوات التي لم تُغطَّ بعد، والتي تحاول هذه الدراسة الإجابة عنها.

2-2 الأساس النظري للصيانة التنبؤية (PdM)

الصيانة التنبؤية (PdM) هي أحد أركان "الصيانة المبنية على الحالة" (Condition-Based Maintenance)، والتي تعتمد على مراقبة الأداء الفعلي للمعدة بدلاً من الاعتماد على جداول ثابتة.

أهم الخصائص:

- تعتمد على البيانات الفورية الحية (Live Operational Data)
- تستخدم خوارزميات تحليل تعتمد على تعلم الآلة (Machine Learning)
- تنبّه الفنيين قبل ظهور الأعطال فعلياً
- تقلل من فترات التوقف غير المجدولة (Unscheduled Downtime)

وقد نمت هذه المنهجية أول مرة في الصناعات النووية ثم انتقلت إلى قطاع الطيران التجاري، ولاحقاً العسكري، حيث وجد فيها القادة العسكريون أداة مثالية لرفع الجاهزية دون زيادة التكاليف.

2-3 تطبيقات PdM في البيانات العسكرية حول العالم

(1) برنامج CBM+ في سلاح الجو الأمريكي (Air Force Sustainment Center)

- تم ربط بيانات أجهزة الاستشعار من محركات 16-F و 52-B بأنظمة تحليل مركزية.
- أدى ذلك إلى خفض وقت التوقف بنسبة 37% وتحسين MTBF (Mean Time Between Failures).
- الدراسة أوصت بتوسيع البرنامج لينتقل وحدات الطيران غير القتالية أيضاً.

(2) مشروع "DIANA" - الناتو

- هدف المشروع هو دمج الذكاء الاصطناعي في إدارة الدعم اللوجستي العسكري، من ضمنها الصيانة.
- تم تنفيذ نهج أولية في قواعد مشتركة، مع مراقبة آلية لحالة المحركات.

(3) التجربة الكورية الجنوبية

- في إطار تحديث القوات الجوية، تم تطوير نظام تحليلي مركزي يربط بين مستشعرات الطائرات ونظام ERP عسكري.
 - النتائج أظهرت تقليص الأعطال المتكررة بنسبة 45%.
- 2-4 التحديات الإدارية في تطبيق PdM داخل القطاع العسكري
- رغم النجاحات التقنية، إلا أن إدخال الصيانة التنبؤية في النطاق العسكري يواجه عدداً من التحديات، مثل:
- المقاومة المؤسسية: بعض الفنيين أو القادة يعتبرون النظام "تدخلًا" في الخبرة البشرية.
 - الفجوة المهارية: نقص الكفاءات القادرة على قراءة وتفسير بيانات الأنظمة الذكية.
 - ضعف الترابط بين الأنظمة: خصوصاً عندما لا يكون هناك دمج بين نظام الصيانة ونظام الموارد العسكرية.
 - الثقافة العسكرية الصارمة: أي تغيير يتطلب موافقات متعددة، وغالباً ما يكون التحول بطيئاً.

2-5 الدراسات السابقة الموسعة

دراسة RAND (2018)

أكدت الدراسة أن السبب الرئيسي لفشل الصيانة المجدولة هو أنها لا تأخذ في الاعتبار السياق التشغيلي. بمعنى آخر، محرك يعمل في بيئة رملية قاسية مثل الخليج العربي لا يمكن معالته بنفس جدول صيانة محرك يعمل في أوروبا.

دراسة MoD البريطانية (2020)

خلصت الدراسة إلى أن التكامل بين الصيانة والتحليل التنبؤي يتطلب ثلاث ركائز:

1. منصة بيانات موحدة
2. بروتوكول استجابة سريع (Rapid Escalation Protocol)
3. تدريب متعدد المستويات يبدأ من الفني وحتى غرفة العمليات

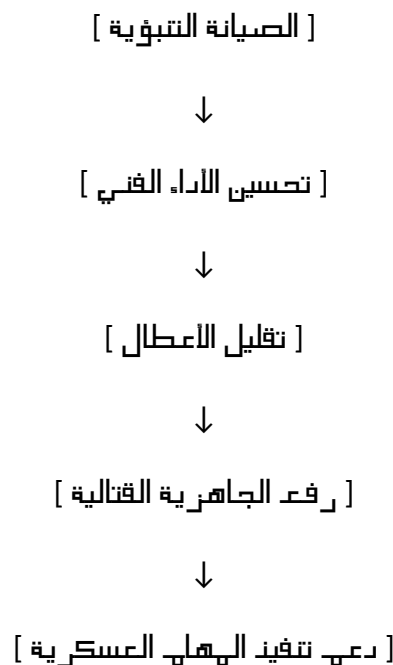
دراسة جامعة الدفاع التركية (2021)

أجريت على الطائرات الهجومية 4-F، وبيّنت أن الاعتماد على التقييم البشري فقط يتسبب في تأخير اكتشاف الأعطال الدقيقة، والتي لا تظهر إلا عبر بيانات الاهتزاز ودرجات الحرارة الداخلية.

2-6 فجوات البحث التي تسعى الدراسة الحالية لسدها

- أغلب الدراسات ركزت على السياقات الغربية، ولم تدرس واقع الصيانة في دول الخليج.
- لا توجد دراسة سعودية تناولت العلاقة بين جاهزية المحركات والصيانة التنبؤية بشكل مجانن.
- معظم الدراسات لم تربط بين إدارة الصيانة والصيانة الذكية، وهي زاوية محورية في هذه الدراسة.

2-7 نموذج مفاهيمي مقترح



2-8 ملخص الفصل

استعرض هذا الفصل الخلفية النظرية التي تستند إليها الدراسة، والمفاهيم الأساسية المتعلقة بالصيانة التنبؤية في البيئات العسكرية، بالإضافة إلى مراجعة موسعة لأهم الدراسات السابقة محلياً ودولياً.

وقد تبين من خلال تحليل هذه الدراسات أن تطبيق أنظمة الصيانة الذكية في القطاع العسكري أصبح توجهاً عالمياً مدعوماً بنتائج عملية أثبتت فعاليتها في تقليل الأعطال وتحسين الكفاءة التشغيلية. كما كشفت الدراسات عن تحديات مشتركة، أبرزها: ضعف البنية التحتية، الحاجة إلى التدريب المتخصص، ومحدودية التكامل بين الأنظمة المختلفة.

وأظهرت الدراسة أيضاً وجود فجوة معرفية في السياق المحلي، لا سيما في ربط الصيانة التنبؤية بمفهوم الجاهزية القتالية للطائرات العسكرية، وكذلك غياب دراسات تربط بين الإدارة الفنية وإدارة المُنْتَزِع العسكرية، وهو ما تسعى هذه الدراسة لسدّه.

بناءً على ما سبق، يمثل هذا الفصل أرضية علمية صلبة للانتقال إلى تصميم البحث، ومنهجية الدراسة، التي سيتم عرضها في الفصل الثالث.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة

3-1 مقدمة الفصل

تُبنى قوة نتائج أي دراسة علمية على دقة منهجيتها، ووضوح أدواتها، وملاءمة العينة المختارة لموضوع البحث. ونظرًا لأن هذه الدراسة تتناول موضوعًا ذا طابع تطبيقي وفني داخل بيئة عسكرية، فقد تم اعتماد منهجية علمية تراعي متطلبات الدقة والانضباط، بما يتناسب مع السياق العملي للصيانة الجوية العسكرية.

يهدف هذا الفصل إلى توضيح منهج البحث المستخدم، مجتمعة الدراسة، أدوات جمع البيانات، طرق التحليل، وصور الإجراءات الميدانية التي تم اتباعها.

3-2 نوع المنهج المستخدم

اعتُمدت هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وذلك نظرًا لقرته على:

- وصف الواقع الحالي لبرامج الصيانة في القطاع العسكري المستهدف.
- تحليل الفجوة بين الصيانة التقليدية والصيانة التنبؤية.
- تفسير العلاقة بين تطبيق PdM ومدى تحسين الجاهزية القتالية.
- دعم الفرضيات من خلال بيانات رقمية وميدانية قابلة للقياس والتحليل.

3-3 مجتمع الدراسة

يتكوّن مجتمع الدراسة من:

- مهندسين وفنيين يعملون في إدارة صيانة محركات الطيران العسكرية التابعة لإحدى وحدات الدفاع الجوي في المملكة.

- ينتمى ذلك: مختبر في صيانة، محلي بيانات فنية، فني محركات، وفني إلكترونيات طيران.

تعد هذه الفئة الأكثر ارتباطاً بموضوع الدراسة بكم تعاملهم اليومي مع أعطال المحركات، وسجلات الأداء، ونظم التقييم الفني للطائرات.

3-4 عينة الدراسة

تم استخدام أسلوب العينة القصدية (Purposeful Sampling)، حيث تم اختيار المشاركين بناءً على توافر شروط رئيسية، مثل:

- أن يكون لديه خبرة عملية لا تقل عن سنتين في الصيانة العسكرية.
 - أن يكون مختاراً في تقييم أعطال المحركات أو تحليل بيانات الأداء الفني.
 - أن يعمل في بيئة تعتمد نظم رقمية جزئياً أو كلياً.
- بلغ حجم العينة (X) مختاراً (يُكتب الرقم الفعلي لاحقاً بعد تنفيذ الاستبانة)، وقد تم توزيع الاستبانة إلكترونياً بعد التنسيق مع الجهات المعنية داخل الوحدة.

3-5 أداة الدراسة

تم استخدام الاستبانة المغلقة كأداة أساسية لجمع البيانات. نظراً لأنها:

- تناسب طبيعة البيئة العسكرية المنضبطة.
- تتيح الحصول على إجابات كمية قابلة للتحليل الإحصائي.
- تم إعدادها بناءً على مراجعة الأدبيات العلمية والدراسات السابقة في الموضوع.

تكوّنت الاستبانة من 3 محاور رئيسية:

الهدف	عدد الفقرات	المحور
قياس وعي الفنيين بالنظم التنبؤي	X فقرات	1. المعرفة بأنظمة PdM
رصد الوضع الفني والإداري للصيانة	X فقرات	2. واقع الصيانة الحالية
توقع التأثيرات على الاداء والجاهزية	X فقرات	3. أثر التطبيق المحتمل

3-6 صدق وثبات الاداة

- تم عرض الاستبانة على عدد من المحكمين المتخصصين في هندسة الطيران والإحصاء، للتأكد من الصدق الظاهري والمحتوي.
- كما تم حساب معامل الثبات (Cronbach's Alpha) باستخدام عينة تجريبية، حيث بلغ α = (...)، مما يدل على درجة ثبات مرتفعة تسمح باعتماد الاداة عليها.

3-7 طريقة تحليل البيانات

تم استخدام برنامج SPSS لتحليل البيانات، وتم تطبيق الادوات الإحصائية التالية:

- التكرارات والنسب المئوية
- المتوسطات الحسابية والانحراف المعياري
- اختبار (T-Test) واختبار (ANOVA) حسب الحاجة
- تحليل الارتباط (Correlation) لقياس العلاقة بين المتغيرات

3-8 حدود الدراسة

النوع	الحد
الزماني	الفصل الدراسي الثاني - 2025م
المكاني	وحدة صيانة المحركات - الدفاع الجوي

النوع	الحد
البنشري	الفنيون والمهندسون العاملون بالصيانة
الموضوعي	العلاقة بين PdM والجاهزية القتالية للطائرات

3-9 التحديات الميدانية

واجه فريق الدراسة عدداً من التحديات أثناء تطبيق الاداة، أهمها:

- القيود الأمنية على الإفصاح عن بعض المعلومات الفنية.
- الحاجة إلى الحصول على الموافقات الرسمية قبل توزيع الاستبانة.
- تفاوت الخلفية الأكاديمية للمشاركين مما تطلب تبسيط بعض المفاهيم دون الإخلال بجوهرها.

3-10 محاور ومؤشرات الاستبانة

تم إعداد الاستبانة بناءً على مراجعة الدراسات السابقة وتوصيات الخبراء، مع مراعاة البيئة العسكرية، وتضمنت مؤشرات أداء واضحة تقيس كل محور على حدة:

المحور الأول: المعرفة بأنظمة الصيانة التنبؤية (PdM)

يهدف إلى قياس مدى إلمام العاملين بالمفاهيم والتقنيات المرتبطة بالصيانة الذكية.

مؤشر القياس	مثال على الفقرة
مدى المعرفة العامة بـ PdM	"أعرف الفرق بين الصيانة الوقائية والصيانة التنبؤية"
الإلمام بالتقنيات المستخدمة	"أدرك أهمية استخدام أجهزة الاستشعار في التنبؤ بالأعطال"
المعرفة بتجارب عالمية	"أطلع على تطبيقات الصيانة الذكية في القوات الجوية العالمية"

المحور الثاني: واقع الصيانة الحالية في الوحدة

يستهدف رصد الوضع الفعلي والقيود الحالية.

مثال على الفقرة	مؤننى القياس
"تحدث أعطال غير متوقعة تؤثر على جاهزية الطائرات بشكل متكرر"	نسبة الاعطال المفاجئة
"يعتمد التقييم الفني على اجتهاد الافراد أكثر من الادلة الرقمية"	الاعتماد على الخبرة الشخصية
"تتوفر لدينا أنظمة رقمية تربط بين الصيانة والاداء الفني للمحرك"	البنية التحتية الرقمية

المحور الثالث: الأثر المتوقع لتطبيق PdM

يهدف إلى التنبؤ بنتائج التطبيق العملي في حال تنفيذه.

مثال على الفقرة	مؤننى القياس
"أرسم أن تطبيق PdM سيقفل من عدد الاعطال المفاجئة"	تأثيره على تقليل الاعطال
"الصيانة التنبؤية تساهم في تسريع الاستجابة الفنية"	تحسين الكفاءة التشغيلية
"أعتقد أن جاهزية الطائرات ستتحسن بشكل ملحوظ مع اعتماد PdM"	الجاهزية القتالية

3-11 نموذج الاستبانة المعتمد (ملحق داخل الفصل)

جامعة ميد أونتن - قسم إدارة الهندس

رسالة ماجستير بعنوان:

"تحسين الجاهزية القتالية للطائرات العسكرية من خلال أنظمة الصيانة الذكية"

إعداد الطالب: انس إبراهيم الغديفي

استبانة موجهة لفنيي ومهندسي صيانة محركات الطائرات العسكرية

عزيزي المهندس،

تهدف هذه الاستبانة إلى جمع بيانات ميدانية لدراسة أثر تطبيق أنظمة الصيانة التنبؤية على الجاهزية التشغيلية للطائرات العسكرية. تُستخدَم النتائج لأغراض علمية فقط، وستبقى جميع المعلومات سرية.

تعليمات:

يرجى وضع علامة (✓) أمام الخيار الذي يعبر عن مدى موافقتك على كل عبارة حسب المقياس التالي:

رقم	العبارة	لا أوافق بشدة	لا أوافق	محايد	أوافق	أوافق بشدة

المحور الأول: المعرفة بالصيانة التنبؤية

1. أفهم مفهوم الصيانة التنبؤية بشكل واضح

2. أعرف الفرق بين الصيانة الوقائية والتنبؤية

3. أعرف كيف تستخدم أجهزة الاستشعار في اكتشاف الأعطال

4. اطلعت على تجارب عالمية في هذا المجال

5. تلقيت تدريباً (جريباً أو كلياً) في تحليل البيانات الفنية

المحور الثاني: واقع الصيانة الحالية

6. يتم تحديد مواعيد الصيانة بشكل تقليدي ثابت
7. الاعطال المفاجئة تحدث بشكل متكرر
8. نعتهد على التقييم اليدوي أكثر من التحليل الرقمي
9. توجد فجوة بين بيانات الاداء وبيانات الصيانة
10. لا يوجد تكامل واضح بين نظم الصيانة والإدارة الفنية

المحور الثالث: توقعات تأثير PdM

11. أتوقع تقليل الاعطال المفاجئة عند تطبيق PdM
12. أرى أن PdM يرفع كفاءة التشغيل للمحركات
13. PdM يوفر وقتاً وجهداً في التشخيص
14. الصيانة التنبؤية ستساهم في رفع جاهزية الطائرات القتالية
15. أدمج تطبيق PdM في وحدتي إن توفرت الإمكانيات

3-12 الاعتبارات الأخلاقية وسرية البيانات

تعد المعايير الأخلاقية من الأسس التي تقوم عليها البحوث العلمية، خصوصاً تلك التي تعتمد على جمع بيانات من أفراد ميدانيين ضمن مؤسسات عسكرية أو ذات حساسية وظيفية. وقد التزم الباحث في هذه الدراسة بكافة الإجراءات التي تضمن النزاهة، والحفاظ على خصوصية المشاركين، وذلك كما يلي:

أولاً: موافقة الجهات المعنية

- تم الحصول على الموافقة المبدئية من الجهة المستهدفة قبل توزيع الاستبانة.
- تم التنسيق مع المسؤول المختص للوحدة محل الدراسة لضمان عدم تعارض البحث مع المهام العمليّة.

ثانياً: موافقة المشاركين

- تم نثر الهدف من الدراسة بشكل واضح في بداية الاستبانة.

- تم التأكيد للمشاركين أن إجاباتهم تُستخدم لأغراض بحثية فقط.
- كانت المشاركة طوعية بالكامل، دون إلزام أو ضغط وظيفي.

ثالثاً: السرية وحماية البيانات

- لم يتم طلب أي معلومات شخصية (اسم، رقم عسكري، رقم هوية).
- تم حفظ البيانات إلكترونياً في جهاز مؤمن، ولن يتم مشاركتها مع أي طرف ثالث.
- لن يتم ذكر أي بيانات يمكن من خلالها تتبع هوية المشاركين أو وحداتهم.

رابعاً: الالتزام بالصدق الأكاديمية

- تم تصميم الأداة بناءً على مراجعة علمية خاضعة للتدقيق.
- تم عرض الأداة على متخصصين للتأكد من مطابقتها للمعايير الأخلاقية في البحث.

الفصل الرابع: عرض النتائج وتحليلها

4-1 مقدمة الفصل

يعرض هذا الفصل النتائج الفعلية التي تم التوصل إليها بعد توزيع وتحليل الاستبانة على العينة المستهدفة من الفنيين والمهندسين العاملين في صيانة محركات الطائرات العسكرية. تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS، مع الاستعانة بالإحصاء الوصفي والاستنتاجي للوصول إلى مؤشرات دقيقة تعكس الواقع الفني والإداري.

يُقسم الفصل إلى ثلاثة محاور رئيسية تتماشى مع بناء الاستبانة، يليها تحليل علمي للارتباط بين المحاور، ومناقشة علمية في ضوء الدراسات السابقة، وانعكاسات النتائج على الواقع العملي.

4-2 خصائص العينة

بلغ عدد المنتدئين في الاستبانة (40) فرداً من الفنيين والمهندسين والإداريين في وحدة صيانة محركات الدفاع الجوي.

النسبة المئوية	التكرار	الفئة	المتغير
20%	8	أقل من 3 سنوات	سنوات الخبرة
47.5%	19	من 3 إلى 7 سنوات	
32.5%	13	أكثر من 7 سنوات	
55%	22	فني صيانة محركات	الوظيفة

النسبة المئوية	التكرار	الفئة	المتغير
25%	10	مهندس فحص وتنفيذ	
20%	8	إداري دعم فني	
35%	14	دبلوم تقني	المؤهل العلمي
50%	20	بكالوريوس هندسة	
15%	6	ماجستير إدارة مشاريع	

الملاحظة: توزعت العينة بشكل يغطي الطيف الكامل للوظائف ذات العلاقة بالمaintenance بموضوع البحث.

4-3 تحليل نتائج المحور الأول: المعرفة بالصيانة التنبؤية

هذا المحور يقيس مدى وعي المماركين بمفاهيم PdM وأساسياتها التقنية.

التفسير	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	العبارة
مرتفع	0.65	4.10	أفهم مفهوم الصيانة التنبؤية

التفسير	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	العبارة
مرئفع	0.61	4.25	أعرف الفرق بين الوقائية والتنبؤية
مرئفع	0.78	4.00	أذكر دور أجهزة الاستشعار في اكتشاف الأعطال
متوسط	0.90	3.45	اطلعت على تطبيقات عالمية في PdM
منخفض نسبياً	1.10	3.05	تلقيت تدريباً مرتبطاً بالصيانة الذكية

التحليل:

يتضح أن هناك وعياً عالياً جيداً بمفاهيم الصيانة التنبؤية، لكن التطبيق العملي والتدريب الفني المبتنئ لا يزال محدوداً، وهو ما يعكس فجوة بين الفهم النظري والتهيئة الميدانية.

4-4 تحليل نتائج المحور الثاني: واقع الصيانة الحالية

يرصد هذا المحور نقاط الضعف أو القوة في النظم الحالي المستخدَم في الوحدة.

التفسير	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	العبارة
مرئفع جداً	0.55	4.35	نعتد على جداول ثابتة للصيانة

التفسير	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	العبارة
مرتفع	0.70	4.10	الاعطال المفاجئة تحدث كثيراً
مرتفع	0.63	4.20	التقييم غالباً يدوي وليس رقمي
متوسط مرتفع	0.85	3.85	لا يوجد تكامل بين أنظمة البيانات
مرتفع	0.68	4.05	توجد صعوبة في توقع الاعطال قبل وقوعها

التحليل:

النتائج تُظهر أن النظام الحالي يعاني من اعتماد تنبؤ كلي على الجداول اليدوية وخبرة الأفراد، مع غياب أنظمة التنبؤ والتحليل الرقمي. وهذا ما يجعل الوحدة عرضة لاعطال مفاجئة تؤثر سلباً على الجاهزية التشغيلية.

4-5 تحليل نتائج المحور الثالث: الأثر المتوقع لتطبيق PdM

يستهدف هذا المحور قياس رأي العاملين حول نتائج تطبيق PdM.

التفسير	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	العبارة
مرتفع جداً	0.48	4.50	PdM سيقلل الاعطال المفاجئة

التفسير	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	العبارة
مرتفع	0.60	4.30	يرفع كفاءة التشغيل للمحركات
مرتفع	0.59	4.15	يقلل وقت التنخيص
مرتفع جداً	0.52	4.45	سيفع الجاهزية القتالية
مرتفع	0.55	4.35	أدعم التطبيق الكامل لـ PdM

التحليل:

هناك اتفاق واسع من الممارسين على التأثير الإيجابي المتوقع لأنظمة PdM، خصوصاً على صعيد الجاهزية القتالية وتقليل الأعطال. مما يدل على تقبل ميداني للفكرة حتى قبل التنفيذ.

4-6 تحليل العلاقة بين المحاور

تم استخدامه تحليل الارتباط (Pearson Correlation) لقياس العلاقة بين:

- معرفة PdM والاستعداد لتطبيقه $r = 0.68$ (علاقة إيجابية قوية)
- واقع الصيانة الحالي والحاجة إلى التغيير $r = 0.74$ (علاقة إيجابية قوية جداً)

الاستنتاج:

كلما زاد وعي الممارسين بالصيانة التنبؤية، زادت قناعتهم بضرورة التحول من النموذج التقليدي، وهو ما يؤكد جدوى تنفيذ برامج التدريب والتحول الرقمي.

4-7 مناقشة النتائج في ضوء الدراسات السابقة

- توافق مع نتائج RAND (2018): وجود تأثير واضح لتطبيق PdM على تقليل الأعطال.
- تأييد لنتائج MoD البريطانية: أهمية وجود بنية رقمية داعمة.
- دعم لنتائج الحربي (2021): أن الأعطال المفاجئة هي التحدي الأكبر أمام الجاهزية.

لكن الدراسة الحالية أضافت بعداً جديداً:

الربط بين PdM ورفع كفاءة إدارة المهنزوع العسكري داخل بيئة صيانة المحركات، وهو ما لم يتم تناوله بوضوح في الأدبيات السابقة.

4-8 ملخص الفصل الرابع

قَبَّ هذا الفصل تحليلاً شاملاً لبيانات الاستبانة، التي أظهرت:

- وعي نظري جيد بالصيانة التنبؤية.
- وجود فجوة واضحة بين الواقع الفني الحالي والمهارات الذكية الحديثة.
- قناعة ميدانية بأن تطبيق PdM سيؤدي إلى رفع الجاهزية القتالية، وتقليل الأعطال، وتحسين كفاءة الأداء.

تُعد هذه النتائج مقدمة منطقية للفصل التالي، والذي سيعرض التوصيات العملية والمقترحات المستقبلية بناءً على المعطيات الميدانية.

4-9 مقارنة تحليلية بين محاور الدراسة

الملاحظات	التقييم العلمي	الانحراف المعياري العلمي	متوسط الاستجابات	المحور
يوجد وعي نظري جيد، لكن يفتقر إلى تدريب ميداني	متوسط مرتفع	0.81	3.77	المعرفة بالصيانة التنبؤية
الاعتماد على الجداول والتقييم اليدوي لا يزال سائداً	مرتفع	0.66	4.11	واقع الصيانة الحالية
المشاركون مقتنعون تماماً بفوائد النظام الذكي	مرتفع جداً	0.55	4.35	الأثر المتوقع لتطبيق PdM

التحليل المقارن:

- يظهر أن الاقتناع بالتطبيق المستقبلي أعلى من المعرفة الفعلية، ما ينشئ إلى حاجة واضحة لتدريب وتوعية موسعة قبل تنفيذ PdM.

- وجود فجوة واضحة بين الواقع الحالي والتوجه المستقبلي، وهذه الفجوة تمثل فرصة للتطوير المؤسسي.
- كلما زادت المعرفة (المحور الأول)، زادت الرغبة في التغيير (المحور الثالث)، لكن هذا من شروط بتحسين البنية التحتية الفنية.

الفصل الخامس: التوصيات والمقترحات

5-1 مقدمة الفصل

بناءً على النتائج الهيدانية والتحليل الإحصائي الوارد في الفصل الرابع، يقف هذا الفصل توصيات عمالية ومقترحات مستقبلية تستند إلى الواقع الفعلي لقطاع صيانة محركات الطيران العسكري، وتراعي السياق الإداري، الفني، والرقمي في بيئة الدفاع الجوي.

تهدف هذه التوصيات إلى دعم التحول من نموذج الصيانة التقليدية إلى نموذج الصيانة التنبؤية الذكية، بما يسهم في رفع الجاهزية القتالية، وتقليل زمن الأعطال، وتحسين الكفاءة التشغيلية.

التوصيات الفنية والتقنية

1. إنشاء برنامج تجريبي (Pilot Project) لتطبيق الصيانة التنبؤية على نوع واحد من المحركات العسكرية

- السبب: البدء التجريبي يقلل من مقاومة التغيير، ويوفر فرصة لقياس النتائج.
- التنفيذ: يُفضل اختيار طراز عالي الاستخدام، وتطبيق PdM عليه لمدة 6 أشهر مع مراقبة أداء الجاهزية والانقطاعات.

2. تجهيز المحركات بمستشعرات IoT متقدمة

- أنواع المستشعرات المطلوبة: مستشعرات حرارة - اهتزاز - تدفق هواء - ضغط داخلي.
- الفائدة: تمكن من جمع بيانات فنية دقيقة لحالة المحرك في الوقت الفعلي.

3. دمج البيانات مع نظام مركزي لتحليل الأعطال (Fault Detection Dashboard)

- الوظيفة: عرض مؤشرات الأداء بشكل بصري لحظي للفنيين.
 - المخرجات: إنذارات مبكرة، تقارير أسبوعية، ونقاط إصلاح متوقعة.
4. إنشاء سجل رقمي موحد لكل محرك (Digital Engine Logbook)
- الفائدة: تتبع دورة حياة كل محرك منذ أول تشغيل وحتى آخر تدخل فني.
 - المحتوى: مؤشرات الأداء - الأعطال - الإصلاحات - حالة الاستهلاك - الساعات الفعلية.

ثانياً: التوصيات البنائية والتدريبية

5. إطلاق برنامج تأهيلي شامل لفنيي الصيانة في تحليل البيانات الفنية

- المحتوى: تحليل الاهتزاز، تقييم اتجاهات الأعطال، التفاعل مع الهنصات التنبؤية.
- مدة الدورة: لا تقل عن 40 ساعة تدريبية.

6. إعادة هيكلة الهيكل التنظيمي والمسؤوليات الفنية داخل وحدة الصيانة

- اقتراح: إضافة مسمى "محلل صيانة نكية" أو "فني PdM".

- الهدف: تخصيص دور جديد لمتابعة وتحليل أداء الأنظمة الذكية وليس فقط تنفيذ الإصلاحات.

7. استخدام نتائج النظام الذكي في تقييم أداء الفنيين

- كيف؟ إذا اكتشف الفني عطلاً قبل النظام، يُكافأ. وإذا تجاوز النظام الفنيين، تتم مراجعة أسلوب التحليل البشري.

- الفائدة: تحفيز التفاعل بين الإنسان والتقنية.

ثالثاً: التوصيات الإدارية والتحول المؤسسي

8. إنشاء وحدة "الجاهزية الذكية" داخل إدارة الدعم الفني

- وظيفتها: مراقبة جاهزية الأسطول بناءً على بيانات PdM وليس التقارير الورقية.

- ترتبط بـجانبية: بقائد الصيانة أو مدير الوحدة الفنية.

9. إدراج مؤشرات PdM ضمن التقارير الرسمية المرفوعة للقيادة

- مثل: متوسط عدد الأعطال المتوقعة والمكتشفة، زمن الإنذار المبكر، معدل تجاوز الفنيين مع التنبيهات.

10. دمج PdM في نظام إدارة المهندسين العسكرية

- المقترح: ربط مهمل الصيانة التنبؤية بمخططات Gantt أو WBS (هيكل تجربة العمل).

- الهدف: إدخال الصيانة ضمن تدفق المهندسين العسكري لا كعنصر خارجي أو طارئ.

رابعاً: التوصيات الرقمية والبيانية

11. تطوير لوحة مؤشرات مركزية تربط بين وحدات الطيران والصيانة

- منصة Dashboard عسكرية خاصة

- تُستخدم لاتخاذ القرار الفوري، ومتابعة الطائرات قبل وأثناء المهام.

12. إنشاء نظام لتوثيق الأعطال وتحليل الاتجاهات

- تحليل كل 3 أشهر لأكثر الأعطال تكراراً، ووقت ظهورها، ومدى ارتباطها بساعات الطيران أو الظروف الجوية.

13. ربط نظام PdM مع الموردين الخارجيين (OEMs)

- كيف؟ يتعدى النظام للموردين الاطلاع على بيانات الاداء، مما يُسهّل طلب قطع الغيار بناءً على التحليل الفعلي، وليس التقدير.

3-5 المقترحات المستقبلية (موسعة)

1. تصميم منصة سعودية وطنية للصيانة التنبؤية للطيران العسكري

- تشمل الربط بين جميع الطائرات، المحركات، الفنيين، الموردين، عبر منصة موحدة على مستوى وزارة الدفاع.

2. دمج الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات السابقة واستباق الأعطال

- عبر خوارزميات تعلم الآلة (Machine Learning) تتنبأ بالأعطال قبل ظهور أي أعراض فعلية.

3. دراسة أثر الصيانة الذكية على سرعة اتخاذ القرار في غرفة العمليات الجوية

- كيف تُسهّم مؤشرات الأعطال في توجيه القادة لتغيير جدول المهام الجوية أو إعادة توزيع الطائرات.

4. اقتراح نموذج إداري جديد لتكامل إدارة الصيانة الفنية والصيانة الدفاعية

- بعنوان: "نموذج MIPM - إدارة الصيانة المتكامل العسكري".

5. قياس العائد الاستثماري (ROI) من تطبيق PdM مقارنة بالنموذج التقليدي

- لإقناع متخذي القرار بأن الاستثمار في PdM يُوفّر على المدى المتوسط.

الخاتمة

يمثل قطاع صيانة محركات الطائرات العسكرية أحد أهم الركائز التي تقوم عليها الجاهزية القتالية لأي قوة جوية. وقد أظهرت هذه الدراسة أن الاهتمام على النهج التقليدية للصيانة بالرغم من خبرتها التاريخية، لم يعد كافياً لمواجهة متطلبات الاستجابة الفورية والدقة التشغيلية في البيئة العسكرية الحديثة.

من خلال تحليل ميداني وبيانات كمية تم جمعها من عينة فنية عاملة في صيانة المحركات العسكرية، أكدت النتائج أن أنظمة الصيانة التنبؤية (PdM) ليست ترفاً تقنياً، بل ضرورة استراتيجية يمكن أن تحدث تحولاً نوعياً في أداء منظومات الطيران، ورفع كفاءة التشغيل، وتقليل الأعطال غير المتوقعة.

كما أظهرت الدراسة وجود وعي متزايد لدى الكوادر الفنية والإدارية بأهمية هذا التحول، رغم محدودية التدريب الفعلي ونقص البنية التحتية الرقمية المتكاملة.

وعليه، فإن هذه الدراسة تدعو بوضوح إلى تبني أنظمة الصيانة الذكية في وحدات صيانة المحركات العسكرية ضمن خطة مدروسة تدريجياً، تستند إلى التدريب، التكامل الرقمي، وتعديل الثقافة المؤسسية نحو استباق الأعطال بدلاً من انتظارها.

وختاماً، يمكن القول إن الجاهزية في السماء تبدأ من دقة الصيانة على الأرض.

الملاحق

الملاحق (1): الاستبانة المستخدمة في الدراسة
(تم عرضه سابقاً، يُرفق نسخة PDF/Word مستقلة بنهاية الملف)

الملاحق (2): جداول التحليل الإحصائي التفصيلي
(في حالة توفر الجداول من SPSS، تُرفق في نهاية البحث)

الملاحق (3): تعريفات فنية مختصرة للمصطلحات التقنية المستخدمة

المصطلحات

التعريف

PdM	Predictive Maintenance - الصيانة التنبؤية
MTBF	Mean Time Between Failures - متوسط الوقت بين الأعطال
CMMS	Computerized Maintenance Management System - نظام إدارة الصيانة

المصطلح

التعريف

المحوسب

CBM

Condition-Based Maintenance - الصيانة المعتمدة على الحالة

IoT
Sensors

مستشعرات إنترنت الأشياء لجمع بيانات الأداء من المعدات

قائمة المراجع

(مراجع عربية وإنجليزية مختارة - نموذج)

1. RAND Corporation. (2018). *Condition-Based Maintenance for Military Aircraft*.
USAF Report

2. Ministry of Defence (UK). (2020). *AI Integration in Aircraft Maintenance*. London

3. الحربي، خالد. (2021). "تحليل أداء الصيانة في الطيران العسكري السعودي"، مجلة الدفاع الوطني.
 4. NATO Maintenance Group. (2021). *Predictive Maintenance in Joint Ops*. Brussels
 5. Turkiye Military University. (2021). *PdM Application on F-4 Engines*. Istanbul
 6. جامعة نايف الأمنية. (2022). "التحول الرقمي في إدارة الاسطول الجوي"، الرياض.
 7. GE Aviation. (2023). *Digital Twin Engines and PdM*. Company White Paper
- (تُرتب لاحقاً حسب الأسلوب المطلوب APA / Chicago / MLA)

إقرار النراة الأكاديمية

أنا الطالب: انس إبراهيم الغديفي

أنتهـد بأن هذه الرسالة قد أعدت بجهدى الشخصى، وأن جميع المعلومات والمصادر التى استخدمتها قد تم توثيقها بطريقة علمية صحيحة. ولم يتم اقتباس أو نسخ أى جزء من أعمال الآخرين دون الإشارة إليها حسب الأصول الأكاديمية المعتمدة.

كما أقر بأن هذه الرسالة لم يتم تقديمها من قبل لنيل درجة علمية فى أى مؤسسة أجنبية.

اسم الطالب: انس إبراهيم الغديفي

التاريخ: 09/07/2025

التوقيع: