

جامعة ميدأوشن

كلية الإدارة

قسم / تخصص إدارة الأعمال



أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران

إعداد الطالب/

راشد بن محمد الخرفي

إشراف/

د. الفيصـل عبد الحميد

د. فايز جراد

العام الدراسي:

2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

إلى والديَّ العزيزين، اللذين كانا ولا يزالان مصدر العطاء والحنان، وغرسا في نفسي حب العلم والاجتهاد، ورافقاني بالدعاء والدعم في كل خطوة من خطوات حياتي، فكانا خير معين بعد الله سبحانه وتعالى، أسأل الله أن يبارك في عمرهما، ويجزيهما عني خير الجزاء.

إلى أسرتي الكريمة، التي أحاطتني بالمحبة والتشجيع، وكانت سندًا لي في أوقات التعب، وشريكًا في لحظات الأمل والنجاح، فلهم مني كل التقدير والامتنان.

إلى أساتذتي الأفاضل، الذين أناروا لي طريق المعرفة، وأسهموا بعلمهم وخبراتهم في بناء شخصيتي العلمية، فكان لهم الأثر الكبير فيما وصلت إليه.

إلى كل صديق وزميل وقف إلى جانبي، وساندني بكلمة طيبة أو نصيحة صادقة أو دعاء مخلص، وكان له أثر في تذليل الصعوبات التي واجهتني خلال هذه الرحلة العلمية.

إلى كل طالب علم يسعى إلى المعرفة، ويؤمن بأن العلم رسالة سامية، وأن البحث العلمي هو السبيل إلى بناء الأوطان وازدهارها.

وإلى كل من كان له فضل عليّ، وعجزت كلماتي عن ذكره، أهدي هذا العمل المتواضع، راجيًا من الله تعالى أن يجعله خالصًا لوجهه الكريم، وأن ينفع به، وأن يتقبله مني قبولًا حسنًا.

إليكُم جميعًا أهدي ثمرة هذا الجهد، عرفانًا بالفضل، وتقديرًا للعطاء، ووفاء لكل من أسهم في هذه المسيرة.

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين، الذي وفقني وأعانني على إتمام هذه الرسالة، والصلاة والسلام على سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم، وعلى آله وصحبه أجمعين.

أتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى الأساتذة الدكتور/ الفيصّل عبد الحميد والدكتور / فايز جراد مشرفي على هذه الرسالة، لما قدمه لي من توجيه علمي سديد، ونصح قيّم، ومتابعة مستمرة، وصبر كريم طوال فترة إعداد هذه الدراسة، فله مني جزيل الشكر والتقدير.

كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى أعضاء لجنة المناقشة الكرام على تفضلهم بقبول مناقشة هذه الرسالة، وما سيبدونه من ملاحظات علمية قيمة تسهم في تطوير هذا العمل.

وأتوجه بالشكر إلى جميع أعضاء هيئة التدريس في جامعة ميدأوشن كلية الإدارة الذين كان لهم الفضل في إثراء معارفي العلمية خلال فترة الدراسة.

ولا يفوتني أن أتقدم بالشكر لكل من ساهم في إنجاز هذه الدراسة، سواء بتقديم المشورة أو المساعدة أو توفير البيانات والمعلومات اللازمة.

كما أتقدم بخالص الشكر والعرفان إلى أسرتي الكريمة، التي كانت خير داعم وسند لي طوال مسيرتي العلمية، وإلى كل من وقف إلى جانبي وشجعني حتى أتممت هذا العمل.

وفي الختام، أسأل الله تعالى أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به الباحثين والمهتمين، وأن يوفق الجميع لما فيه الخير والسداد.

والله ولي التوفيق.

الفهرس

إهداء	3
شكر وتقدير	4
المستخلص:	11
الفصل الأول	13
1-1 مقدمة الدراسة	14
1-2 مشكلة الدراسة	16
1-3 أهمية الدراسة	17
أولاً: الأهمية العلمية	17
ثانياً: الأهمية العملية	18
1-4 أهداف الدراسة	18
أولاً: الهدف الرئيسي	18
ثانياً: الأهداف الفرعية	18
1-5 تساؤلات الدراسة	19
1-6 فروض الدراسة	20
الفرضية الرئيسية:	20
الفروض الفرعية	20
الفرضية الفرعية الأولى	20
الفرضية الفرعية الثانية	20

21.....	الفرضية الفرعية الثالثة.....
21.....	الفرضية الفرعية الرابعة.....
21.....	الفرضية الفرعية الخامسة.....
22.....	1-7 النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث.....
24.....	الفصل الثاني.....
24.....	الدراسات السابقة.....
25.....	2.1- مقدمة.....
26.....	2.2-الدراسات السابقة.....
26.....	الدراسة الأولى:.....
27.....	الدراسة الثانية:.....
28.....	الدراسة الثالثة :.....
29.....	الدراسة الرابعة :.....
30.....	الدراسة الخامسة :.....
31.....	الدراسة السادسة :.....
32.....	الدراسة السابعة :.....
33.....	الدراسة الثامنة :.....
34.....	2.3 - الإطار النظري للدراسة.....
34.....	2.3.1- مفهوم الصيانة:.....
35.....	2.3.2 الصيانة التنبؤية(Predictive Maintenance).....
36.....	2.3.3 تقنيات الصيانة التنبؤية.....

39.....	2.3.4 متطلبات تطبيق الصيانة التنبؤية
41.....	2.3.5 تحديات تطبيق الصيانة التنبؤية
43.....	2.3.6 معدات الدعم الأرضي للطيران (Ground Support Equipment - GSE)
45.....	2.3.7 مفهوم جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران
46.....	2.3.8 مؤشرات قياس جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران
48.....	2.3.9 العلاقة بين الصيانة التنبؤية وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران
51.....	الفصل الثالث
51.....	منهجية الدراسة
52.....	مقدمة
52.....	3-1 منهجية وطرق البحث
53.....	3-2 مجتمع الدراسة
54.....	3-3 حدود الدراسة
56.....	الفصل الرابع
56.....	النتائج والتوصيات
57.....	مقدمة:
57.....	4-1 تحليل البيانات
59.....	4-2 الوصف الإحصائي للخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة
60.....	4-2-1 توزيع أفراد العينة حسب الجنس
61.....	4-2-2 توزيع أفراد عينة الدراسة حسب العمر
62.....	4-2-3 توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي

63.....	4-2-4 توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المسمى الوظيفي
64.....	4-2-5 توزيع أفراد عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة
65.....	4-4 تحليل نتائج محاور الاستبانة
65.....	4-4-1 تحليل نتائج المحور الأول: البنية التكنولوجية للصيانة التنبؤية
67.....	4-4-2 تحليل نتائج المحور الثاني: تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال
70.....	4-4-3 تحليل نتائج المحور الثالث: إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة
72.....	4-4-4 تحليل نتائج المحور الرابع: الكفاءات البشرية
75.....	4-4-5 تحليل نتائج المحور الخامس: الدعم الإداري والتنظيمي
77.....	4-4-6 تحليل نتائج المحور السادس: جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران
80.....	4-5 نتائج الدراسة
82.....	4-6 توصيات الدراسة
85.....	المراجع
86.....	المراجع العربية
87.....	المراجع الأجنبية
90.....	استبانة الدراسة
90.....	أولاً: البيانات الشخصية
92.....	ثانياً: محاور الدراسة
92.....	المحور الأول
93.....	المحور الثاني
93.....	المحور الثالث

94.....	المحور الرابع
94.....	المحور الخامس
95.....	المحور السادس
96.....	Abstract الملخص

فهرس الجداول والأشكال

الاسم	رقم الصفحة
جدول 1-4	60
جدول 2-4	61
جدول 3-4	62
جدول 4-4	63
جدول 5-4	64
جدول 6-4	66
جدول 7-4	68
جدول 8-4	70
جدول 9-4	73
جدول 10-4	75
جدول 11-4	77
الشكل 1-4	60
الشكل 2-4	61
الشكل 3-4	62
الشكل 4-4	64
الشكل 5-4	65

الجدول

الأشكال

المستخلص:

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في رفع مستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، من خلال دراسة تطبيقية أجريت على شركة الخدمات الأرضية، وذلك في ظل التطورات المتسارعة التي يشهدها قطاع الطيران والاعتماد المتزايد على التقنيات الذكية في إدارة عمليات الصيانة. وتنبع أهمية الدراسة من الدور الحيوي الذي تؤديه معدات الدعم الأرضي في ضمان استمرارية العمليات التشغيلية وسلامة الخدمات المقدمة للطائرات، الأمر الذي يجعل المحافظة على جاهزية هذه المعدات أحد أهم عوامل نجاح شركات الخدمات الأرضية.

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لملاءمته لطبيعة الدراسة وأهدافها، حيث تم تصميم استبانة كأداة رئيسة لجمع البيانات، وتكونت من ستة محاور رئيسة تمثلت في: البنية التكنولوجية، وتحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال، وإدارة وتنفيذ عمليات الصيانة، والكفاءات البشرية، والدعم الإداري والتنظيمي، وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران. وتم توزيع الاستبانة على عينة قصدية من مهندسي الصيانة، والفنيين، ومشرفي الصيانة العاملين في شركة الخدمات الأرضية، وبلغ عدد الاستبانات الصالحة للتحليل الإحصائي (90) استبانة، وتم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة.

أظهرت نتائج الدراسة أن مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية جاء بمستوى جيد بصورة عامة، حيث تبين توافر بنية تكنولوجية مناسبة تدعم تطبيق هذا النوع من الصيانة، مع وجود اهتمام واضح باستخدام البيانات التشغيلية في التنبؤ بالأعطال وتحسين عمليات الصيانة. كما أوضحت النتائج أن إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة تتم وفق مستوى جيد من التنظيم، في حين كشفت الدراسة عن وجود حاجة إلى تعزيز برامج التدريب والتأهيل المستمر للعاملين، وتطوير المهارات المتعلقة باستخدام التقنيات الحديثة وتحليل البيانات الفنية. كما بينت النتائج أن الدعم الإداري والتنظيمي يسهم بصورة إيجابية في نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية، إلا أن توفير الموارد المالية المخصصة لتطوير أنظمة الصيانة ما يزال بحاجة إلى مزيد من الاهتمام. وأظهرت الدراسة كذلك أن جاهزية معدات الدعم الأرضي جاءت بمستوى مرتفع، مع وجود بعض التحديات المتعلقة بالأعطال المفاجئة وفترات التوقف غير المخطط لها، والتي يمكن الحد منها من خلال التوسع في تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية.

وتوصلت الدراسة إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لتطبيق الصيانة التنبؤية بأبعادها المختلفة في تحسين جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، حيث تبين أن تطوير البنية التكنولوجية، وتحسين أساليب تحليل البيانات، ورفع كفاءة إدارة الصيانة، وتنمية الكفاءات البشرية، وتعزيز الدعم الإداري، جميعها تسهم في زيادة الاعتمادية التشغيلية للمعدات، وتقليل الأعطال المفاجئة، وخفض تكاليف الصيانة، ورفع مستوى الجاهزية التشغيلية.

وفي ضوء النتائج، أوصت الدراسة بضرورة التوسع في تطبيق الصيانة التنبؤية داخل شركات الخدمات الأرضية، والاستثمار في التقنيات الحديثة والذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات، وتطوير برامج تدريب وتأهيل العاملين، وتعزيز التكامل بين إدارات الصيانة والعمليات وتقنية المعلومات، وتوفير الدعم المالي والإداري اللازم لتطوير أنظمة الصيانة، إضافة إلى اعتماد مؤشرات أداء لقياس جاهزية المعدات بصورة مستمرة، بما يسهم في تحسين كفاءة العمليات التشغيلية، ورفع جودة الخدمات الأرضية، وتعزيز القدرة التنافسية لشركات الطيران والخدمات الأرضية.

الفصل الأول

1-1 مقدمة الدراسة

يُعد قطاع الطيران المدني أحد أكثر القطاعات اعتمادًا على الكفاءة التشغيلية والانضباط الزمني، حيث ترتبط جودة الخدمات المقدمة فيه بقدرة مختلف الأنظمة والمعدات على العمل بكفاءة واستمرارية. وتُشكل معدات الدعم الأرضي للطيران (Ground Support Equipment - GSE) عنصرًا أساسيًا في تنفيذ العمليات الأرضية داخل المطارات، إذ تُستخدم في خدمة الطائرات قبل الإقلاع وبعد الهبوط، وتشمل معدات تزويد الطاقة الكهربائية، ووحدات تكييف الهواء، وجرارات سحب الطائرات، وأحزمة نقل الأمتعة، ومعدات تحميل وتفريغ الشاحنات، وغيرها من المعدات التي تسهم في ضمان انسيابية العمليات التشغيلية وتقليل زمن بقاء الطائرات على الأرض.

وتعتمد كفاءة العمليات الأرضية بصورة مباشرة على جاهزية هذه المعدات واستمرارية عملها، إذ إن أي تعطل مفاجئ في أحد مكوناتها قد يؤدي إلى تأخير الرحلات الجوية، وارتفاع التكاليف التشغيلية، وانخفاض كفاءة استغلال الموارد، فضلاً عن التأثير في مستوى جودة الخدمات المقدمة لشركات الطيران والمسافرين. لذلك أصبحت المحافظة على جاهزية معدات الدعم الأرضي أحد الأهداف الإستراتيجية لشركات الخدمات الأرضية، لما لها من دور محوري في تعزيز الأداء التشغيلي وتحقيق مستويات مرتفعة من السلامة والاعتمادية.

وقد شهدت ممارسات إدارة الصيانة خلال العقود الأخيرة تطورًا ملحوظًا، حيث انتقلت من الاعتماد على الصيانة التصحيحية التي تُجرى بعد وقوع الأعطال، إلى الصيانة الوقائية المعتمدة على جداول زمنية محددة، ثم إلى الصيانة المعتمدة على الحالة، وصولًا إلى الصيانة التنبؤية التي تُعد من أكثر الأساليب تطورًا في إدارة الأصول والمعدات. ويعتمد هذا النوع من الصيانة على جمع البيانات التشغيلية وتحليلها باستخدام أجهزة الاستشعار وتقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي، بهدف التنبؤ بالأعطال المحتملة قبل حدوثها، مما يسمح بتنفيذ أعمال الصيانة في الوقت الأمثل وتقليل الأعطال غير المخطط لها.

وفي ظل التحول الرقمي الذي يشهده قطاع الطيران، أصبحت الصيانة التنبؤية إحدى الأدوات الرئيسية التي تعتمد عليها المؤسسات الساعية إلى رفع الكفاءة التشغيلية، وتحسين استثمار الأصول، وتقليل تكاليف الصيانة، وتعزيز الاعتمادية التشغيلية للمعدات. كما تسهم في دعم اتخاذ القرار من خلال توفير معلومات دقيقة وفورية حول الحالة الفنية للمعدات، الأمر الذي يساعد إدارات الصيانة على التخطيط الفعال وتخصيص الموارد بصورة أكثر كفاءة.

ورغم التوسع العالمي في تبني تطبيقات الصيانة التنبؤية في القطاعات الصناعية والخدمية، فإن الدراسات العربية التي تناولت أثر تطبيقها في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران ما تزال محدودة، كما أن طبيعة بيئة العمل في شركات الخدمات الأرضية تفرض تحديات تشغيلية تختلف عن القطاعات الصناعية الأخرى، مما يجعل من الضروري دراسة العلاقة بين تطبيق الصيانة التنبؤية وجاهزية معدات الدعم الأرضي في هذا القطاع الحيوي، بما يسهم في توفير أدلة علمية تساعد متخذي القرار على تطوير سياسات الصيانة وتحسين الأداء التشغيلي.

وانطلاقاً من ذلك، تأتي هذه الدراسة لبحث أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران من خلال دراسة تطبيقية على شركة الخدمات الأرضية، بهدف قياس مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية، وتحليل أثرها في رفع جاهزية المعدات، والوصول إلى نتائج علمية يمكن الاستفادة منها في تطوير ممارسات إدارة الصيانة وتعزيز كفاءة العمليات الأرضية في قطاع الطيران.

2-1 مشكلة الدراسة

يشهد قطاع الطيران المدني تطورًا متسارعًا في حجم الحركة الجوية وتعقيد العمليات التشغيلية، الأمر الذي أدى إلى زيادة الاعتماد على معدات الدعم الأرضي للطيران بوصفها عنصرًا أساسيًا في تقديم الخدمات الأرضية للطائرات وضمان انسيابية العمليات داخل المطارات. وتؤدي هذه المعدات دورًا محوريًا في تنفيذ مختلف العمليات التشغيلية، بدءًا من استقبال الطائرات وتجهيزها للإقلاع، مرورًا بمناولة الأمتعة والشحن، وانتهاءً بخدمات الطاقة والتكييف والجر، الأمر الذي يجعل جاهزيتها التشغيلية عاملاً رئيسًا في تحقيق الكفاءة التشغيلية وتقليل زمن دوران الطائرات والمحافظة على مستويات السلامة والجودة.

وتواجه شركات الخدمات الأرضية تحديات متزايدة تتمثل في الأعطال المفاجئة للمعدات، وارتفاع تكاليف الصيانة، وعدم القدرة على التنبؤ الدقيق بحالة المعدات، مما يؤدي إلى توقف بعض المعدات عن الخدمة في أوقات التشغيل الحرجة، وينعكس سلبًا على كفاءة العمليات التشغيلية، ومستوى جودة الخدمات المقدمة، والالتزام بجدول الرحلات الجوية، إضافة إلى زيادة تكاليف الإصلاح والصيانة الطارئة، وانخفاض العمر التشغيلي للأصول.

وعلى الرغم من أن الصيانة الوقائية أسهمت في الحد من بعض الأعطال من خلال تنفيذ أعمال الصيانة وفق جداول زمنية محددة، إلا أنها لا تستطيع في كثير من الحالات التنبؤ بالأعطال الفعلية قبل وقوعها، مما قد يؤدي إلى إجراء عمليات صيانة غير ضرورية في بعض الأحيان، أو عدم اكتشاف بعض الأعطال التي تتطور بصورة مفاجئة، الأمر الذي دفع العديد من المؤسسات إلى تبني الصيانة التنبؤية باعتبارها أحد أكثر أساليب الصيانة تطورًا، حيث تعتمد على تحليل البيانات التشغيلية للمعدات باستخدام أجهزة الاستشعار وتقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات للتنبؤ بالأعطال المحتملة قبل حدوثها، بما يساهم في تحسين التخطيط للصيانة وتقليل الأعطال غير المخطط لها ورفع جاهزية المعدات.

ورغم التوسع في تطبيق الصيانة التنبؤية في العديد من القطاعات الصناعية والخدمية على المستوى العالمي، إلا أن الدراسات التي تناولت أثر تطبيقها في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران ما تزال محدودة، ولا سيما في البيئة العربية، كما أن معظم الدراسات السابقة ركزت على الجوانب الفنية أو الهندسية لتطبيق الصيانة التنبؤية، في حين لم تحظ العلاقة بين تطبيق الصيانة التنبؤية وجاهزية معدات الدعم الأرضي باهتمام كافٍ من منظور إداري يربط بين ممارسات الصيانة ومستوى الجاهزية التشغيلية للمعدات داخل شركات الخدمات الأرضية.

وانطلاقاً من ذلك، تتمثل مشكلة الدراسة في الحاجة إلى التعرف على أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، من خلال دراسة تطبيقية على شركة الخدمات الأرضية، بهدف تحديد مدى إسهام تطبيق الصيانة التنبؤية في تعزيز جاهزية المعدات، وتحسين كفاءتها التشغيلية، وتقليل الأعطال المفاجئة، ودعم متخذي القرار في تطوير سياسات إدارة الصيانة بما يحقق الاستخدام الأمثل للمعدات ويرفع من كفاءة العمليات التشغيلية في قطاع الطيران.

3-1 أهمية الدراسة

تنبع أهمية هذه الدراسة من الأهمية المتزايدة التي تحظى بها الصيانة التنبؤية بوصفها أحد الأساليب الحديثة في إدارة الصيانة، ومن الدور الحيوي الذي تؤديه معدات الدعم الأرضي في ضمان استمرارية العمليات التشغيلية في قطاع الطيران. كما تستمد الدراسة أهميتها من الحاجة إلى تعزيز جاهزية هذه المعدات وتحسين كفاءة استثمارها في ظل التحديات التشغيلية والتطورات التقنية المتسارعة التي يشهدها قطاع الطيران المدني. ويمكن توضيح أهمية الدراسة من خلال الجانبين الآتيين:

أولاً: الأهمية العلمية

1. تسهم الدراسة في إثراء الأدبيات العلمية المتعلقة بالصيانة التنبؤية وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، من خلال تناول العلاقة بينهما في إطار علمي يجمع بين مفاهيم إدارة الأعمال وإدارة الصيانة .
2. تقدم إطاراً نظرياً متكاملًا يوضح مفاهيم الصيانة التنبؤية، وأبعادها، وأهميتها، ومراحل تطبيقها، بالإضافة إلى مفهوم جاهزية معدات الدعم الأرضي ومؤثراتها والعوامل المؤثرة فيها .
3. تسهم في سد جانب من الفجوة البحثية في الدراسات العربية التي تناولت تطبيقات الصيانة التنبؤية في قطاع الطيران، ولا سيما في شركات الخدمات الأرضية .
4. تمثل الدراسة مرجعاً علمياً يمكن للباحثين وطلبة الدراسات العليا الاستفادة منه في إجراء دراسات مستقبلية تتناول تطبيقات الصيانة الذكية وإدارة الأصول والصيانة في قطاع الطيران والقطاعات التشغيلية الأخرى .

ثانياً: الأهمية العملية

1. تزود إدارة شركة الخدمات الأرضية بنتائج علمية توضح أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في رفع جاهزية معدات الدعم الأرضي، بما يدعم اتخاذ القرارات المتعلقة بتطوير أنظمة إدارة الصيانة.
2. تساعد مسؤولي الصيانة ومشرفيها في التعرف على الجوانب التي تسهم في تحسين جاهزية المعدات والحد من الأعطال المفاجئة، بما ينعكس إيجاباً على استمرارية العمليات التشغيلية.
3. تسهم في تقديم مجموعة من التوصيات العملية التي يمكن الاستفادة منها عند تطوير سياسات الصيانة وتخصيص الموارد والاستثمار في التقنيات الحديثة الداعمة للصيانة التنبؤية.
4. تدعم جهود شركات الخدمات الأرضية في تحسين كفاءة استخدام المعدات، وتقليل تكاليف الصيانة والإصلاح، ورفع مستوى الاعتمادية والتوافر التشغيلي للمعدات، بما يعزز جودة الخدمات المقدمة لشركات الطيران ويرفع مستوى الأداء التشغيلي.

4-1 أهداف الدراسة

أولاً: الهدف الرئيسي

التعرف إلى أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

ثانياً: الأهداف الفرعية

1. التعرف إلى مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية.
2. قياس مستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.
3. تحليل أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران.
4. تحديد أثر أبعاد تطبيق الصيانة التنبؤية في كلٍ من التوافر التشغيلي، والاعتمادية، وتقليل الأعطال المفاجئة، وسرعة إعادة المعدات إلى الخدمة، واستمرارية التشغيل.
5. تحديد أكثر أبعاد تطبيق الصيانة التنبؤية تأثيراً في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران.

6. تقديم مجموعة من التوصيات العلمية والعملية التي تساهم في تعزيز جاهزية معدات الدعم الأرضي من خلال تطوير تطبيقات الصيانة التنبؤية، بما يدعم رفع الكفاءة التشغيلية وتحسين أداء شركات الخدمات الأرضية.

5-1 تساؤلات الدراسة

انطلاقاً من مشكلة الدراسة وأهدافها، تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن التساؤل الرئيسي الآتي:

ما أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية؟

ويتفرع عن هذا التساؤل الرئيس التساؤلات الآتية:

1. ما مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية؟
2. ما مستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية؟
3. ما أثر البنية التكنولوجية للصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية؟
4. ما أثر تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية؟
5. ما أثر إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية؟
6. ما أثر الكفاءات البشرية العاملة في مجال الصيانة على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية؟
7. ما أثر الدعم الإداري والتنظيمي لتطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية؟
8. ما أكثر أبعاد تطبيق الصيانة التنبؤية تأثيراً في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية؟

6-1 فروض الدراسة

استنادًا إلى مشكلة الدراسة وتساؤلاتها وأهدافها، وفي ضوء النموذج المفاهيمي للدراسة، فقد تم صياغة الفروض الآتية لاختبار العلاقة بين المتغير المستقل (تطبيق الصيانة التنبؤية) والمتغير التابع (جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران):

الفرضية الرئيسية:

الفرضية العدمية:

لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

الفرضية البديلة:

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

الفروض الفرعية

الفرضية الفرعية الأولى

لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للبنية التكنولوجية للصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للبنية التكنولوجية للصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

الفرضية الفرعية الثانية

لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

الفرضية الفرعية الثالثة

لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لإدارة وتنفيذ عمليات الصيانة على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لإدارة وتنفيذ عمليات الصيانة على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

الفرضية الفرعية الرابعة

لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للكفاءات البشرية في مجال الصيانة على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للكفاءات البشرية في مجال الصيانة على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

الفرضية الفرعية الخامسة

لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للدعم الإداري والتنظيمي لتطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للدعم الإداري والتنظيمي لتطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية.

ملاحظة منهجية مهمة:

اعتمدت هذه الفروض على نموذج انحدار متعدد (Multiple Regression) ، حيث يمثل تطبيق الصيانة التنبؤية المتغير المستقل بأبعاده الخمسة، وتمثل جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران المتغير التابع. وستُختبر هذه الفروض

باستخدام برنامج SPSS من خلال تحليل الانحدار الخطي المتعدد، بعد التحقق من صدق وثبات أداة الدراسة، وهو الأسلوب الإحصائي الأكثر ملاءمة لطبيعة الدراسة وأهدافها.

7-1 النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث

تعتمد هذه الدراسة على نظرية الصيانة المتمركزة حول الاعتمادية - (Reliability-Centered Maintenance Theory - RCM) بوصفها الإطار العلمي الرئيس الذي تستند إليه في تفسير العلاقة بين تطبيق الصيانة التنبؤية وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران. وتُعد هذه النظرية من أبرز النظريات الحديثة في مجال إدارة الصيانة، حيث ظهرت في قطاع الطيران بهدف تطوير برامج صيانة تضمن المحافظة على اعتمادية الأنظمة والمعدات وتحقيق أعلى مستويات السلامة والكفاءة التشغيلية، ثم توسع تطبيقها لاحقاً ليشمل مختلف القطاعات الصناعية والخدمية.

وتقوم النظرية على مبدأ أساسي يتمثل في أن برامج الصيانة يجب أن تُبنى وفق الوظائف التشغيلية للمعدات، وأنماط الأعطال المحتملة، والآثار المترتبة على تلك الأعطال، بدلاً من الاعتماد على الصيانة الدورية التقليدية القائمة على الزمن فقط. وتهدف إلى اختيار أسلوب الصيانة الأكثر كفاءة بما يحقق المحافظة على جاهزية المعدات، وتقليل احتمالية الأعطال المفاجئة، ورفع مستوى الاعتمادية، وإطالة العمر التشغيلي للأصول، مع تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد وتقليل تكاليف الصيانة.

وتنسجم الصيانة التنبؤية مع مبادئ هذه النظرية، إذ تعتمد على المراقبة المستمرة للحالة التشغيلية للمعدات، وجمع البيانات وتحليلها باستخدام أجهزة الاستشعار وتقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي، بما يسمح بالتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها واتخاذ الإجراءات الوقائية المناسبة في الوقت الملائم. ويسهم ذلك في تقليل التوقفات غير المخطط لها، وتحسين تخطيط أعمال الصيانة، وزيادة توافر المعدات ورفع كفاءتها التشغيلية.

وتُعد معدات الدعم الأرضي للطيران من الأصول التشغيلية الحيوية التي تتطلب مستويات مرتفعة من الاعتمادية والجاهزية لضمان استمرارية العمليات الأرضية وسلامة الحركة الجوية، الأمر الذي يجعل مبادئ نظرية الصيانة المتمركزة حول الاعتمادية ملائمة لتفسير العلاقة بين تطبيق الصيانة التنبؤية ومستوى جاهزية هذه المعدات. فكلما ارتفع مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية وفق مبادئ الاعتمادية، زادت قدرة المؤسسة على الحد من الأعطال المفاجئة، وتحسين استثمار الأصول، ورفع مستوى الجاهزية التشغيلية للمعدات.

وبناءً على ذلك، اعتمدت هذه الدراسة نظرية الصيانة المتمركزة حول الاعتمادية إطارًا علميًا لتفسير العلاقة بين متغيراتها، حيث تمثل تطبيقات الصيانة التنبؤية المتغير المستقل، بينما تمثل جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران المتغير التابع، وذلك لاختبار مدى تأثير تطبيق ممارسات الصيانة التنبؤية في تعزيز جاهزية المعدات وتحسين كفاءة أدائها التشغيلي في شركة الخدمات الأرضية.

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

2.1 - مقدمة

يمثل الإطار النظري والدراسات السابقة الركيزة العلمية التي تستند إليها البحوث الأكاديمية، إذ يساهمان في بناء الأساس المعرفي لموضوع الدراسة، وتحديد المفاهيم الرئيسة، وبيان العلاقات بين متغيراتها، إضافة إلى التعرف على الجهود البحثية السابقة التي تناولت الموضوع من جوانب مختلفة. كما يساعدان الباحث في تحديد الفجوة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية إلى معالجتها، واختيار المنهج العلمي المناسب، وبناء النموذج المفاهيمي وصياغة الفروض بما يتوافق مع الأدبيات العلمية الحديثة.

وتتناول هذه الدراسة موضوع أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، وهو من الموضوعات الحديثة التي حظيت باهتمام متزايد نتيجة التطور الكبير في تقنيات إدارة الصيانة والتحول الرقمي في المؤسسات، ولا سيما في القطاعات التي تعتمد بصورة رئيسة على استمرارية تشغيل المعدات وكفاءتها، ومن أبرزها قطاع الطيران. وقد أدى التطور في تقنيات الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وتحليل البيانات الضخمة، وأنظمة مراقبة الحالة التشغيلية، إلى إحداث تحول نوعي في ممارسات الصيانة، حيث انتقلت المؤسسات من الصيانة التقليدية إلى الصيانة الذكية القائمة على التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، بما يساهم في رفع جاهزية المعدات، وتحسين كفاءة الأداء التشغيلي، وتقليل تكاليف الصيانة، وتعزيز استدامة الأصول.

ويهدف هذا الفصل إلى تقديم عرض علمي متكامل للمفاهيم والنظريات المرتبطة بمتغيرات الدراسة، من خلال استعراض الأدبيات العلمية المتعلقة بالصيانة التنبؤية، وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، والعلاقة بينهما، بالإضافة إلى عرض وتحليل الدراسات السابقة العربية والأجنبية ذات الصلة، ومناقشة أبرز نتائجها وأوجه الاتفاق والاختلاف بينها، وصولاً إلى تحديد الفجوة البحثية التي تستند إليها الدراسة الحالية، وإبراز ما تضيفه من إسهام علمي وعملي في مجال إدارة الصيانة وقطاع الخدمات الأرضية للطيران.

وانطلاقاً من ذلك، تم تقسيم هذا الفصل إلى مبحثين رئيسيين؛ يتناول المبحث الأول الإطار النظري للدراسة من خلال استعراض المفاهيم والنظريات والأبعاد المتعلقة بمتغيرات الدراسة، بينما يتناول المبحث الثاني الدراسات السابقة العربية والأجنبية وتحليلها ومناقشتها، وصولاً إلى استخلاص الفجوة البحثية التي تمثل المنطلق العلمي للدراسة الحالية.

2.2-الدراسات السابقة

الدراسة الأولى:

دراسة (Scott, Verhagen, Bieber, & Marzocca (2022) بعنوان:

A Systematic Literature Review of Predictive Maintenance for Defence Fixed-Wing Aircraft Sustainment and Operations.

هدفت الدراسة إلى إجراء مراجعة منهجية للدراسات المتعلقة بالصيانة التنبؤية في مجال الطيران، وتحليل التطورات الحديثة في استخدام تقنيات المراقبة الذكية، وأجهزة الاستشعار، وتحليل البيانات، والذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال وتحسين عمليات صيانة الطائرات. واعتمد الباحثون المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة منهجية للأدبيات العلمية المنشورة في قواعد البيانات العالمية وفق معايير PRISMA.

وأظهرت نتائج الدراسة أن تطبيق الصيانة التنبؤية يسهم بصورة مباشرة في تقليل الأعطال غير المخطط لها، وتحسين الاعتمادية، ورفع جاهزية الطائرات، وخفض تكاليف الصيانة، كما أكدت أن دمج أجهزة الاستشعار مع تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات يمثل التوجه الرئيس لتطوير برامج الصيانة المستقبلية في قطاع الطيران. وأشارت الدراسة كذلك إلى أن نجاح الصيانة التنبؤية يتطلب توافر بنية تقنية متطورة، وبيانات ذات جودة عالية، وكفاءات بشرية قادرة على تحليل البيانات واتخاذ القرارات المناسبة.

واستفاد الباحث من هذه الدراسة في تدعيم الإطار النظري المتعلق بالصيانة التنبؤية، وفي تحديد أبعاد المتغير المستقل للدراسة الحالية، ولا سيما الأبعاد المتعلقة بالبنية التقنية، وتحليل البيانات، واتخاذ قرارات الصيانة، كما دعمت الدراسة اختيار نظرية الصيانة المتمركزة حول الاعتمادية بوصفها الإطار النظري للدراسة الحالية.

توثيق الدراسة وفق APA الإصدار السابع:

Scott, M. J., Verhagen, W. J. C., Bieber, M. T., & Marzocca, P. (2022). *A systematic literature review of predictive maintenance for defence fixed-wing aircraft sustainment and operations*. Sensors, 22(18),

7070. <https://doi.org/10.3390/s22187070>

الدراسة الثانية:

دراسة بحر (2022) بعنوان "تصميم وتنفيذ نظام الصيانة التنبؤية في الوقت الحقيقي للمعدات الصناعية بدون بيانات تاريخية للأعطال"، وهي رسالة ماجستير مقدمة إلى الجامعة الإسلامية بغزة.

هدفت الدراسة إلى تصميم وتطوير نظام ذكي للصيانة التنبؤية للمعدات الصناعية يعمل في الوقت الحقيقي، ويعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للتنبؤ بالأعطال دون الحاجة إلى بيانات تاريخية سابقة للأعطال، بما يساهم في رفع كفاءة عمليات الصيانة وتحسين موثوقية المعدات وتقليل التوقفات غير المخطط لها. واعتمدت الدراسة المنهج التطبيقي من خلال تطوير نموذج عملي يجمع بين أجهزة الاستشعار وتقنيات التعلم الآلي لتحليل البيانات التشغيلية للمعدات بصورة مستمرة.

وأظهرت نتائج الدراسة أن النظام المقترح نجح في اكتشاف مؤشرات الأعطال مبكرًا قبل وقوعها، كما ساهم في تحسين دقة التنبؤ بالحالة التشغيلية للمعدات، وتقليل الأعطال المفاجئة، ورفع كفاءة عمليات الصيانة مقارنة بأساليب الصيانة التقليدية. وأكدت الدراسة أن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع المراقبة اللحظية للمعدات يساهم في زيادة موثوقية المعدات وتحسين استمرارية التشغيل وخفض تكاليف الصيانة.

واستفاد الباحث من هذه الدراسة في بناء الإطار النظري المتعلق بالصيانة التنبؤية، وفهم آليات توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في مراقبة المعدات، كما استفاد منها في تحديد بعض أبعاد المتغير المستقل، ولا سيما البنية التقنية وتحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال.

توثيق الدراسة وفق APA الإصدار السابع:

بحر، محمد عزات. (2022). تصميم وتنفيذ نظام الصيانة التنبؤية في الوقت الحقيقي للمعدات الصناعية بدون بيانات تاريخية للأعطال (رسالة ماجستير غير منشورة). الجامعة الإسلامية، غزة.

الدراسة الثالثة :

دراسة (2022) Scott, Verhagen, Bieber, & Marzocca بعنوان:

A Systematic Literature Review of Predictive Maintenance for Defence Fixed-Wing Aircraft Sustainment and Operations

هدفت الدراسة إلى مراجعة وتحليل الأدبيات العلمية المتعلقة بالصيانة التنبؤية في مجال الطيران العسكري، مع التركيز على التقنيات الحديثة المستخدمة في تشخيص الأعطال والتنبؤ بها، والعوامل المؤثرة في نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية في الطائرات ثابتة الجناح. واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال إجراء مراجعة منهجية للأبحاث المنشورة وفق منهجية PRISMA، حيث قام الباحثون بتحليل عدد كبير من الدراسات العلمية المنشورة في قواعد البيانات العالمية بهدف استخلاص الاتجاهات الحديثة والتحديات المستقبلية في مجال الصيانة التنبؤية للطائرات .

وأظهرت نتائج الدراسة أن الصيانة التنبؤية أصبحت من أكثر الأساليب كفاءة في رفع جاهزية الطائرات وتحسين موثوقية الأنظمة، من خلال الاعتماد على أجهزة الاستشعار، وتقنيات مراقبة الحالة، وتحليل البيانات، والذكاء الاصطناعي، كما بينت أن نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية يعتمد على جودة البيانات، وتكامل الأنظمة الرقمية، ودقة نماذج التنبؤ، إضافة إلى ضرورة توافر بنية تقنية مناسبة لدعم اتخاذ القرار. كما أكدت الدراسة أن الصيانة التنبؤية تسهم في تقليل الأعطال غير المخطط لها، وخفض تكاليف الصيانة، وتحسين كفاءة استخدام الأصول وزيادة الجاهزية التشغيلية للطائرات .

واستفاد الباحث من هذه الدراسة في بناء الإطار النظري المتعلق بالصيانة التنبؤية، وتحديد أهم الأبعاد المؤثرة في تطبيقها، ولا سيما البنية التكنولوجية، وتحليل البيانات، واتخاذ قرارات الصيانة، كما دعمت الدراسة اختيار نظرية الصيانة المتمركزة حول الاعتمادية بوصفها الإطار النظري للدراسة الحالية.

توثيق الدراسة وفق APA الإصدار السابع

Scott, M. J., Verhagen, W. J. C., Bieber, M. T., & Marzocca, P. (2022). *A systematic literature review of predictive maintenance for defence fixed-wing aircraft sustainment and operations*. *Sensors*, 22(18),

7070. <https://doi.org/10.3390/s22187070>

الدراسة الرابعة :

دراسة Ziyad, Tjandra, Zulvah, Sugihartanto, & Arief (2022) بعنوان:

An Optimized and Safety-aware Maintenance Framework: A Case Study on Aircraft Engine

هدفت الدراسة إلى تطوير إطار ذكي لإدارة صيانة محركات الطائرات يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي ونماذج التنبؤ بالأعطال، بما يساعد شركات الطيران على تحقيق التوازن بين متطلبات السلامة وخفض تكاليف الصيانة. واعتمدت الدراسة منهج دراسة الحالة، حيث طُبِّق النموذج المقترح على بيانات تشغيل فعلية لمحركات الطائرات، مع استخدام أساليب التنبؤ بالحالة التشغيلية والمحاكاة لتحسين قرارات الصيانة.

وأظهرت نتائج الدراسة أن تطبيق الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي أدى إلى تحسين دقة قرارات الصيانة، وتقليل تكاليفها، والمحافظة على متطلبات السلامة التشغيلية، كما حقق النموذج المقترح وفراً في تكاليف الصيانة مقارنة بالأساليب التقليدية، دون التأثير في موثوقية المحركات أو جاهزيتها التشغيلية. وأكدت الدراسة أن دمج البيانات التشغيلية مع تقنيات التنبؤ يسهم في رفع كفاءة إدارة الأصول وتحسين استدامة المعدات المستخدمة في قطاع الطيران.

واستفاد الباحث من هذه الدراسة في تدعيم الجانب النظري المتعلق بأثر الصيانة التنبؤية في تحسين كفاءة إدارة الصيانة، كما أفادت في توضيح العلاقة بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي ورفع الجاهزية التشغيلية للمعدات، وهو ما يتوافق مع أهداف الدراسة الحالية.

توثيق الدراسة وفق APA الإصدار السابع

Ziyad, M., Tjandra, K., Zulvah, Sugihartanto, M. F., & Arief, M. (2022). *An optimized and safety-aware maintenance framework: A case study on aircraft engine*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2209.02678>

الدراسة الخامسة :

دراسة (2023) Lee & Mitici بعنوان:

Deep Reinforcement Learning for Predictive Aircraft Maintenance Using Probabilistic Remaining Useful Life Prognostics

هدفت الدراسة إلى تطوير إطار متكامل للصيانة التنبؤية للطائرات يعتمد على دمج نماذج التنبؤ بالعمر التشغيلي المتبقي (Remaining Useful Life - RUL) مع تقنيات التعلم المعزز العميق (Deep Reinforcement Learning)، وذلك بهدف تحسين قرارات الصيانة وخفض تكاليفها مع المحافظة على جاهزية محركات الطائرات. واعتمدت الدراسة المنهج الكمي التطبيقي، حيث استخدم الباحثان بيانات تشغيل فعلية لمحركات الطائرات التوربينية، وتم تطوير نموذج يعتمد على الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) وتقنيات التعلم المعزز لاتخاذ قرارات الصيانة المثلى بناءً على احتمالية العمر التشغيلي المتبقي للمحركات .

وأظهرت نتائج الدراسة أن النموذج المقترح أسهم في خفض إجمالي تكاليف الصيانة بنسبة 29.3% مقارنة بالاعتماد على متوسط العمر التشغيلي المتوقع، كما نجح في الحد من أعمال الصيانة غير المخطط لها بنسبة 95.6%، مع تقليل الهدر في العمر التشغيلي للمحركات إلى الحد الأدنى. وأكدت الدراسة أن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع نماذج التنبؤ بالعمر التشغيلي يمثل أحد أكثر الأساليب فاعلية في رفع جاهزية المعدات وتحسين موثوقيتها، وتعزيز كفاءة التخطيط لعمليات الصيانة في قطاع الطيران .

واستفاد الباحث من هذه الدراسة في تدعيم الإطار النظري المتعلق بالعلاقة بين الصيانة التنبؤية وجاهزية المعدات، كما استفاد منها في تفسير دور تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي في تحسين قرارات الصيانة ورفع الاعتمادية التشغيلية، وهو ما يدعم أبعاد المتغير المستقل في الدراسة الحالية.

توثيق الدراسة وفق APA الإصدار السابع

Lee, J., & Mitici, M. (2023). *Deep reinforcement learning for predictive aircraft maintenance using probabilistic remaining useful life prognostics*. *Reliability Engineering & System Safety*, 230, 108908.

<https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108908>

الدراسة السادسة :

دراسة (Kordestani, Orchard, Khorasani, & Saif (2023) بعنوان:

An Overview of the State of the Art in Aircraft Prognostic and Health Management Strategies

هدفت الدراسة إلى استعراض أحدث التطورات في مجال إدارة صحة الطائرات والتنبؤ بالأعطال (Prognostic and Health Management - PHM)، مع التركيز على التقنيات الحديثة المستخدمة في تشخيص الأعطال، والتنبؤ بالعمر التشغيلي المتبقي، ودعم قرارات الصيانة في أنظمة الطائرات المختلفة. واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة شاملة للأبحاث العلمية المنشورة في مجال إدارة صحة الطائرات، وتحليل الاتجاهات الحديثة والتقنيات المستخدمة في الصيانة التنبؤية .

وأظهرت نتائج الدراسة أن أنظمة إدارة صحة الطائرات تمثل الأساس العلمي للصيانة التنبؤية الحديثة، حيث تعتمد على التكامل بين أجهزة الاستشعار، وتحليل البيانات، وتقنيات الذكاء الاصطناعي، ونماذج التنبؤ بالعمر التشغيلي المتبقي للمكونات، مما يساهم في تحسين الاعتمادية، وتقليل الأعطال المفاجئة، ورفع جاهزية الطائرات، وتعزيز سلامة العمليات التشغيلية. كما أوصت الدراسة بضرورة التوسع في استخدام التحليلات التنبؤية وتقنيات التعلم الآلي داخل برامج الصيانة الحديثة لما لها من أثر مباشر في رفع كفاءة إدارة الأصول وتحسين الأداء التشغيلي .

واستفاد الباحث من هذه الدراسة في بناء الإطار النظري المتعلق بمفهوم الصيانة التنبؤية، وتوضيح العلاقة بين إدارة صحة المعدات وجاهزيتها التشغيلية، كما دعمت الدراسة اختيار المتغيرات والأبعاد التي اعتمدت عليها الدراسة الحالية، ولا سيما الأبعاد المتعلقة بالبنية التقنية، وتحليل البيانات، ورفع الاعتمادية التشغيلية للمعدات.

توثيق الدراسة وفق APA الإصدار السابع

Kordestani, M., Orchard, M. E., Khorasani, K., & Saif, M. (2023). *An overview of the state of the art in aircraft prognostic and health management strategies*. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72, 1–26. <https://doi.org/10.1109/TIM.2023.3236342>

الدراسة السابعة :

دراسة Kwakye, Jennions, & Ezhilarasu (2024) بعنوان:

Platform Health Management for Aircraft Maintenance: A Review

هدفت الدراسة إلى مراجعة وتحليل أحدث الاتجاهات في إدارة صحة الطائرات - (Platform Health Management - PHM)، وبيان دورها في تطوير برامج الصيانة التنبؤية وتحسين كفاءة عمليات صيانة الطائرات. كما سعت الدراسة إلى استعراض التقنيات المستخدمة في تشخيص الأعطال، وتحليل بيانات الأنظمة المختلفة، والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، مع التركيز على التكامل بين أنظمة مراقبة الحالة وأنظمة إدارة الصيانة في قطاع الطيران. واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة شاملة للدراسات العلمية المنشورة في مجال إدارة صحة الطائرات والصيانة التنبؤية، وتحليل التطورات الحديثة والتحديات المرتبطة بتطبيقها في صناعة الطيران .

وأظهرت نتائج الدراسة أن تطبيق أنظمة إدارة صحة الطائرات يسهم بصورة مباشرة في تحسين موثوقية الأنظمة، والكشف المبكر عن الأعطال، وتقليل أعمال الصيانة غير المخطط لها، ورفع جاهزية الطائرات، كما أكدت أن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وتحليل البيانات الضخمة في برامج الصيانة يسهم في تحسين كفاءة اتخاذ القرارات المتعلقة بالصيانة، وزيادة الاعتمادية التشغيلية، وتقليل تكاليف التشغيل على المدى الطويل. كما أوصت الدراسة بضرورة تبني منهج متكامل يجمع بين مراقبة الحالة التشغيلية وإدارة البيانات لدعم تطبيق الصيانة التنبؤية في قطاع الطيران .

واستفاد الباحث من هذه الدراسة في تدعيم الإطار النظري المتعلق بمفهوم إدارة صحة المعدات، وبيان العلاقة بين تطبيقات الصيانة التنبؤية ورفع الجاهزية التشغيلية، كما دعمت الدراسة تفسير العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع في الدراسة الحالية.

توثيق الدراسة وفق) APA الإصدار السابع)

Kwakye, A. D., Jennions, I. K., & Ezhilarasu, C. M. (2024). *Platform health management for aircraft maintenance: A review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of*

Aerospace Engineering, 238(3). <https://doi.org/10.1177/09544100231219736>

الدراسة الثامنة :

دراسة Noori وآخرون (2023) بعنوان:

Prognostic and Health Management of Critical Aircraft Systems and Components: An Overview

هدفت الدراسة إلى تقديم مراجعة علمية شاملة لمفهوم إدارة صحة الأنظمة والمكونات الحرجة للطائرات (Prognostics and Health Management - PHM)، مع توضيح دور تقنيات الصيانة التنبؤية في تعزيز سلامة الطيران ورفع موثوقية الأنظمة المختلفة. كما ركزت الدراسة على استعراض نماذج التنبؤ بالعمر التشغيلي المتبقي للمكونات، وتقنيات التشخيص الذكي، والذكاء الاصطناعي، والنماذج الفيزيائية والإحصائية المستخدمة في التنبؤ بالأعطال. واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة وتحليل الأدبيات العلمية الحديثة المنشورة في مجال إدارة صحة الطائرات والصيانة التنبؤية .

وأظهرت نتائج الدراسة أن تطبيق أنظمة إدارة الصحة والتنبؤ بالأعطال يساهم في تحسين موثوقية مكونات الطائرات، وتقليل احتمالية الأعطال المفاجئة، ورفع جاهزية الأنظمة الحرجة، كما أكدت أن دمج البيانات الآنية مع تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي يساعد في التنبؤ بالعمر التشغيلي المتبقي للمكونات بدقة أعلى، الأمر الذي يدعم التخطيط الفعال لأعمال الصيانة ويخفض تكاليف التشغيل ويعزز السلامة الجوية. وأوصت الدراسة بزيادة الاستثمار في أنظمة مراقبة الحالة والتقنيات الذكية لدعم التحول نحو الصيانة التنبؤية في قطاع الطيران .

واستفاد الباحث من هذه الدراسة في توضيح الأساس العلمي الذي تقوم عليه الصيانة التنبؤية، وتحديد أبرز التقنيات المستخدمة في التنبؤ بالأعطال، كما دعمت الدراسة اختيار أبعاد المتغير المستقل في الدراسة الحالية، ولا سيما الأبعاد المتعلقة بتحليل البيانات، والتنبؤ بالأعطال، والبنية التقنية، وأثرها في رفع جاهزية المعدات.

توثيق الدراسة وفق) APA الإصدار السابع)

Fu, F., Ezhilarasu, C. M., Jennions, I. K., & Aliewi, A., et al. (2023). *Prognostic and health management of critical aircraft systems and components: An overview. Sensors, 23*(20).

<https://doi.org/10.3390/s23208453>

2.3 - الإطار النظري للدراسة

2.3.1 - مفهوم الصيانة:

تُعد الصيانة من الوظائف الأساسية في إدارة العمليات والإنتاج، لما لها من دور محوري في المحافظة على كفاءة الأصول والمعدات وضمان استمرارية تشغيلها بأعلى مستويات الأداء والاعتمادية. ولم يعد مفهوم الصيانة يقتصر على إصلاح الأعطال بعد وقوعها، بل أصبح يشمل مجموعة متكاملة من الأنشطة الفنية والإدارية والتنظيمية التي تهدف إلى المحافظة على المعدات والأصول في حالة تشغيلية مثلى، بما يضمن تحقيق الأهداف التشغيلية للمؤسسة وتقليل التكاليف المرتبطة بالتوقفات والأعطال.

وقد تطور مفهوم الصيانة بصورة ملحوظة نتيجة التطورات الصناعية والتكنولوجية، حيث انتقلت المؤسسات من مفهوم الصيانة التقليدي المعتمد على معالجة الأعطال بعد حدوثها إلى مفهوم الصيانة الاستباقية الذي يركز على منع الأعطال قبل وقوعها من خلال التخطيط المسبق، والمراقبة المستمرة للحالة التشغيلية للمعدات، والاستفادة من البيانات في اتخاذ القرارات المتعلقة بأعمال الصيانة. وأسهم هذا التطور في تحويل الصيانة من وظيفة تشغيلية مساندة إلى وظيفة إستراتيجية ترتبط بإدارة الأصول وتحسين الأداء المؤسسي وتعزيز القدرة التنافسية.

وتُعرف الصيانة بأنها مجموعة الأنشطة الفنية والإدارية التي تُنفذ للمحافظة على المعدات أو إعادتها إلى حالة تمكنها من أداء وظائفها المطلوبة بكفاءة واعتمادية وأمان، وذلك من خلال الفحص، والمراقبة، والإصلاح، والاستبدال، والتحسين المستمر. ويؤكد هذا المفهوم أن الصيانة لا تقتصر على معالجة الأعطال، وإنما تشمل جميع الإجراءات الوقائية والتنبؤية التي تهدف إلى تقليل احتمالية حدوث الأعطال وإطالة العمر التشغيلي للأصول.

وتسهم الصيانة الفعالة في تحقيق العديد من الفوائد للمؤسسات، من أهمها رفع جاهزية المعدات، وتقليل الأعطال المفاجئة، وخفض تكاليف التشغيل والصيانة، وتحسين جودة المنتجات والخدمات، وزيادة مستويات السلامة، وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة. كما تُعد أحد العناصر الرئيسة في دعم استمرارية الأعمال، ولا سيما في القطاعات الحيوية التي تعتمد على التشغيل المستمر، مثل قطاع الطيران، حيث يترتب على تعطل المعدات آثار تشغيلية واقتصادية قد تمتد إلى تأخير الرحلات، وانخفاض جودة الخدمات، وارتفاع التكاليف التشغيلية.

وفي قطاع الطيران بوجه خاص، تكتسب الصيانة أهمية استثنائية نظرًا لارتباطها المباشر بسلامة العمليات الجوية واستمرارية الخدمات الأرضية، إذ تعتمد شركات الخدمات الأرضية على عدد كبير من المعدات التشغيلية التي يجب أن تكون في حالة جاهزية مستمرة لتقديم الخدمات للطائرات بكفاءة ووفق الجداول الزمنية المحددة. ومن ثم فإن تطبيق ممارسات صيانة فعالة يمثل أحد المرتكزات الأساسية لضمان استدامة الأداء التشغيلي ورفع كفاءة استثمار الأصول وتحقيق مستويات مرتفعة من الاعتمادية والجاهزية التشغيلية، وهو ما يمهد للانتقال إلى أساليب الصيانة الحديثة، وفي مقدمتها الصيانة التنبؤية التي تمثل محور الدراسة الحالية.

2.3.2 الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)

تُعد الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) أحد أكثر أساليب الصيانة تطورًا في العصر الحديث، حيث تعتمد على مراقبة الحالة التشغيلية للمعدات بصورة مستمرة وتحليل البيانات الناتجة عنها بهدف التنبؤ بالأعطال المحتملة قبل وقوعها، ومن ثم تنفيذ أعمال الصيانة في الوقت الأمثل. وقد برز هذا النوع من الصيانة نتيجة التطور الكبير في تقنيات الاستشعار، وإنترنت الأشياء (Internet of Things)، والذكاء الاصطناعي، وتحليل البيانات الضخمة، مما أتاح للمؤسسات الانتقال من الصيانة المعتمدة على الجداول الزمنية إلى الصيانة المعتمدة على الحالة الفعلية للمعدات. وتقوم الصيانة التنبؤية على جمع البيانات التشغيلية للمعدات من خلال أجهزة الاستشعار المثبتة عليها، مثل بيانات درجات الحرارة، والاهتزازات، والضغط، ومستويات الضوضاء، واستهلاك الطاقة، ثم تحليل هذه البيانات باستخدام نماذج رياضية وخوارزميات متقدمة للكشف عن أي تغيرات غير طبيعية قد تشير إلى بداية حدوث خلل أو تدهور في أداء المعدات. ويساعد ذلك في تحديد الوقت المناسب لإجراء أعمال الصيانة قبل وصول العطل إلى مرحلة التوقف الكامل للمعدة، الأمر الذي يقلل من الأعطال المفاجئة ويزيد من كفاءة العمليات التشغيلية.

وتختلف الصيانة التنبؤية عن الصيانة الوقائية في أنها لا تعتمد على جداول زمنية ثابتة، وإنما تعتمد على الحالة الفعلية للمعدات، مما يجعل قرارات الصيانة أكثر دقة وكفاءة، ويقلل من تنفيذ أعمال صيانة غير ضرورية، كما يسهم في الاستفادة القصوى من العمر التشغيلي للمكونات المختلفة.

وتسعى المؤسسات الحديثة إلى تطبيق الصيانة التنبؤية لتحقيق مجموعة من الأهداف، من أهمها رفع جاهزية المعدات، وتقليل الأعطال غير المخطط لها، وخفض تكاليف الصيانة، وتحسين موثوقية الأصول، وإطالة عمرها

التشغيلي، وتعزيز السلامة المهنية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية والمالية. كما أصبحت الصيانة التنبؤية إحدى الركائز الأساسية في إدارة الأصول الحديثة، لما توفره من معلومات دقيقة تساعد متخذي القرار في التخطيط لأعمال الصيانة واتخاذ الإجراءات المناسبة في الوقت المناسب.

وفي قطاع الطيران، تزداد أهمية الصيانة التنبؤية بصورة كبيرة نظرًا للحاجة إلى المحافظة على أعلى مستويات الجاهزية والسلامة التشغيلية، إذ تعتمد شركات الخدمات الأرضية على معدات تعمل بصورة مستمرة وتخضع لظروف تشغيلية متنوعة، ويؤدي أي تعطل مفاجئ فيها إلى تأخير العمليات الأرضية وارتفاع التكاليف التشغيلية وانخفاض جودة الخدمات المقدمة لشركات الطيران. لذلك أصبحت الصيانة التنبؤية من أهم الممارسات التي تعتمد عليها المؤسسات المتقدمة لضمان استمرارية التشغيل وتحقيق مستويات مرتفعة من الاعتمادية والكفاءة.

كما أن نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية لا يعتمد على التقنيات المستخدمة فحسب، وإنما يتطلب وجود بنية تحتية رقمية متطورة، وأنظمة معلومات متكاملة، وقواعد بيانات دقيقة، وكوادر بشرية مؤهلة قادرة على تحليل البيانات واتخاذ قرارات الصيانة المناسبة، إضافة إلى دعم الإدارة العليا للاستثمار في التقنيات الحديثة وتبني ثقافة التحسين المستمر.

وقد أثبتت العديد من الدراسات أن تطبيق الصيانة التنبؤية يسهم في تقليل الأعطال المفاجئة، وتحسين كفاءة الصيانة، ورفع جاهزية المعدات، وخفض تكاليف التشغيل، وتحقيق الاستخدام الأمثل للأصول، الأمر الذي جعلها تمثل أحد أهم التوجهات الحديثة في إدارة الصيانة في القطاعات الصناعية والخدمية، ولا سيما في قطاع الطيران الذي يعتمد بصورة كبيرة على استمرارية تشغيل المعدات وكفاءتها.

2.3.3 تقنيات الصيانة التنبؤية

تعتمد الصيانة التنبؤية على مجموعة متكاملة من التقنيات الحديثة التي تهدف إلى مراقبة الحالة التشغيلية للمعدات بصورة مستمرة، وتحليل البيانات الناتجة عنها للكشف المبكر عن مؤشرات الأعطال قبل حدوثها. وقد أدى التطور الكبير في تقنيات الاستشعار والاتصالات والذكاء الاصطناعي إلى زيادة كفاءة هذه التقنيات، وأصبحت جزءًا أساسيًا من أنظمة إدارة الصيانة الحديثة، حيث توفر معلومات دقيقة تساعد في اتخاذ قرارات الصيانة في الوقت المناسب، مما يسهم في رفع جاهزية المعدات وتحسين كفاءة تشغيلها.

ومن أهم تقنيات الصيانة التنبؤية ما يأتي:

أولاً: تقنية تحليل الاهتزازات (Vibration Analysis)

تُعد من أكثر التقنيات استخدامًا في الصيانة التنبؤية، حيث تعتمد على قياس الاهتزازات الصادرة عن المعدات الدوارة مثل المحركات والمضخات والضواغط والمحامل. وتساعد هذه التقنية في اكتشاف الاختلالات الميكانيكية وعدم الاتزان، وتلف المحامل، وعدم محاذاة الأعمدة، والتشققات، قبل أن تتطور إلى أعطال جسيمة، مما يتيح تنفيذ أعمال الصيانة في الوقت المناسب.

ثانياً: التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (Infrared Thermography)

تعتمد هذه التقنية على استخدام كاميرات حرارية لقياس درجات حرارة المعدات والكشف عن الارتفاعات غير الطبيعية في درجة الحرارة، والتي قد تكون مؤشراً على وجود احتكاك زائد، أو أعطال كهربائية، أو ضعف في التوصيلات، أو تلف بعض المكونات. وتتميز هذه التقنية بإمكانية إجراء الفحص دون الحاجة إلى إيقاف المعدات عن العمل.

ثالثاً: تحليل زيوت التشحيم (Oil Analysis)

يهدف تحليل الزيوت إلى تقييم الحالة الداخلية للمعدات من خلال فحص خصائص الزيت والكشف عن وجود جزيئات معدنية أو شوائب أو تغيرات في اللزوجة أو التلوث، حيث تعكس هذه المؤشرات درجة تآكل الأجزاء الداخلية للمعدات، وتساعد في التنبؤ بالأعطال الميكانيكية قبل حدوثها.

رابعاً: الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Testing)

تستخدم هذه التقنية للكشف عن التسربات، والاحتكاكات غير الطبيعية، والتفريغ الكهربائي، والمشكلات التي يصعب اكتشافها بالطرق التقليدية، وذلك من خلال تحليل الموجات الصوتية عالية التردد الصادرة عن المعدات أثناء التشغيل.

خامساً: مراقبة الحالة التشغيلية (Condition Monitoring)

تقوم هذه التقنية على المراقبة المستمرة للمعدات باستخدام أجهزة استشعار تقيس مجموعة من المؤشرات التشغيلية مثل درجة الحرارة، والضغط، والسرعة، ومستوى الاهتزاز، واستهلاك الطاقة، ويتم إرسال هذه البيانات بصورة لحظية إلى أنظمة المراقبة لتحليلها واكتشاف أي انحرافات عن الأداء الطبيعي.

سادساً: إنترنت الأشياء الصناعي (Industrial Internet of Things - IIoT)

يسهم إنترنت الأشياء في ربط المعدات وأجهزة الاستشعار بشبكات الاتصال، بما يسمح بجمع البيانات التشغيلية بصورة مستمرة وإرسالها إلى قواعد البيانات أو المنصات السحابية لتحليلها في الوقت الحقيقي، مما يوفر رؤية شاملة للحالة التشغيلية لجميع المعدات داخل المؤسسة.

سابعاً: الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي (Artificial Intelligence and Machine Learning)

أصبحت تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي من أهم الأدوات المستخدمة في الصيانة التنبؤية، حيث تعتمد على تحليل كميات كبيرة من البيانات التاريخية والآنية، واكتشاف الأنماط غير الطبيعية، وبناء نماذج قادرة على التنبؤ بالأعطال المحتملة وتقدير العمر التشغيلي المتبقي للمعدات (Remaining Useful Life - RUL)، الأمر الذي يساعد في تحسين دقة قرارات الصيانة وتقليل الأعطال المفاجئة.

ثامناً: تحليل البيانات الضخمة (Big Data Analytics)

تُستخدم تقنيات تحليل البيانات الضخمة لمعالجة وتحليل البيانات المتولدة من مختلف المعدات والأنظمة التشغيلية، وربطها بالمعلومات التاريخية وبيانات الصيانة السابقة، بما يساعد في اكتشاف العلاقات الخفية بين المتغيرات، وتحسين دقة التنبؤ بالأعطال، ودعم متخذي القرار في التخطيط للصيانة.

وبصفة عامة، فإن فعالية الصيانة التنبؤية لا تعتمد على استخدام تقنية واحدة، وإنما على التكامل بين هذه التقنيات ضمن نظام متكامل لإدارة الصيانة، بحيث يتم جمع البيانات وتحليلها بصورة مستمرة، وإصدار تنبؤات مبكرة عند اكتشاف أي مؤشرات غير طبيعية، مما يسهم في رفع جاهزية المعدات، وتقليل الأعطال غير المخطط لها،

وتحسين الكفاءة التشغيلية، وهو ما يتوافق مع أهداف الدراسة الحالية في بيان أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران.

2.3.4 متطلبات تطبيق الصيانة التنبؤية

يتطلب تطبيق الصيانة التنبؤية توافر مجموعة من المقومات الفنية والتنظيمية والبشرية التي تضمن نجاحها وتحقيق الأهداف المرجوة منها. فالصيانة التنبؤية ليست مجرد استخدام لأجهزة استشعار أو برامج تحليل بيانات، وإنما هي منظومة متكاملة تعتمد على تكامل التكنولوجيا مع الموارد البشرية والإدارة والبيانات. ويؤدي غياب أحد هذه المتطلبات إلى انخفاض كفاءة النظام وعدم تحقيق النتائج المتوقعة، حتى في حال توافر أحدث التقنيات.

ومن أهم متطلبات تطبيق الصيانة التنبؤية ما يأتي:

أولاً: البنية التحتية التقنية

تُعد البنية التحتية التقنية الأساس الذي تقوم عليه الصيانة التنبؤية، إذ تتطلب توافر أجهزة استشعار ذكية، وأنظمة مراقبة للحالة التشغيلية، وشبكات اتصال موثوقة، بالإضافة إلى أجهزة حاسوب وخوادم قادرة على معالجة البيانات وتخزينها بكفاءة. كما ينبغي أن تكون هذه الأنظمة قادرة على جمع البيانات بصورة مستمرة وإرسالها في الوقت الحقيقي إلى منصات التحليل.

ثانياً: توافر البيانات وجودتها

تعتمد الصيانة التنبؤية بصورة رئيسة على البيانات التشغيلية للمعدات، لذلك يجب أن تكون البيانات دقيقة، ومتكاملة، وحديثة، وخالية من الأخطاء. وتشمل هذه البيانات معلومات التشغيل، وسجلات الأعطال، وأعمال الصيانة السابقة، وبيانات أجهزة الاستشعار، إذ تؤثر جودة البيانات بصورة مباشرة في دقة نماذج التنبؤ وفعالية قرارات الصيانة.

ثالثاً: تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي

يتطلب تطبيق الصيانة التنبؤية استخدام برامج متخصصة لتحليل البيانات، وخوارزميات الذكاء الاصطناعي، وتقنيات التعلم الآلي، التي تعمل على اكتشاف الأنماط غير الطبيعية والتنبؤ بالأعطال المحتملة قبل وقوعها. كما تساعد هذه التقنيات في تقدير العمر التشغيلي المتبقي للمعدات، وتحسين دقة التخطيط لأعمال الصيانة.

رابعاً: الموارد البشرية المؤهلة

يمثل العنصر البشري أحد أهم عوامل نجاح الصيانة التنبؤية، إذ يتطلب تطبيقها وجود مهندسين وفنيين يمتلكون المعرفة الكافية بتقنيات المراقبة وتحليل البيانات، إضافة إلى القدرة على تفسير نتائج التحليلات واتخاذ قرارات الصيانة المناسبة. كما يتطلب الأمر تنفيذ برامج تدريبية مستمرة لمواكبة التطورات التقنية في هذا المجال.

خامساً: دعم الإدارة العليا

يعد دعم الإدارة العليا من المتطلبات الأساسية لتطبيق الصيانة التنبؤية، من خلال توفير الموارد المالية، وتبني خطط التحول الرقمي، وتشجيع الابتكار، ودعم عمليات التطوير المستمر. كما يساهم الدعم الإداري في التغلب على مقاومة التغيير وتعزيز ثقافة الاعتماد على البيانات في اتخاذ القرارات.

سادساً: التكامل بين أنظمة المعلومات

يتطلب نجاح الصيانة التنبؤية وجود تكامل بين أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS)، وأنظمة تخطيط موارد المؤسسة (ERP)، وأنظمة إدارة الأصول (EAM)، بحيث يتم تبادل البيانات بصورة تلقائية، مما يساهم في تحسين كفاءة التخطيط واتخاذ القرار.

سابعاً: التمويل والاستثمار

يستلزم تطبيق الصيانة التنبؤية توفير استثمارات مناسبة لتجهيز البنية التقنية، وشراء أجهزة الاستشعار والبرمجيات، وتطوير شبكات الاتصال، وتدريب العاملين، مع مراعاة تحقيق التوازن بين تكلفة التطبيق والعوائد المتوقعة على المدى الطويل.

ثامناً: التشريعات والسياسات التنظيمية

يتطلب تطبيق الصيانة التنبؤية وجود سياسات وإجراءات تنظيمية واضحة تحدد مسؤوليات العاملين، وآليات جمع البيانات وتحليلها، وإجراءات التعامل مع الأعطال المتوقعة، بما يضمن توحيد ممارسات الصيانة وتحقيق أعلى مستويات الكفاءة والجودة.

ويتضح مما سبق أن نجاح الصيانة التنبؤية يعتمد على تكامل مجموعة من المتطلبات التقنية والتنظيمية والبشرية، وأن تحقيق الفوائد المرجوة منها يستلزم تهيئة البيئة التنظيمية المناسبة، وتوفير الإمكانيات اللازمة، وتعزيز ثقافة التحول الرقمي داخل المؤسسة، وهو ما يساهم في رفع جاهزية المعدات وتحسين كفاءة الأداء التشغيلي.

2.3.5 تحديات تطبيق الصيانة التنبؤية

على الرغم من المزايا الكبيرة التي تحققها الصيانة التنبؤية في تحسين كفاءة العمليات التشغيلية ورفع جاهزية المعدات، إلا أن تطبيقها في المؤسسات يواجه العديد من التحديات التي قد تحد من فاعليتها أو تؤخر الاستفادة الكاملة من إمكاناتها. وتختلف هذه التحديات باختلاف طبيعة المؤسسة ومستوى تطورها التقني، إلا أنها تشترك في مجموعة من الجوانب التقنية والتنظيمية والاقتصادية والبشرية.

ومن أبرز هذه التحديات ما يأتي:

أولاً: ارتفاع تكاليف التطبيق

يُعد ارتفاع تكلفة الاستثمار الأولية أحد أهم التحديات التي تواجه المؤسسات عند تطبيق الصيانة التنبؤية، إذ يتطلب الأمر شراء أجهزة استشعار متطورة، وبرمجيات تحليل بيانات، وبنية تحتية رقمية، إضافة إلى تكاليف التدريب والصيانة المستمرة للأنظمة التقنية.

ثانياً: نقص الكفاءات المتخصصة

يتطلب تطبيق الصيانة التنبؤية كوادر تمتلك خبرات في مجالات الهندسة، وتحليل البيانات، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وهي مهارات قد لا تكون متوافرة بالقدر الكافي في بعض المؤسسات، مما يؤثر في كفاءة تشغيل النظام والاستفادة من مخرجاته.

ثالثاً: ضعف جودة البيانات

تعتمد دقة التنبؤ بالأعطال على جودة البيانات المتوافرة، لذلك فإن البيانات غير الدقيقة أو غير المكتملة أو المتأثرة بأخطاء أجهزة الاستشعار تؤدي إلى نتائج تحليل غير دقيقة، مما ينعكس سلباً على قرارات الصيانة ويقلل من موثوقية النظام.

رابعاً: صعوبة تكامل الأنظمة

تعاني بعض المؤسسات من وجود أنظمة تشغيل وإدارة متعددة تعمل بصورة مستقلة، مما يصعب عملية الربط بينها وتبادل البيانات بصورة آنية، ويحد من كفاءة تطبيق الصيانة التنبؤية.

خامساً: مقاومة التغيير

قد يواجه تطبيق الصيانة التنبؤية مقاومة من بعض العاملين نتيجة الاعتماد على أساليب الصيانة التقليدية، أو الخوف من استخدام التقنيات الحديثة، أو الاعتقاد بأن التحول الرقمي سيؤثر في طبيعة وظائفهم، الأمر الذي يستلزم إدارة فعالة للتغيير ونشر ثقافة الابتكار.

سادساً: الأمن السيبراني

نظراً لاعتماد الصيانة التنبؤية على الشبكات الرقمية والاتصال المستمر بين المعدات والأنظمة، فإنها تصبح أكثر عرضة للهجمات الإلكترونية واختراق البيانات، مما يستوجب تطبيق أنظمة متقدمة للأمن السيبراني لحماية المعلومات وضمان استمرارية العمل.

سابعاً: صعوبة التنبؤ في بعض الحالات

قد تواجه نماذج التنبؤ صعوبة في اكتشاف بعض الأعطال النادرة أو الأعطال الناتجة عن ظروف تشغيل غير اعتيادية، خاصة في حال عدم توافر بيانات تاريخية كافية، مما يؤثر في دقة التنبؤ ويستلزم تطوير النماذج بصورة مستمرة.

ثامناً: التحديث المستمر للتقنيات

يشهد مجال الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات تطوراً سريعاً، الأمر الذي يفرض على المؤسسات تحديث البرمجيات والأجهزة بصورة مستمرة، وتطوير مهارات العاملين لمواكبة التقنيات الحديثة، وهو ما يتطلب استثمارات وجهوداً تنظيمية متواصلة.

وبالرغم من هذه التحديات، تشير الأدبيات العلمية إلى أن الفوائد طويلة الأجل للصيانة التنبؤية تفوق التكاليف والتحديات المرتبطة بتطبيقها، خاصة في المؤسسات التي تعتمد بصورة كبيرة على جاهزية المعدات واستمرارية العمليات التشغيلية، مثل شركات الخدمات الأرضية في قطاع الطيران. فكلما نجحت المؤسسة في توفير المتطلبات اللازمة، ومعالجة التحديات التنظيمية والتقنية، زادت قدرتها على الاستفادة من إمكانات الصيانة التنبؤية في رفع جاهزية المعدات، وتقليل الأعطال المفاجئة، وتحسين الكفاءة التشغيلية، وتحقيق ميزة تنافسية مستدامة.

2.3.6 معدات الدعم الأرضي للطيران (Ground Support Equipment - GSE)

تُعد معدات الدعم الأرضي للطيران (Ground Support Equipment - GSE) من العناصر الأساسية في منظومة النقل الجوي، إذ تؤدي دوراً محورياً في تنفيذ العمليات الأرضية للطائرات داخل المطارات، وتوفير الخدمات اللازمة للطائرات منذ لحظة وصولها إلى ساحة المطار وحتى مغادرتها للإقلاع. وتعتمد شركات الخدمات الأرضية بصورة رئيسة على هذه المعدات لضمان انسيابية العمليات التشغيلية، وتقليل زمن بقاء الطائرات على الأرض، وتحقيق مستويات مرتفعة من السلامة والكفاءة التشغيلية.

وتُعرف معدات الدعم الأرضي بأنها مجموعة من المعدات والآليات والأجهزة التي تُستخدم لتقديم الخدمات الفنية والتشغيلية للطائرات أثناء وجودها على الأرض، وتشمل عمليات جر الطائرات، وتزويدها بالطاقة الكهربائية، وتكييف الهواء، وتحميل وتفريغ الأمتعة والبضائع، وخدمة المسافرين، وتزويد الطائرات بالمياه، وسحب المخلفات، بالإضافة إلى معدات الصيانة الأرضية وغيرها من المعدات المساندة للعمليات الجوية.

وتتميز هذه المعدات بتنوعها واختلاف وظائفها تبعاً لطبيعة الخدمات التي تقدمها، حيث يمكن تصنيفها إلى عدة أنواع رئيسة، من أهمها:

أولاً: معدات مناولة الطائرات

وتشمل الجرارات الخاصة بسحب الطائرات (Aircraft Tow Tractors) ، وقضبان السحب، ومنصات رفع الطائرات، والمعدات المستخدمة في تثبيت الطائرات أثناء عمليات الصيانة والخدمة.

ثانياً: معدات خدمات الطاقة والتكييف

وتتضمن وحدات الطاقة الأرضية (Ground Power Units - GPU) ، ووحدات تكييف الهواء (Air Conditioning Units - ACU) ، ووحدات تشغيل المحركات بالهواء المضغوط (Air Start Units - ASU) ، والتي تزود الطائرات بالطاقة والخدمات اللازمة أثناء توقفها في المطار دون الحاجة إلى تشغيل المحركات الرئيسية.

ثالثاً: معدات مناولة الأمتعة والبضائع

وتشمل سيور نقل الأمتعة، وعربات نقل الحقائب، ورافعات تحميل الحاويات، ومعدات مناولة الشحن الجوي، والتي تسهم في تسريع عمليات تحميل وتفريغ الأمتعة والبضائع مع المحافظة على سلامتها.

رابعاً: معدات خدمة الطائرات

وتتضمن مركبات تزويد المياه الصالحة للشرب، ومركبات تفريغ مياه الصرف الصحي، وعربات التموين، والسلالم المتحركة، والجسور المتحركة، وغيرها من المعدات التي توفر الخدمات التشغيلية للطائرات أثناء وجودها في المطار.

خامساً: معدات الدعم الفني والصيانة

وتشمل المعدات والأجهزة المستخدمة في أعمال الفحص والصيانة والإصلاح، مثل أجهزة الاختبار، ومعدات التشخيص، وورش الصيانة المتنقلة، وأجهزة قياس الأداء الفني للمعدات.

وتتميز معدات الدعم الأرضي بأنها تعمل في بيئات تشغيلية ذات معدلات استخدام مرتفعة، وتتعرض لعوامل بيئية مختلفة مثل درجات الحرارة المرتفعة، والرطوبة، والغبار، والعمل المتواصل على مدار الساعة، مما يزيد من احتمالية تعرضها للأعطال والتآكل مع مرور الوقت. ولذلك فإن المحافظة على جاهزية هذه المعدات تمثل أحد أهم العوامل التي تؤثر في كفاءة العمليات التشغيلية داخل المطارات.

وتزداد أهمية معدات الدعم الأرضي مع النمو المستمر في حركة النقل الجوي وارتفاع عدد الرحلات اليومية، حيث يؤدي أي تعطل مفاجئ في إحدى المعدات إلى تأخير العمليات الأرضية، وإطالة زمن دوران الطائرات (Turnaround)

(Time، وارتفاع التكاليف التشغيلية، وانخفاض مستوى جودة الخدمات المقدمة لشركات الطيران، الأمر الذي ينعكس سلباً على رضا العملاء وكفاءة استغلال الموارد.

وفي ظل التوجه العالمي نحو التحول الرقمي وتطبيق مفاهيم الصناعة الرابعة، بدأت شركات الخدمات الأرضية بالاعتماد على تقنيات الصيانة التنبؤية وأنظمة إدارة الأصول الذكية لضمان المحافظة على جاهزية معدات الدعم الأرضي، والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، وتحسين استغلال الموارد، ورفع كفاءة الأداء التشغيلي، الأمر الذي يجعل هذه المعدات محوراً رئيساً للدراسة الحالية.

2.3.7 مفهوم جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران

تُعد جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران من المؤشرات الإستراتيجية التي تعتمد عليها شركات الخدمات الأرضية في تقييم كفاءة عملياتها التشغيلية، إذ تعكس مدى قدرة المعدات على أداء وظائفها المطلوبة بكفاءة وموثوقية عند الحاجة إليها، دون التعرض لتوقفات أو أعطال تؤثر في سير العمليات داخل المطار. وترتبط الجاهزية ارتباطاً مباشراً بمستوى الاعتمادية، وجودة برامج الصيانة، وكفاءة إدارة الأصول، وسرعة الاستجابة للأعطال، الأمر الذي يجعلها أحد أهم مؤشرات الأداء في قطاع الطيران.

ويقصد بجاهزية معدات الدعم الأرضي مدى توافر المعدات في الحالة التشغيلية المناسبة لأداء المهام المطلوبة في الوقت المحدد، وبالمستوى المطلوب من الكفاءة والسلامة والاعتمادية، بما يضمن استمرارية تقديم الخدمات الأرضية للطائرات دون تأخير أو انقطاع. ولا يقتصر مفهوم الجاهزية على وجود المعدات فحسب، وإنما يشمل كفاءتها الفنية، وقدرتها على العمل وفق المواصفات التشغيلية، وسرعة استعادتها للخدمة بعد تنفيذ أعمال الصيانة أو الإصلاح.

وتتأثر جاهزية معدات الدعم الأرضي بعدد من العوامل، من أبرزها جودة برامج الصيانة، وتوافر قطع الغيار، وكفاءة الكوادر الفنية، ومستوى التخطيط لأعمال الصيانة، ودقة أنظمة مراقبة الحالة التشغيلية، إضافة إلى عمر المعدات، وكثافة استخدامها، والظروف البيئية التي تعمل فيها. كما تؤثر كفاءة نظم إدارة الصيانة واستخدام التقنيات الحديثة، مثل الصيانة التنبؤية، بصورة مباشرة في رفع مستوى الجاهزية وتقليل الأعطال المفاجئة.

وتكتسب جاهزية معدات الدعم الأرضي أهمية كبيرة في قطاع الطيران، نظراً لارتباطها المباشر بكفاءة العمليات الأرضية وسلامة الحركة الجوية. فكلما ارتفعت جاهزية المعدات، ازدادت قدرة شركات الخدمات الأرضية على تقديم

خدماتها في الوقت المحدد، وتقليل زمن دوران الطائرات، وتحسين استغلال الموارد، والحد من التأخيرات التشغيلية، ورفع مستوى رضا شركات الطيران والمسافرين. وعلى العكس من ذلك، فإن انخفاض جاهزية المعدات يؤدي إلى زيادة الأعطال غير المخطط لها، وتأخير الرحلات، وارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة، وانخفاض الإنتاجية.

ومن منظور إدارة العمليات، تُعد جاهزية المعدات أحد أهم مؤشرات الأداء الرئيسة (Key Performance Indicators - KPIs)، إذ تستخدمها المؤسسات لتقييم فعالية أنظمة الصيانة وكفاءة استثمار الأصول. ويُقاس مستوى الجاهزية عادةً من خلال مجموعة من المؤشرات التشغيلية، مثل نسبة التوافر التشغيلي، ومعدل الأعطال، ومتوسط الزمن بين الأعطال (Mean Time Between Failures - MTBF)، ومتوسط زمن الإصلاح (Mean Time to Repair - MTTR)، ونسبة الاستفادة من المعدات، وهي مؤشرات تعكس قدرة المؤسسة على الحفاظ على معداتها في حالة تشغيلية مستقرة.

وفي إطار الدراسة الحالية، تُعرف جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران بأنها: قدرة معدات الدعم الأرضي في شركة الخدمات الأرضية على التوافر والتشغيل بكفاءة واعتمادية وسلامة عند الحاجة إليها، بما يضمن استمرارية تقديم الخدمات الأرضية للطائرات، وتقليل الأعطال والتوقفات غير المخطط لها، وتحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية من خلال تطبيق ممارسات الصيانة التنبؤية.

ويُعد هذا المفهوم المتغير التابع في الدراسة الحالية، حيث سيتم قياسه من خلال مجموعة من المؤشرات التي تعكس مستوى الجاهزية التشغيلية للمعدات، بهدف اختبار أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في تحسين جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران داخل شركة الخدمات الأرضية.

2.3.8 مؤشرات قياس جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران

تُقاس جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران من خلال مجموعة من المؤشرات الكمية والنوعية التي تعكس قدرة المعدات على أداء وظائفها التشغيلية بكفاءة واعتمادية عند الحاجة إليها. وتُستخدم هذه المؤشرات في تقييم فعالية برامج الصيانة، وقياس كفاءة إدارة الأصول، وتحديد نقاط القوة والضعف في أداء المعدات، كما تمثل أساسًا لاتخاذ القرارات المتعلقة بتطوير برامج الصيانة وتحسين استغلال الموارد التشغيلية.

وتتعدد مؤشرات قياس الجاهزية تبعاً لطبيعة المؤسسة ونظام إدارة الصيانة المطبق، إلا أن الأدبيات العلمية تشير إلى مجموعة من المؤشرات الرئيسة التي تُعد الأكثر استخداماً في قطاع الطيران والخدمات الأرضية، ويمكن عرضها على النحو الآتي:

أولاً: التوافر التشغيلي (Operational Availability)

يُعد التوافر التشغيلي من أهم مؤشرات الجاهزية، ويعبر عن نسبة الوقت الذي تكون فيه المعدات متاحة وقادرة على أداء وظائفها مقارنة بإجمالي الوقت التشغيلي. ويعكس هذا المؤشر كفاءة برامج الصيانة وسرعة إعادة المعدات إلى الخدمة بعد الأعطال، حيث يؤدي ارتفاع التوافر التشغيلي إلى زيادة كفاءة العمليات الأرضية وتقليل احتمالية تأخير الرحلات الجوية.

ثانياً: الاعتمادية (Reliability)

يقصد بالاعتمادية قدرة المعدات على أداء وظائفها المطلوبة بصورة صحيحة خلال فترة زمنية محددة دون حدوث أعطال تؤثر في كفاءتها التشغيلية. ويُعد هذا المؤشر من أهم المؤشرات المستخدمة في تقييم أداء المعدات، إذ يعكس جودة التصميم، وكفاءة الصيانة، ومستوى المحافظة على المعدات، كما يرتبط ارتباطاً مباشراً بمعدل الأعطال ومتوسط الزمن بين الأعطال.

ثالثاً: متوسط الزمن بين الأعطال (Mean Time Between Failures - MTBF)

يمثل متوسط الزمن بين الأعطال متوسط الفترة الزمنية التي تعمل خلالها المعدات بصورة طبيعية قبل حدوث عطل جديد، ويستخدم هذا المؤشر في تقييم موثوقية المعدات وكفاءة برامج الصيانة. وكلما ارتفعت قيمة هذا المؤشر دلّ ذلك على انخفاض معدل الأعطال وتحسن الحالة التشغيلية للمعدات.

رابعاً: متوسط زمن الإصلاح (Mean Time to Repair - MTTR)

يعبر هذا المؤشر عن متوسط الزمن اللازم لإعادة المعدة إلى حالتها التشغيلية بعد حدوث العطل، ويُستخدم في قياس سرعة استجابة فرق الصيانة وكفاءة إجراءات الإصلاح. ويُعد انخفاض هذا المؤشر دليلاً على كفاءة عمليات الصيانة وسرعة استعادة المعدات لجاهزيتها التشغيلية.

خامساً: معدل الأعطال غير المخطط لها

يقيس هذا المؤشر عدد الأعطال المفاجئة التي تتعرض لها المعدات خلال فترة زمنية محددة، ويُعد من أهم المؤشرات المستخدمة في تقييم فعالية برامج الصيانة التنبؤية. فكلما انخفض معدل الأعطال غير المخطط لها ارتفعت جاهزية المعدات وتحسنت استمرارية العمليات التشغيلية.

سادساً: سرعة إعادة المعدات إلى الخدمة

يقصد بها قدرة فرق الصيانة على إعادة المعدات إلى حالتها التشغيلية خلال أقصر فترة ممكنة بعد اكتشاف العطل أو تنفيذ أعمال الصيانة المجدولة، الأمر الذي يسهم في تقليل فترات التوقف وتحسين كفاءة استخدام المعدات.

سابعاً: استمرارية التشغيل

يعبر هذا المؤشر عن قدرة المعدات على أداء وظائفها التشغيلية بصورة متواصلة دون توقفات تؤثر في سير العمليات الأرضية، ويُعد من المؤشرات الرئيسة في تقييم جاهزية المعدات المستخدمة في قطاع الطيران، حيث تتطلب العمليات الأرضية مستويات مرتفعة من الاستمرارية والاعتمادية.

وتعتمد شركات الخدمات الأرضية على هذه المؤشرات بصورة دورية لتقييم كفاءة برامج الصيانة، وتحسين إدارة الأصول، واتخاذ القرارات المتعلقة بإحلال المعدات أو تطويرها أو تحديث برامج الصيانة المطبقة عليها. كما تمثل هذه المؤشرات الأساس العلمي لقياس المتغير التابع في الدراسة الحالية، والمتمثل في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، وذلك بهدف تحديد أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في تحسين مستويات الجاهزية التشغيلية للمعدات.

2.3.9 العلاقة بين الصيانة التنبؤية وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران

تمثل الصيانة التنبؤية أحد أهم الأساليب الحديثة في إدارة الصيانة، حيث تعتمد على التنبؤ بالأعطال المحتملة قبل وقوعها من خلال تحليل البيانات التشغيلية للمعدات، الأمر الذي يسهم في تنفيذ أعمال الصيانة في الوقت الأمثل، وتقليل احتمالية الأعطال المفاجئة، ورفع كفاءة الأداء التشغيلي. وفي المقابل، تُعد جاهزية معدات الدعم الأرضي أحد أهم مؤشرات نجاح العمليات التشغيلية في قطاع الطيران، لما لها من تأثير مباشر في استمرارية الخدمات الأرضية، وتقليل زمن دوران الطائرات، والمحافظة على جودة الخدمات المقدمة لشركات الطيران.

وترتبط الصيانة التنبؤية بعلاقة وثيقة مع جاهزية معدات الدعم الأرضي، إذ تسهم في تحسين مستوى الجاهزية من خلال المراقبة المستمرة للحالة التشغيلية للمعدات، والكشف المبكر عن مؤشرات التآكل أو الأعطال المحتملة، بما يسمح بتنفيذ أعمال الصيانة قبل حدوث الأعطال الفعلية. ويؤدي ذلك إلى تقليل التوقفات غير المخطط لها، وزيادة التوافر التشغيلي للمعدات، وتحسين الاعتمادية، وإطالة العمر التشغيلي للأصول.

كما تساعد الصيانة التنبؤية إدارات الصيانة على التخطيط المسبق للموارد البشرية وقطع الغيار وجدولة أعمال الصيانة في الأوقات التي لا تؤثر في سير العمليات التشغيلية، الأمر الذي يقلل من تعطل المعدات أثناء فترات الذروة، ويزيد من كفاءة استغلالها، ويحد من الخسائر الناتجة عن توقفها المفاجئ.

ومن جانب آخر، تسهم تقنيات الصيانة التنبؤية، مثل إنترنت الأشياء، وأجهزة الاستشعار الذكية، وتحليل البيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي، في توفير معلومات دقيقة حول الحالة التشغيلية للمعدات بصورة آنية، مما يدعم متخذي القرار في اتخاذ الإجراءات المناسبة قبل تطور الأعطال، ويعزز سرعة الاستجابة للمشكلات الفنية، ويرفع مستوى الاعتمادية التشغيلية للمعدات.

وتشير الأدبيات الحديثة إلى أن المؤسسات التي تطبق الصيانة التنبؤية تحقق معدلات أعلى في التوافر التشغيلي، وانخفاضاً في معدلات الأعطال، وتحسناً في مؤشرات متوسط الزمن بين الأعطال، وانخفاضاً في متوسط زمن الإصلاح، مقارنة بالمؤسسات التي تعتمد على الصيانة التقليدية أو الصيانة الوقائية فقط. وينعكس ذلك بصورة مباشرة على رفع جاهزية المعدات وتحسين كفاءة العمليات التشغيلية وتقليل تكاليف الصيانة على المدى الطويل.

وفي قطاع الخدمات الأرضية للطيران، تكتسب هذه العلاقة أهمية خاصة، إذ تعتمد كفاءة العمليات الأرضية بصورة كبيرة على جاهزية معدات الدعم الأرضي في جميع الأوقات. ويؤدي أي تعطل مفاجئ في هذه المعدات إلى تأخير عمليات خدمة الطائرات، وإطالة زمن دورانها، وارتفاع التكاليف التشغيلية، وربما التأثير في رضا شركات الطيران والمسافرين. ومن هنا، فإن تطبيق الصيانة التنبؤية يمثل وسيلة فعالة لضمان المحافظة على جاهزية المعدات وتحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية.

وانطلاقاً من ذلك، تفترض الدراسة الحالية وجود علاقة تأثير إيجابية بين تطبيق الصيانة التنبؤية وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، حيث يُتوقع أن يؤدي ارتفاع مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية بأبعادها المختلفة، والمتمثلة في

البنية التكنولوجية، وتحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال، وإدارة وتنفيذ عمليات الصيانة، والكفاءات البشرية، والدعم الإداري والتنظيمي، إلى تحسين مستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي، من خلال زيادة التوافر التشغيلي، ورفع الاعتمادية، وتقليل الأعطال غير المخطط لها، وسرعة إعادة المعدات إلى الخدمة، وتحقيق استمرارية التشغيل. وبناءً على ذلك، تُعد العلاقة بين الصيانة التنبؤية وجاهزية معدات الدعم الأرضي الأساس العلمي الذي تستند إليه الدراسة الحالية في بناء نموذجها المفاهيمي، وصياغة فرضياتها، واختبار أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في رفع جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران داخل شركة الخدمات الأرضية.

الفصل الثالث

منهجية الدراسة

مقدمة.

يهدف هذا الفصل إلى توضيح المنهجية العلمية التي اعتمدها الباحث في تنفيذ الدراسة، والتي تمثل الأساس الذي تستند إليه جميع مراحل البحث، بدءًا من اختيار المنهج العلمي المناسب، وانتهاءً بتحليل البيانات واستخلاص النتائج. وتُعد المنهجية العلمية عنصرًا رئيسًا في البحوث الأكاديمية، إذ تسهم في ضمان دقة الإجراءات المتبعة، وموضوعية النتائج، وإمكانية التحقق منها وإعادة تطبيقها في دراسات مستقبلية.

وانطلاقًا من طبيعة الدراسة الحالية التي تبحث في أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، فقد استند الباحث إلى منهج علمي يتناسب مع أهداف الدراسة وتساؤلاتها وفرضياتها، بما يتيح وصف الظاهرة محل الدراسة وتحليلها، واختبار العلاقة بين متغيراتها، وصولًا إلى نتائج علمية يمكن الاعتماد عليها في تفسير الواقع وتقديم التوصيات المناسبة.

ويتناول هذا الفصل وصفًا لمنهج الدراسة، ومجتمعها، وعينتها، وأداة جمع البيانات، وإجراءات إعداد الاستبانة، وأساليب التحقق من صدقها وثباتها، إضافة إلى توضيح متغيرات الدراسة ونموذجها المفاهيمي، والأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات واختبار الفرضيات، بما يضمن تحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها وفق أسس علمية ومنهجية دقيقة.

1-3-1 منهجية وطرق البحث

اعتمدت الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive Analytical Method)، لكونه المنهج الأكثر ملاءمة لطبيعة الدراسة وأهدافها، إذ يهدف إلى وصف الظاهرة محل الدراسة وصفًا علميًا دقيقًا، وتحليلها، والكشف عن طبيعة العلاقات بين متغيراتها، وصولًا إلى تفسير النتائج واستخلاص الاستنتاجات التي تسهم في دعم عملية اتخاذ القرار.

ويُعد المنهج الوصفي التحليلي من أكثر المناهج استخدامًا في البحوث الإدارية، نظرًا لقدرته على دراسة الظواهر كما هي في الواقع، وجمع البيانات المتعلقة بها، وتنظيمها وتحليلها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، بهدف التعرف إلى خصائصها والعوامل المؤثرة فيها، دون تدخل الباحث في المتغيرات محل الدراسة.

واعتمد في الجانب النظري على المنهج الوصفي من خلال مراجعة الأدبيات العلمية العربية والأجنبية، والكتب، والدوريات المحكمة، والرسائل الجامعية، والدراسات السابقة ذات العلاقة بالصيانة التنبؤية، وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، بهدف بناء الإطار النظري للدراسة، وصياغة الفرضيات، وتحديد النموذج المفاهيمي.

أما في الجانب التطبيقي، فقد اعتمد على المنهج التحليلي من خلال تصميم استبانة استنادًا إلى الأدبيات العلمية والدراسات السابقة، وتوزيعها على أفراد عينة الدراسة من مهندسي الصيانة، وفنيي الصيانة، ومشرفي الصيانة في شركة الخدمات الأرضية، بهدف جمع البيانات الأولية المتعلقة بمتغيرات الدراسة.

وبعد جمع البيانات، تم إدخالها وتحليلها باستخدام الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (Statistical Package for the Social Sciences - SPSS)، حيث استخدمت مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية، شملت التكرارات، والنسب المئوية، والمتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية، ومعامل ألفا كرونباخ للتحقق من ثبات أداة الدراسة، واختبارات الصدق، وتحليل الانحدار الخطي المتعدد، ومعامل ارتباط بيرسون، وذلك لاختبار فرضيات الدراسة، وقياس أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران.

وتتوافق هذه المنهجية مع طبيعة الدراسة الحالية، التي تسعى إلى قياس أثر متغير مستقل يتمثل في تطبيق الصيانة التنبؤية بأبعاده المختلفة، على متغير تابع يتمثل في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، بما يتيح الوصول إلى نتائج علمية دقيقة يمكن الاستفادة منها في تطوير ممارسات إدارة الصيانة وتحسين كفاءة العمليات التشغيلية في شركات الخدمات الأرضية.

2-3 مجتمع الدراسة

يمثل مجتمع الدراسة جميع الأفراد الذين تنطبق عليهم خصائص الدراسة، ويُعد المصدر الرئيس للبيانات الأولية التي يعتمد عليها الباحث في اختبار فرضيات الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها. ويُحدد مجتمع الدراسة وفقًا لطبيعة مشكلة البحث وأهدافه، بما يضمن الحصول على بيانات دقيقة تعكس واقع الظاهرة محل الدراسة.

ويتكون مجتمع الدراسة الحالية من جميع مهندسي الصيانة، وفنيي الصيانة، ومشرفي الصيانة العاملين في شركة الخدمات الأرضية، باعتبارهم الفئة الأكثر ارتباطًا بتطبيق برامج الصيانة، والأكثر معرفة بالحالة التشغيلية لمعدات

الدعم الأرضي، كما أنهم يمثلون المصدر الأكثر موثوقية لتقييم مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية، ومدى تأثيرها في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران.

وقد اختير هذا المجتمع لكونه يمتلك الخبرة الفنية والعملية اللازمة للإجابة عن فقرات الاستبانة، فضلاً عن مشاركته المباشرة في تخطيط وتنفيذ ومتابعة أعمال الصيانة، مما يتيح الحصول على بيانات دقيقة وموضوعية تساعد في تحقيق أهداف الدراسة واختبار فرضياتها.

وسيقوم الباحث باختيار عينة ممثلة من مجتمع الدراسة وفق الأسلوب الإحصائي المناسب، بما يضمن تمثيل مختلف الفئات الوظيفية داخل إدارة الصيانة، ووسهم في إمكانية تعميم نتائج الدراسة على مجتمعها الأصلي.

3-3 حدود الدراسة

تحدد حدود الدراسة الإطار الذي أجريت في نطاقه، وذلك من حيث الموضوع، والمكان، والزمن، والفئة المستهدفة، بما يسهم في توضيح نطاق النتائج وإمكانية تعميمها. وقد اقتصرَت الدراسة الحالية على الحدود الآتية:

أولاً: الحدود الموضوعية

اقتصرت الدراسة على بحث أثر تطبيق الصيانة التنبؤية بأبعادها المختلفة، والمتمثلة في البنية التكنولوجية، وتحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال، وإدارة وتنفيذ عمليات الصيانة، والكفاءات البشرية، والدعم الإداري والتنظيمي، في جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، دون التطرق إلى أنواع الصيانة الأخرى إلا بالقدر الذي يخدم الإطار النظري للدراسة.

ثانياً: الحدود المكانية

أُجريت الدراسة في شركة الخدمات الأرضية، باعتبارها الجهة المسؤولة عن تقديم خدمات المناولة الأرضية للطائرات، وتشغيل وصيانة معدات الدعم الأرضي المستخدمة في المطارات.

ثالثاً: الحدود البشرية

اقتصرت الدراسة على مهندسي الصيانة، وفنيي الصيانة، ومشرفي الصيانة العاملين في شركة الخدمات الأرضية، لكونهم الفئة الأكثر ارتباطاً بتطبيق برامج الصيانة وإدارة معدات الدعم الأرضي، والأكثر قدرة على تقييم مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية وأثرها في جاهزية المعدات.

رابعاً: الحدود الزمنية

أُجريت الدراسة خلال عام 2026م، وهو العام الذي جُمعت فيه البيانات الميدانية من أفراد عينة الدراسة، وأنجزت خلاله إجراءات التحليل الإحصائي واختبار فرضيات الدراسة.

الفصل الرابع

النتائج والتوصيات

مقدمة:

يتناول هذا الفصل عرض نتائج الدراسة الميدانية وتحليلها ومناقشتها في ضوء أهداف الدراسة وتساؤلاتها وفرضياتها، وذلك اعتمادًا على البيانات التي تم جمعها بواسطة الاستبانة من أفراد عينة الدراسة المتمثلة في مهندسي الصيانة، وفنيي الصيانة، ومشرفي الصيانة العاملين في شركة الخدمات الأرضية.

وقد هدفت الدراسة الميدانية إلى قياس مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية، والتعرف إلى مستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، إضافة إلى اختبار أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في جاهزية معدات الدعم الأرضي من خلال استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية المناسبة.

ولتحقيق ذلك، قام الباحث بمراجعة جميع الاستبانات المستردة والتأكد من اكتمال بياناتها وصلاحياتها للتحليل، ثم جرى ترميز البيانات وإدخالها إلى برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، واستخدام عدد من الأساليب الإحصائية التي تضمنت التكرارات، والنسب المئوية، والمتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية، ومعامل ألفا كرونباخ لقياس الثبات، ومعامل ارتباط بيرسون، وتحليل الانحدار الخطي، إضافة إلى اختبارات الفروق الإحصائية، وذلك للإجابة عن تساؤلات الدراسة واختبار فرضياتها.

وقد قسم هذا الفصل إلى مجموعة من المحاور، تبدأ بوصف الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة، ثم التحقق من صدق وثبات أداة الدراسة، يلي ذلك تحليل استجابات أفراد العينة تجاه متغيرات الدراسة، ثم اختبار فرضيات الدراسة، وأخيرًا مناقشة النتائج في ضوء الأدبيات والدراسات السابقة.

1-4- تحليل البيانات

بعد الانتهاء من توزيع الاستبانات على أفراد مجتمع الدراسة، بلغ عدد الاستبانات الموزعة (90) استبانة، وقد استعيدت جميعها، وبعد مراجعتها والتأكد من اكتمال بياناتها تبين أن جميع الاستبانات صالحة للتحليل الإحصائي، وبذلك بلغت نسبة الاستجابة (100%)، وهي نسبة مرتفعة تعزز من موثوقية النتائج وإمكانية الاعتماد عليها في تحقيق أهداف الدراسة.

وقد جرى إدخال البيانات إلى برنامج SPSS الإصدار (29) ، حيث تم إجراء عمليات المراجعة والتدقيق للتأكد من سلامة إدخال البيانات وخلوها من الأخطاء، ثم أجريت التحليلات الإحصائية اللازمة باستخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية المناسبة لطبيعة الدراسة.

واعتمد الباحث في تحليل البيانات على نوعين من التحليل الإحصائي، هما الإحصاء الوصفي والإحصاء الاستدلالي، وذلك على النحو الآتي:

أولاً: الإحصاء الوصفي

استخدم الإحصاء الوصفي بهدف وصف خصائص أفراد عينة الدراسة وتحليل استجاباتهم تجاه فقرات الاستبانة، وذلك باستخدام:

التكرارات. (Frequencies)

النسب المئوية. (Percentages)

المتوسطات الحسابية. (Means)

الانحرافات المعيارية. (Standard Deviations)

ترتيب المتوسطات الحسابية .

وقد ساعدت هذه الأساليب في تحديد مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية، ومستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، وتحديد درجة موافقة أفراد العينة على فقرات الاستبانة.

ثانياً: الإحصاء الاستدلالي

اعتمد الباحث على عدد من الاختبارات الإحصائية لاختبار فرضيات الدراسة، تمثلت فيما يأتي:

- معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) للتحقق من ثبات أداة الدراسة .
- معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) لقياس قوة العلاقة بين المتغيرات .
- تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لقياس أثر المتغير المستقل في المتغير التابع .

- تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression) لقياس أثر أبعاد الصيانة التنبؤية في جاهزية معدات الدعم الأرضي .
 - اختبار (Independent Samples T-Test) لدراسة الفروق بين متوسطات استجابات أفراد العينة وفق المتغيرات الثنائية .
 - تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) لدراسة الفروق وفق المتغيرات التي تضم أكثر من فئة .
- كما اعتمد الباحث مستوى الدلالة الإحصائية ($\alpha \leq 0.05$) معياراً لقبول أو رفض الفرضيات الإحصائية، وهو المستوى الأكثر استخداماً في الدراسات الإدارية.

4-2 الوصف الإحصائي للخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة

قبل البدء بتحليل متغيرات الدراسة، قام الباحث بتحليل الخصائص الديموغرافية لأفراد العينة بهدف التعرف إلى توزيع المشاركين وفق المتغيرات الشخصية والوظيفية، لما لذلك من أهمية في وصف مجتمع الدراسة وإبراز مدى تمثيل العينة للفئات المستهدفة.

وشملت الخصائص الديموغرافية المتغيرات الآتية:

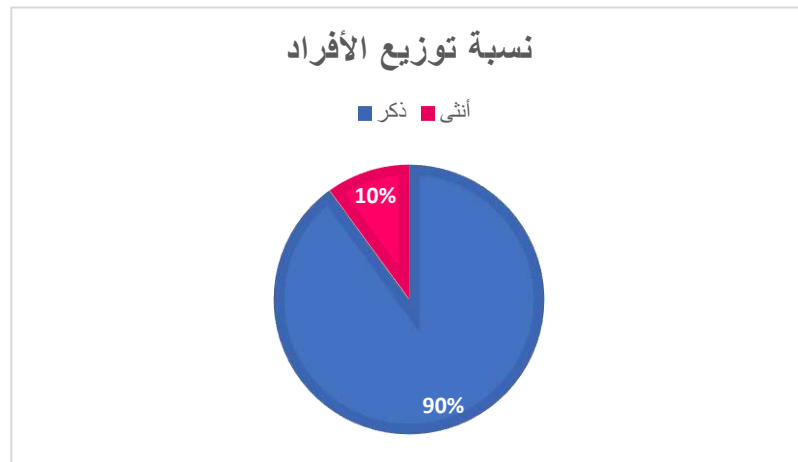
- الجنس .
- العمر .
- المؤهل العلمي .
- المسمى الوظيفي .
- سنوات الخبرة .

وسيتم عرض نتائج كل متغير على حدة من خلال الجداول والأشكال البيانية الآتية.

4-2-1 توزيع أفراد العينة حسب الجنس

جدول (4-1) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب الجنس

الجنس	التكرار	النسبة المئوية
ذكر	81	90.0%
أنثى	9	10.0%
المجموع	90	100%



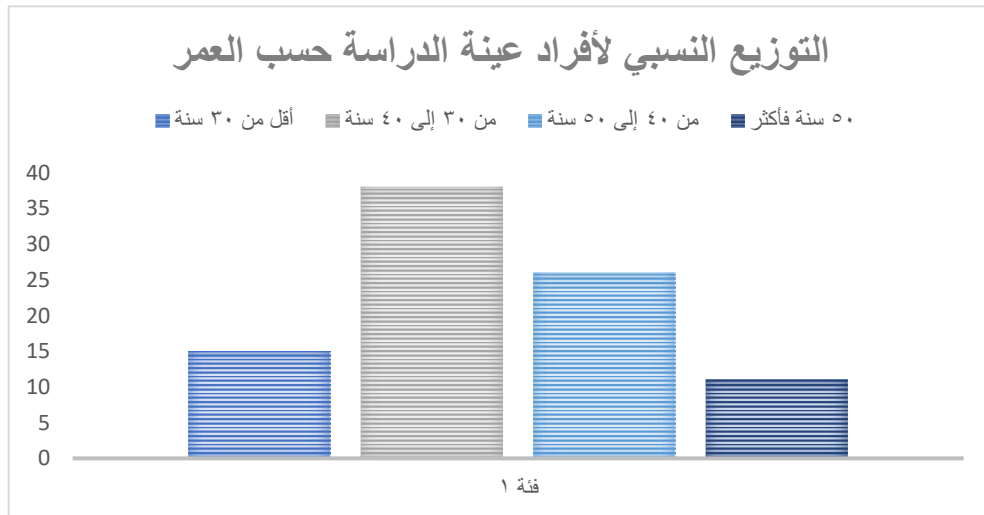
الشكل (4-1)

يتضح من بيانات جدول (4-1) أن غالبية أفراد عينة الدراسة من الذكور، حيث بلغ عددهم (81) مشاركاً بنسبة (90%)، في حين بلغ عدد الإناث (9) مشاركات بنسبة (10%). ويُعزى ذلك إلى طبيعة الأعمال الفنية والهندسية المرتبطة بصيانة معدات الدعم الأرضي، والتي يغلب عليها العنصر الذكوري في معظم شركات الخدمات الأرضية.

4-2-2 توزيع أفراد عينة الدراسة حسب العمر

جدول (2-4): توزيع أفراد عينة الدراسة حسب العمر

الفئة العمرية	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 30 سنة	15	16.7%
من 30 إلى أقل من 40 سنة	38	42.2%
من 40 إلى أقل من 50 سنة	26	28.9%
50 سنة فأكثر	11	12.2%
المجموع	90	100%



الشكل: (2-4)

تفسير النتائج:

يتضح من بيانات جدول (2-4) أن الفئة العمرية من 30 إلى أقل من 40 سنة جاءت في المرتبة الأولى، حيث بلغ عدد أفرادها (38) مشاركا بنسبة (42.2%) من إجمالي أفراد العينة، تلتها الفئة العمرية من 40 إلى أقل من 50 سنة بعدد (26) مشاركا بنسبة (28.9%). أما الفئة العمرية الأقل من (30) سنة فقد بلغ عدد أفرادها (15) مشاركا بنسبة (16.7%). في حين جاءت الفئة العمرية 50 سنة فأكثر في المرتبة الأخيرة بعدد (11) مشاركا بنسبة (12.2%).

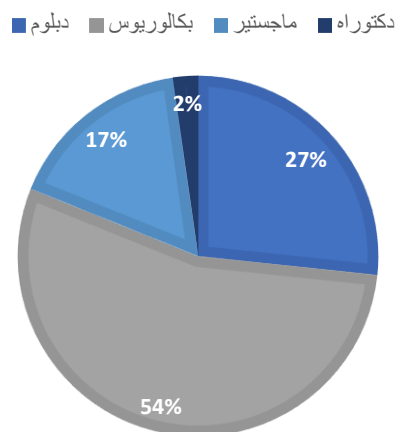
وتشير هذه النتائج إلى أن غالبية أفراد العينة ينتمون إلى الفئات العمرية ذات الخبرة المهنية المتوسطة والعالية، وهو ما يعزز موثوقية البيانات المستخلصة من الدراسة، نظرًا لأن هذه الفئات تمتلك خبرات عملية كافية في مجال صيانة معدات الدعم الأرضي، كما أنها أكثر احتكاكًا بتطبيقات الصيانة التنبؤية وإجراءات الصيانة اليومية داخل الشركة، الأمر الذي يزيد من دقة تقييمها لمتغيرات الدراسة.

3-2-4 توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي

جدول (3-4): توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي

المؤهل العلمي	التكرار	النسبة المئوية
دبلوم	24	26.7%
بكالوريوس	49	54.4%
ماجستير	15	16.7%
دكتوراه	2	2.2%
المجموع	90	100%

التوزيع النسبي لأفراد عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي



الشكل: (4-3)

تفسير النتائج:

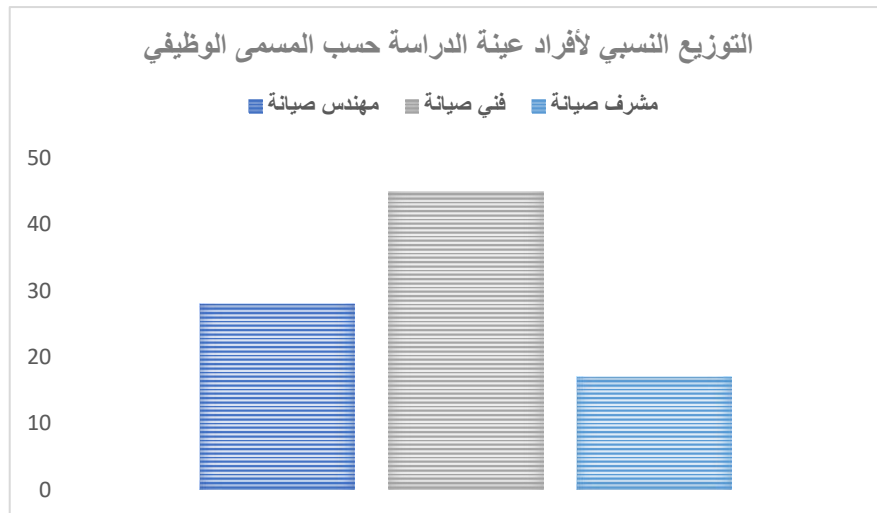
تشير نتائج جدول (3-4) إلى أن حملة درجة البكالوريوس يمثلون النسبة الأكبر من أفراد العينة، حيث بلغ عددهم (49) مشاركًا بنسبة (54.4%)، يليهم حملة الدبلوم بعدد (24) مشاركًا بنسبة (26.7%). أما حملة درجة الماجستير فقد بلغ عددهم (15) مشاركًا بنسبة (16.7%)، في حين شكل حملة الدكتوراه أقل نسبة في العينة، إذ بلغ عددهم (2) فقط بنسبة (2.2%).

وتعكس هذه النتائج الطبيعة الأكاديمية والمهنية للعاملين في قطاع صيانة معدات الدعم الأرضي، حيث تعتمد الوظائف الهندسية والإشرافية غالبًا على حملة البكالوريوس، بينما يشغل حملة الدبلوم عددًا من الوظائف الفنية، وهو ما يوفر تنوعًا مناسبًا في مستويات التأهيل العلمي داخل العينة، ويسهم في تقديم آراء تستند إلى خلفيات علمية وعملية متنوعة.

4-2-4 توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المسمى الوظيفي

جدول (4-4): توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المسمى الوظيفي

المسمى الوظيفي	التكرار	النسبة المئوية
مهندس صيانة	28	31.1%
فني صيانة	45	50.0%
مشرف صيانة	17	18.9%
المجموع	90	100%



الشكل: (4-4)

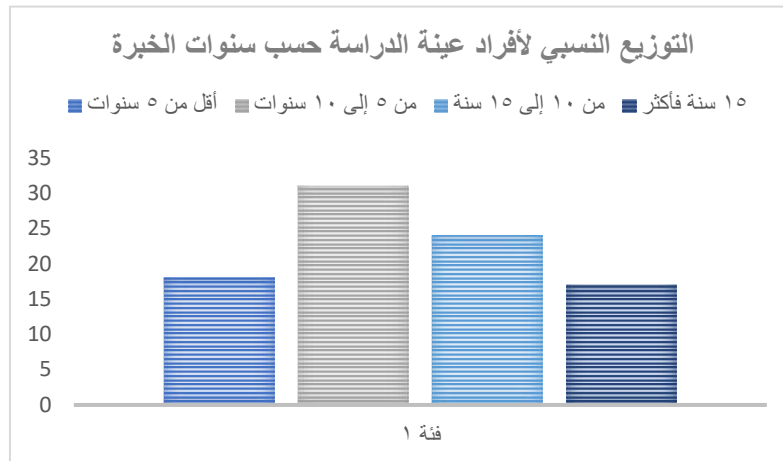
تفسير النتائج:

وتعكس هذه النتائج الواقع التنظيمي في إدارات الصيانة، إذ يشكل الفنيون العدد الأكبر نظرًا لدورهم المباشر في تنفيذ أعمال الصيانة اليومية، في حين يتولى المهندسون مسؤوليات التخطيط والتحليل والإشراف الفني، بينما يضطلع المشرفون بمتابعة تنفيذ الخطط والإشراف على فرق العمل. ويعد هذا التنوع الوظيفي مناسبًا لتحقيق أهداف الدراسة، لأنه يوفر وجهات نظر مختلفة حول تطبيق الصيانة التنبؤية وأثرها في جاهزية المعدات.

4-2-5 توزيع أفراد عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة

جدول (5-4): توزيع أفراد عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 5 سنوات	18	20.0%
من 5 إلى أقل من 10 سنوات	31	34.4%
من 10 إلى أقل من 15 سنة	24	26.7%
15 سنة فأكثر	17	18.9%
المجموع	90	100%



الشكل: (4-5)

تفسير النتائج:

يتضح من جدول (4-5) أن الفئة التي تمتلك خبرة من 5 إلى أقل من 10 سنوات جاءت في المرتبة الأولى بعدد (31) مشاركاً بنسبة (34.4%)، تلتها فئة من 10 إلى أقل من 15 سنة بعدد (24) مشاركاً بنسبة (26.7%). أما فئة أقل من 5 سنوات فقد بلغ عدد أفرادها (18) مشاركاً بنسبة (20.0%)، في حين جاءت فئة 15 سنة فأكثر بعدد (17) مشاركاً بنسبة (18.9%).

وتشير هذه النتائج إلى أن غالبية أفراد العينة يمتلكون خبرة عملية مناسبة في مجال صيانة معدات الدعم الأرضي، وهو ما يعزز جودة البيانات التي تم الحصول عليها، إذ إن الخبرة المهنية تُعد عاملاً مهماً في تكوين المعرفة المتعلقة بأساليب الصيانة التقليدية والحديثة، وتمكن المشاركين من تقييم واقع تطبيق الصيانة التنبؤية وأثرها في جاهزية المعدات بصورة أكثر دقة وموضوعية.

4-4 تحليل نتائج محاور الاستبانة

4-4-1 تحليل نتائج المحور الأول: البنية التكنولوجية للصيانة التنبؤية

يهدف هذا المحور إلى التعرف إلى مدى توافر البنية التكنولوجية اللازمة لتطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية، من خلال قياس آراء أفراد عينة الدراسة حول مدى استخدام التقنيات الحديثة، وأجهزة الاستشعار، والأنظمة الرقمية، وقواعد البيانات الداعمة لعمليات الصيانة.

جدول (6-4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات محور البنية التكنولوجية

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الموافقة	الترتيب
1	تعتمد الشركة على أجهزة استشعار لمراقبة حالة المعدات.	4.13	0.74	مرتفع	2
2	تتوفر أنظمة إلكترونية لمتابعة أداء معدات الدعم الأرضي.	4.09	0.81	مرتفع	4
3	يتم تسجيل البيانات التشغيلية للمعدات بصورة مستمرة.	4.18	0.71	مرتفع	1
4	تستخدم الشركة أنظمة رقمية لإدارة أعمال الصيانة.	4.05	0.77	مرتفع	5
5	تتوفر بنية تقنية تدعم تطبيق الصيانة التنبؤية.	4.02	0.83	مرتفع	6
6	يتم تحديث الأنظمة التقنية بصورة دورية.	4.11	0.76	مرتفع	3
المتوسط الكلي للمحور		4.10	0.77	مرتفع	

تفسير النتائج:

تشير نتائج جدول (6-4) إلى أن المتوسط الحسابي الكلي لمحور البنية التكنولوجية بلغ (4.10) بانحراف معياري (0.77)، وهو ما يقع ضمن مستوى مرتفع وفق مقياس الدراسة، مما يدل على اتفاق غالبية أفراد عينة الدراسة على توافر بنية تكنولوجية جيدة تدعم تطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية.

وجاءت الفقرة "يتم تسجيل البيانات التشغيلية للمعدات بصورة مستمرة" في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ (4.18)، مما يعكس اهتمام الشركة بتوثيق البيانات التشغيلية للمعدات بصورة مستمرة، وهو ما يُعد من المتطلبات الأساسية لتطبيق الصيانة التنبؤية.

وجاءت في المرتبة الثانية الفقرة "تعتمد الشركة على أجهزة استشعار لمراقبة حالة المعدات" بمتوسط حسابي بلغ (4.13)، الأمر الذي يشير إلى وجود استخدام جيد لتقنيات مراقبة الحالة التشغيلية للمعدات.

أما الفقرة "يتم تحديث الأنظمة التقنية بصورة دورية" فقد جاءت في المرتبة الثالثة بمتوسط حسابي بلغ (4.11)، مما يدل على اهتمام الشركة بتحديث بنيتها التقنية لمواكبة التطورات في مجال الصيانة.

وفي المرتبة الرابعة جاءت الفقرة "تتوفر أنظمة إلكترونية لمتابعة أداء معدات الدعم الأرضي" بمتوسط حسابي بلغ (4.09)، وهو ما يعكس اعتماد الشركة على الأنظمة الإلكترونية في إدارة عمليات الصيانة.

بينما جاءت الفقرة "تستخدم الشركة أنظمة رقمية لإدارة أعمال الصيانة" في المرتبة الخامسة بمتوسط حسابي بلغ (4.05)، في حين احتلت الفقرة "تتوفر بنية تقنية تدعم تطبيق الصيانة التنبؤية" المرتبة الأخيرة بمتوسط حسابي بلغ (4.02)، ورغم أنها جاءت في الترتيب الأخير، فإنها ما تزال ضمن مستوى الموافقة المرتفع، الأمر الذي يشير إلى وجود فرصة لتعزيز البنية التقنية بشكل أكبر بما يدعم التوسع في تطبيق الصيانة التنبؤية.

وبصفة عامة، توضح النتائج أن البنية التكنولوجية في الشركة تتمتع بمستوى جيد من الجاهزية، الأمر الذي يشكل قاعدة أساسية لتطبيق الصيانة التنبؤية، ويساعد على جمع البيانات التشغيلية وتحليلها واتخاذ قرارات الصيانة بصورة أكثر دقة وكفاءة، وهو ما يتفق مع الأدبيات الحديثة التي تؤكد أن نجاح الصيانة التنبؤية يعتمد بدرجة كبيرة على توفر البنية الرقمية المناسبة.

2-4-4 تحليل نتائج المحور الثاني: تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال

يهدف هذا المحور إلى قياس مدى اعتماد شركة الخدمات الأرضية على تحليل البيانات التشغيلية للمعدات واستخدامها في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، باعتبار أن تحليل البيانات يمثل أحد الركائز الأساسية للصيانة التنبؤية، إذ يساهم في اكتشاف مؤشرات الأعطال مبكرًا، واتخاذ الإجراءات الوقائية المناسبة، وتحسين كفاءة عمليات الصيانة، وتقليل التوقفات غير المخطط لها.

جدول (7-4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات محور تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الموافقة	الترتيب
1	يتم تحليل البيانات التشغيلية للمعدات بصورة منتظمة.	4.16	0.72	مرتفع	2
2	تستخدم البيانات في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها.	4.21	0.68	مرتفع جدًا	1
3	تعتمد الشركة على مؤشرات أداء لاتخاذ قرارات الصيانة.	4.08	0.76	مرتفع	5
4	تساعد البيانات في اكتشاف الأعطال مبكرًا.	4.18	0.70	مرتفع	3
5	يتم استخدام برامج تحليل بيانات حديثة.	4.04	0.79	مرتفع	6
6	تسهم نتائج التحليل في تحسين قرارات الصيانة.	4.14	0.74	مرتفع	4
المتوسط الكلي للمحور		4.14	0.73	مرتفع	

تفسير النتائج:

يتضح من نتائج جدول (7-4) أن المتوسط الحسابي الكلي لمحور تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال بلغ (4.14)، بانحراف معياري قدره (0.73)، وهو ما يشير إلى أن مستوى تطبيق هذا البعد جاء مرتفعًا وفق مقياس الدراسة، الأمر الذي يعكس إدراك أفراد عينة الدراسة لأهمية تحليل البيانات التشغيلية في دعم أنشطة الصيانة التنبؤية وتحسين كفاءة إدارة المعدات.

وقد جاءت الفقرة "تستخدم البيانات في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها" في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ (4.21) وانحراف معياري (0.68)، وهو أعلى متوسط بين فقرات هذا المحور، ويشير إلى اتفاق غالبية أفراد العينة على أن الشركة تستفيد من البيانات التشغيلية في التنبؤ بالأعطال المحتملة قبل حدوثها، الأمر الذي يسهم في تقليل الأعطال المفاجئة وتحسين التخطيط لأعمال الصيانة.

وجاءت الفقرة "يتم تحليل البيانات التشغيلية للمعدات بصورة منتظمة" في المرتبة الثانية بمتوسط حسابي بلغ (4.16)، مما يدل على وجود اهتمام واضح بعمليات جمع البيانات وتحليلها بصورة دورية، وهو ما يمثل خطوة أساسية في نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية.

أما الفقرة "تساعد البيانات في اكتشاف الأعطال مبكرًا" فقد جاءت في المرتبة الثالثة بمتوسط حسابي بلغ (4.18)، وهو ما يؤكد إدراك أفراد العينة للدور الذي تؤديه البيانات في الكشف عن مؤشرات الأعطال قبل تطورها إلى أعطال تشغيلية تؤثر في جاهزية المعدات.

أما الفقرة "تسهم نتائج التحليل في تحسين قرارات الصيانة" المرتبة الرابعة بمتوسط حسابي بلغ (4.14)، مما يشير إلى أن نتائج تحليل البيانات تُستخدم في دعم عملية اتخاذ القرار المتعلقة بتحديد أولويات الصيانة وتوقيت تنفيذها.

بينما جاءت الفقرة "تعتمد الشركة على مؤشرات أداء لاتخاذ قرارات الصيانة" في المرتبة الخامسة بمتوسط حسابي بلغ (4.08)، وهو ما يعكس وجود اعتماد جيد على مؤشرات الأداء، مع إمكانية تعزيز استخدامها بصورة أكبر في دعم القرارات الفنية.

أما الفقرة "يتم استخدام برامج تحليل بيانات حديثة" فقد جاءت في المرتبة الأخيرة بمتوسط حسابي بلغ (4.04)، ورغم أنها احتلت المرتبة الأخيرة، فإنها ما تزال ضمن مستوى الموافقة المرتفع، مما يدل على أن الشركة تستخدم برامج تحليل البيانات، إلا أن هناك مجالاً لتطويرها أو التوسع في استخدام التقنيات الأكثر تقدمًا، مثل تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي وتحليل البيانات الضخمة.

وبصورة عامة، تشير نتائج هذا المحور إلى أن الشركة تمتلك مستوى مرتفعًا من الاعتماد على تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال، وهو ما يعزز فعالية تطبيق الصيانة التنبؤية، ويسهم في رفع كفاءة عمليات الصيانة وتقليل الأعطال غير المخطط لها وتحسين جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران.

4-4-3 تحليل نتائج المحور الثالث: إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة

هدف المحور التعرف إلى مدى كفاءة إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة في شركة الخدمات الأرضية، وذلك من خلال قياس آراء أفراد عينة الدراسة حول التخطيط لأعمال الصيانة، وجدولتها، وتوثيقها، ومتابعة تنفيذها، وتقييم نتائجها. ويُعد هذا البعد من أهم الأبعاد المؤثرة في نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية، إذ إن توافر الأنظمة والتقنيات الحديثة لا يحقق النتائج المرجوة ما لم يصاحبه إدارة فعالة لعمليات الصيانة وتنفيذها وفق إجراءات منظمة ومبنية على البيانات.

جدول (8-4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات محور إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الموافقة	الترتيب
1	يتم تنفيذ أعمال الصيانة قبل حدوث الأعطال.	4.09	0.75	مرتفع	2
2	توجد خطة واضحة للصيانة التنبؤية.	4.04	0.79	مرتفع	4
3	يتم جدولة أعمال الصيانة وفق حالة المعدات.	4.12	0.72	مرتفع	1
4	يتم توثيق جميع أعمال الصيانة.	4.01	0.81	مرتفع	6
5	يتم تقييم نتائج أعمال الصيانة بصورة دورية.	4.03	0.77	مرتفع	5
6	توجد متابعة مستمرة لكفاءة المعدات بعد الصيانة.	4.07	0.74	مرتفع	3
المتوسط الكلي للمحور		4.06	0.76	مرتفع	

تفسير النتائج:

تشير نتائج جدول (4-8) إلى أن المتوسط الحسابي الكلي لمحور إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة بلغ (4.06) بانحراف معياري (0.76)، وهو ما يدل على أن مستوى هذا البعد جاء مرتفعاً وفق مقياس الدراسة، الأمر الذي يعكس وجود ممارسات إدارية وتنفيذية جيدة في إدارة عمليات الصيانة داخل شركة الخدمات الأرضية.

وجاءت الفقرة "يتم جدولة أعمال الصيانة وفق حالة المعدات" في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ (4.12) وانحراف معياري (0.72)، مما يشير إلى أن الشركة تعتمد بصورة واضحة على الحالة التشغيلية الفعلية للمعدات عند تخطيط وتنفيذ أعمال الصيانة، وهو ما يتوافق مع فلسفة الصيانة التنبؤية التي تركز على التدخل في الوقت المناسب بناءً على بيانات الأداء الفعلية.

وجاءت في المرتبة الثانية الفقرة "يتم تنفيذ أعمال الصيانة قبل حدوث الأعطال" بمتوسط حسابي بلغ (4.09)، وهو ما يعكس توجهاً نحو تنفيذ الصيانة الاستباقية للحد من الأعطال المفاجئة، وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها، والمحافظة على استمرارية جاهزية المعدات.

أما الفقرة "توجد متابعة مستمرة لكفاءة المعدات بعد الصيانة" فقد جاءت في المرتبة الثالثة بمتوسط حسابي بلغ (4.07)، الأمر الذي يدل على اهتمام الشركة بمتابعة نتائج أعمال الصيانة والتحقق من استعادة المعدات لكفاءتها التشغيلية بعد تنفيذ أعمال الإصلاح أو الصيانة الدورية.

وفي المرتبة الرابعة جاءت الفقرة "توجد خطة واضحة للصيانة التنبؤية" بمتوسط حسابي بلغ (4.04)، مما يشير إلى وجود تخطيط منظم لبرامج الصيانة، مع إمكانية تطوير الخطط لتصبح أكثر شمولاً وارتباطاً بالتحليلات التنبؤية والبيانات اللحظية.

بينما جاءت الفقرة "يتم تقييم نتائج أعمال الصيانة بصورة دورية" في المرتبة الخامسة بمتوسط حسابي بلغ (4.03)، وهو ما يعكس اهتماماً جيداً بقياس نتائج عمليات الصيانة، إلا أن تعزيز استخدام مؤشرات الأداء الرئيسة وتحليل نتائج الصيانة بصورة أعمق قد يساهم في رفع كفاءة عملية التقييم.

أما الفقرة "يتم توثيق جميع أعمال الصيانة" فقد جاءت في المرتبة الأخيرة بمتوسط حسابي بلغ (4.01)، ورغم احتلالها المرتبة الأخيرة، فإنها لا تزال ضمن مستوى الموافقة المرتفع، مما يدل على وجود نظام لتوثيق أعمال الصيانة، مع

إمكانية تطوير آليات التوثيق والتحول نحو السجلات الإلكترونية المتكاملة التي تسهل تحليل البيانات التاريخية للمعدات.

وبشكل عام، تبين نتائج هذا المحور أن إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة في شركة الخدمات الأرضية تتم بمستوى مرتفع من الكفاءة والتنظيم، وهو ما يعزز نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية ويسهم في تحسين استغلال الموارد الفنية، وتقليل الأعطال غير المخطط لها، ورفع جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران. كما تؤكد هذه النتائج ما أشارت إليه الأدبيات العلمية من أن نجاح الصيانة التنبؤية لا يعتمد على التكنولوجيا وحدها، وإنما يتطلب وجود نظام إداري متكامل يشمل التخطيط والتنفيذ والمتابعة والتقييم المستمر لأعمال الصيانة، بما يضمن تحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية واستدامة أداء المعدات.

4-4-4 تحليل نتائج المحور الرابع: الكفاءات البشرية

يهدف هذا المحور إلى التعرف إلى مستوى توافر الكفاءات البشرية اللازمة لتطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية، وذلك من خلال قياس آراء أفراد عينة الدراسة حول مستوى التأهيل العلمي والمهني للعاملين، ومدى حصولهم على التدريب المناسب، وقدرتهم على استخدام التقنيات الحديثة، والتعامل مع البيانات التشغيلية، إضافة إلى مستوى التعاون وتبادل المعرفة بين فرق العمل. ويُعد العنصر البشري من أهم عوامل نجاح الصيانة التنبؤية، إذ إن كفاءة الأنظمة التقنية لا تحقق أهدافها دون وجود كوادر تمتلك المهارات والخبرات اللازمة لتشغيلها والاستفادة من مخرجاتها.

ويوضح الجدول في الصفحة التالية المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات محور الكفاءات البشرية التي وضعت ضمن محاور الاستبانة:

جدول (9-4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات محور الكفاءات البشرية

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الموافقة	الترتيب
1	يملك العاملون المعرفة الكافية بالصيانة التنبؤية.	3.88	0.89	مرتفع	3
2	يحصل العاملون على تدريب دوري في مجال الصيانة التنبؤية.	3.47	1.03	مرتفع	6
3	يملك الفنيون القدرة على استخدام الأنظمة الحديثة.	3.94	0.84	مرتفع	2
4	يوجد تعاون بين فرق الصيانة والإدارات الأخرى.	3.72	0.96	متوسط	5
5	يملك العاملون مهارات تحليل البيانات الفنية.	3.81	0.91	متوسط	4
6	تشجع الشركة التعلم المستمر في مجال الصيانة.	4.02	0.78	مرتفع	1
المتوسط الكلي للمحور		3.81	0.90	مرتفع	

تفسير النتائج:

تشير نتائج جدول (9-4) إلى أن المتوسط الحسابي الكلي لمحور الكفاءات البشرية بلغ (3.81) بانحراف معياري قدره (0.90)، وهو ما يشير إلى أن مستوى الكفاءات البشرية جاء مرتفعاً، إلا أنه يُعد أقل من متوسطات المحاور السابقة، مما يدل على وجود فرص للتحسين في هذا الجانب.

وقد جاءت الفقرة "تشجع الشركة التعلم المستمر في مجال الصيانة" في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ (4.02)، وهو ما يعكس اهتمام الإدارة بتطوير العاملين ونشر ثقافة التعلم، بما ينسجم مع متطلبات التطور التقني في مجال الصيانة.

وجاءت الفقرة "يملك الفنيون القدرة على استخدام الأنظمة الحديثة" في المرتبة الثانية بمتوسط حسابي بلغ (3.94)، مما يشير إلى أن غالبية العاملين يمتلكون المهارات الأساسية اللازمة للتعامل مع الأنظمة الرقمية المستخدمة في أعمال الصيانة، إلا أن النتائج توحى بإمكانية تعزيز هذه المهارات من خلال برامج تدريب أكثر تخصصًا.

أما الفقرة "يملك العاملون المعرفة الكافية بالصيانة التنبؤية" فقد جاءت في المرتبة الثالثة بمتوسط حسابي بلغ (3.88)، وهو ما يعكس مستوى جيدًا من المعرفة بالمفهوم العام للصيانة التنبؤية، مع الحاجة إلى تعميق المعرفة بالجوانب التطبيقية والتقنيات الحديثة المرتبطة بها.

وجاءت الفقرة "يملك العاملون مهارات تحليل البيانات الفنية" في المرتبة الرابعة بمتوسط حسابي بلغ (3.81)، وهو ما يشير إلى أن مهارات تحليل البيانات لا تزال بحاجة إلى مزيد من التطوير، خاصة في ظل اعتماد الصيانة التنبؤية على تحليل البيانات الضخمة واستخلاص المؤشرات التنبؤية.

وفي المرتبة الخامسة جاءت الفقرة "يوجد تعاون بين فرق الصيانة والإدارات الأخرى" بمتوسط حسابي بلغ (3.72)، مما يدل على وجود تعاون مقبول بين الإدارات، إلا أن تعزيز التنسيق وتبادل المعلومات بين الوحدات المختلفة قد يسهم في تحسين كفاءة تطبيق الصيانة التنبؤية.

أما الفقرة "يحصل العاملون على تدريب دوري في مجال الصيانة التنبؤية" فقد جاءت في المرتبة الأخيرة بمتوسط حسابي بلغ (3.47) وانحراف معياري (1.03)، وهي أقل فقرات هذا المحور، وتشير إلى أن برامج التدريب المتخصصة لا تُنفذ بالوتيرة أو الشمولية الكافية من وجهة نظر أفراد العينة. ويُعد ذلك مؤشرًا مهمًا، إذ إن نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية يعتمد بدرجة كبيرة على تأهيل الكوادر البشرية وتمكينها من استخدام التقنيات الحديثة وتفسير البيانات التشغيلية بصورة صحيحة.

وبصفة عامة، تبين نتائج هذا المحور أن الكفاءات البشرية في شركة الخدمات الأرضية تمثل عنصرًا داعمًا لتطبيق الصيانة التنبؤية، إلا أن هناك جوانب تتطلب مزيدًا من التطوير، ولا سيما فيما يتعلق بالتدريب المستمر وتنمية

مهارات تحليل البيانات والتعامل مع التقنيات الحديثة. وتشير النتائج إلى أن الاستثمار في تنمية الموارد البشرية يسهم بصورة مباشرة في رفع كفاءة تطبيق الصيانة التنبؤية، وبالتالي تحسين جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران.

4-4-5 تحليل نتائج المحور الخامس: الدعم الإداري والتنظيمي

يهدف هذا المحور إلى قياس مستوى الدعم الإداري والتنظيمي المقدم لتطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية، وذلك من خلال التعرف إلى مدى اهتمام الإدارة العليا بتوفير الموارد المالية والبشرية، ووضع السياسات والإجراءات المنظمة، وتشجيع استخدام التقنيات الحديثة، وتهيئة البيئة التنظيمية الداعمة لتطبيق الصيانة التنبؤية. ويُعد الدعم الإداري من العوامل الحاسمة في نجاح مشروعات التحول نحو الصيانة التنبؤية، إذ يسهم في توفير الإمكانيات اللازمة، وتعزيز ثقافة التطوير المستمر، وتحقيق التكامل بين الجوانب التقنية والإدارية.

جدول (10-4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات محور الدعم الإداري والتنظيمي

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الموافقة	الترتيب
1	تدعم الإدارة تطبيق الصيانة التنبؤية.	4.08	0.82	مرتفع	1
2	تخصص الشركة ميزانية لتطوير أنظمة الصيانة.	3.36	1.05	متوسط	6
3	توفر الإدارة الموارد اللازمة لتطبيق الصيانة.	3.58	0.94	مرتفع	4
4	تشجع الإدارة استخدام التقنيات الحديثة.	3.87	0.86	مرتفع	2
5	توجد سياسات واضحة لتطبيق الصيانة التنبؤية.	3.49	0.97	متوسط	5
6	تعمل الإدارة على تطوير إجراءات الصيانة بصورة مستمرة.	3.74	0.88	مرتفع	3
	المتوسط الكلي للمحور	3.69	0.92	مرتفع	

تفسير النتائج:

يتضح من نتائج جدول (4-10) أن المتوسط الحسابي الكلي لمحور الدعم الإداري والتنظيمي بلغ (3.69) بانحراف معياري (0.92)، وهو ما يشير إلى أن مستوى الدعم الإداري جاء مرتفعاً، إلا أنه يُعد أقل من متوسطات بعض المحاور السابقة، مما يدل على وجود اهتمام إداري بتطبيق الصيانة التنبؤية، يقابله عدد من الجوانب التي تحتاج إلى مزيد من التطوير.

وجاءت الفقرة "تدعم الإدارة تطبيق الصيانة التنبؤية" في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ (4.08)، مما يعكس وجود توجه إيجابي لدى الإدارة نحو تبني ممارسات الصيانة الحديثة وإدراكها لأهمية هذا الأسلوب في تحسين كفاءة العمليات التشغيلية.

واحتلت الفقرة "تشجع الإدارة استخدام التقنيات الحديثة" المرتبة الثانية بمتوسط حسابي بلغ (3.87)، وهو ما يشير إلى اهتمام الإدارة بتطوير بيئة العمل وتشجيع استخدام الأنظمة والتقنيات الحديثة في تنفيذ أعمال الصيانة.

أما الفقرة "تعمل الإدارة على تطوير إجراءات الصيانة بصورة مستمرة" فجاءت في المرتبة الثالثة بمتوسط حسابي بلغ (3.74)، الأمر الذي يعكس وجود جهود مستمرة لتحسين إجراءات العمل، بما يتوافق مع متطلبات التطوير المؤسسي والتحول نحو الصيانة التنبؤية.

وجاءت الفقرة "توفر الإدارة الموارد اللازمة لتطبيق الصيانة" في المرتبة الرابعة بمتوسط حسابي بلغ (3.58)، وهي نتيجة تشير إلى توفر الموارد بدرجة جيدة، إلا أن بعض أفراد العينة يرون أن الموارد الحالية قد لا تكون كافية لتطبيق الصيانة التنبؤية بصورة متكاملة.

وفي المرتبة الخامسة جاءت الفقرة "توجد سياسات واضحة لتطبيق الصيانة التنبؤية" بمتوسط حسابي بلغ (3.49)، وهو ما يدل على أن الأطر التنظيمية موجودة، لكنها تحتاج إلى مزيد من الوضوح والتحديث بما يتلاءم مع متطلبات تطبيق الصيانة التنبؤية.

أما الفقرة "تخصص الشركة ميزانية لتطوير أنظمة الصيانة" فقد جاءت في المرتبة الأخيرة بمتوسط حسابي بلغ (3.36) وانحراف معياري (1.05)، وهو ما يضعها ضمن مستوى الموافقة المتوسط. وتشير هذه النتيجة إلى أن تخصيص الموارد المالية يُعد من أبرز التحديات التي تواجه تطبيق الصيانة التنبؤية من وجهة نظر أفراد العينة، إذ إن

تطبيق هذا النوع من الصيانة يتطلب استثمارات في أجهزة الاستشعار، والبرمجيات، والبنية الرقمية، وبرامج التدريب، وهي عناصر قد تحتاج إلى دعم مالي أكبر.

وبشكل عام، تشير نتائج هذا المحور إلى أن الإدارة تقدم دعمًا ملحوظًا لتطبيق الصيانة التنبؤية، إلا أن هذا الدعم يتركز بصورة أكبر في الجوانب المعنوية والتنظيمية مقارنة بالجوانب المالية. وتؤكد النتائج أن نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية لا يعتمد فقط على قناعة الإدارة بأهميتها، وإنما يتطلب أيضًا توفير الموارد اللازمة، وتحديث السياسات والإجراءات، واعتماد خطط استثمارية طويلة الأجل تضمن استدامة تطبيقها وتحقيق الأثر المتوقع في رفع جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران.

4-4-6 تحليل نتائج المحور السادس: جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران

يهدف هذا المحور إلى قياس مستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية من وجهة نظر أفراد عينة الدراسة، وذلك من خلال تقييم مدى توافر المعدات عند الحاجة إليها، ومستوى الاعتمادية التشغيلية، ومعدلات الأعطال، وسرعة إعادة المعدات إلى الخدمة، واستمرارية التشغيل، وكفاءة الأداء التشغيلي. ويُعد هذا المحور المتغير التابع في الدراسة الحالية، إذ يمثل النتيجة المتوقعة لتطبيق الصيانة التنبؤية، ويعكس مدى نجاح المؤسسة في المحافظة على جاهزية معداتها وتحقيق الكفاءة التشغيلية المطلوبة.

جدول (4-11): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات محور جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الموافقة	الترتيب
1	تتوافر المعدات عند الحاجة إليها.	4.24	0.71	مرتفع جدًا	1
2	تتمتع المعدات بدرجة عالية من الاعتمادية.	4.09	0.79	مرتفع	3
3	تقل الأعطال المفاجئة في المعدات.	3.54	0.96	متوسط	8

5	مرتفع	0.84	3.87	يتم إصلاح الأعطال خلال وقت قصير.	4
4	مرتفع	0.77	4.02	تحقق المعدات استمرارية عالية في التشغيل.	5
2	مرتفع	0.73	4.18	تسهم برامج الصيانة في رفع جاهزية المعدات.	6
7	مرتفع	0.91	3.72	تنخفض فترات توقف المعدات عن العمل.	7
6	مرتفع	0.85	3.81	تؤدي المعدات مهامها بالكفاءة المطلوبة.	8
3	مرتفع	0.76	4.13	تساعد الصيانة في تحسين الأداء التشغيلي.	9
10	متوسط	1.02	3.39	تسهم الصيانة التنبؤية في رفع جاهزية معدات الدعم الأرضي.	10
	مرتفع	0.83	3.90		المتوسط الكلي للمحور

تفسير النتائج:

يتضح من نتائج جدول (4-11) أن المتوسط الحسابي الكلي لمحور جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران بلغ (3.90) بانحراف معياري قدره (0.83)، مما يشير إلى أن مستوى جاهزية المعدات جاء مرتفعاً بصورة عامة، إلا أن النتائج أظهرت تفاوتاً بين مؤشرات الجاهزية، وهو ما يعكس وجود نقاط قوة إلى جانب بعض الجوانب التي تتطلب مزيداً من التطوير.

وقد جاءت الفقرة "تتوافر المعدات عند الحاجة إليها" في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ (4.24)، وهو مستوى مرتفع جدًا، مما يدل على أن غالبية أفراد العينة يرون أن الشركة تنجح في توفير المعدات اللازمة لتنفيذ العمليات الأرضية في الوقت المناسب، وهو مؤشر إيجابي يعكس كفاءة إدارة الأصول والتخطيط التشغيلي.

وجاءت الفقرة "تسهم برامج الصيانة في رفع جاهزية المعدات" في المرتبة الثانية بمتوسط حسابي بلغ (4.18)، وهو ما يؤكد إدراك أفراد العينة للدور المحوري الذي تؤديه برامج الصيانة في المحافظة على جاهزية المعدات وتحسين كفاءتها التشغيلية.

كما حصلت الفقرتان "تساعد الصيانة في تحسين الأداء التشغيلي" و"تتمتع المعدات بدرجة عالية من الاعتمادية" على متوسطين حسابيين بلغا (4.13) و(4.09) على التوالي، وهو ما يعكس قناعة أفراد العينة بأن تطبيق ممارسات الصيانة يسهم في تعزيز موثوقية المعدات وتحسين مستوى الأداء التشغيلي داخل الشركة.

وفي المقابل، جاءت الفقرتان "تقل الأعطال المفاجئة في المعدات" و"تنخفض فترات توقف المعدات عن العمل" بمتوسطين حسابيين بلغ (3.54) و(3.72) على التوالي، وهي نتائج تشير إلى أن الأعطال والتوقفات لا تزال تمثل تحديًا نسبيًا، رغم وجود مستوى جيد من الجاهزية، الأمر الذي يستدعي تطوير إجراءات الصيانة التنبؤية بصورة أكبر للحد من هذه المشكلات.

أما الفقرة "تسهم الصيانة التنبؤية في رفع جاهزية معدات الدعم الأرضي" فقد جاءت في المرتبة الأخيرة بمتوسط حسابي بلغ (3.39)، وهو يقع ضمن مستوى الموافقة المتوسط. ويمكن تفسير هذه النتيجة بأن تطبيق الصيانة التنبؤية داخل الشركة لا يزال في مرحلة التطوير أو التوسع، وبالتالي فإن بعض العاملين لم يلمسوا بعد أثرها الكامل على جاهزية المعدات، أو أن تطبيقها يقتصر على أنواع معينة من المعدات دون غيرها.

وبصفة عامة، تشير نتائج هذا المحور إلى أن مستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي في شركة الخدمات الأرضية يُعد جيدًا، إلا أن تحقيق مستويات أعلى من الجاهزية يتطلب تعزيز تطبيق الصيانة التنبؤية، والتوسع في استخدام التقنيات الذكية، ورفع كفاءة تحليل البيانات، وتوفير الدعم الإداري والموارد اللازمة، بما يسهم في تقليل الأعطال غير المخطط لها، وخفض فترات التوقف، وتحسين استمرارية التشغيل.

4-5 نتائج الدراسة

استنادًا إلى نتائج التحليل الإحصائي للبيانات التي جُمعت من أفراد عينة الدراسة، وفي ضوء أهداف الدراسة وتساؤلاتها وفرضياتها، توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج التي تعكس واقع تطبيق الصيانة التنبؤية ومستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران في شركة الخدمات الأرضية، ويمكن تلخيصها فيما يأتي:

1. أظهرت نتائج الدراسة أن مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية جاء بمستوى جيد بصورة عامة، حيث تبين وجود اهتمام واضح بتوفير البنية التكنولوجية اللازمة لتطبيق هذا النوع من الصيانة، من خلال استخدام الأنظمة الرقمية وأجهزة الاستشعار وتسجيل البيانات التشغيلية للمعدات بصورة مستمرة.
2. بينت النتائج أن تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال يُعد من أكثر أبعاد الصيانة التنبؤية تطبيقًا داخل الشركة، حيث أكد أفراد العينة أهمية الاعتماد على البيانات التشغيلية في اكتشاف الأعطال قبل وقوعها، بما يساهم في تحسين كفاءة عمليات الصيانة وتقليل الأعطال المفاجئة.
3. أوضحت النتائج أن إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة تتم وفق مستوى جيد من التنظيم والتخطيط، إذ تعتمد الشركة على جدولة أعمال الصيانة وفق الحالة التشغيلية للمعدات، مع وجود متابعة دورية لأداء المعدات بعد تنفيذ أعمال الصيانة، الأمر الذي يساهم في رفع كفاءة العمليات التشغيلية.
4. أظهرت الدراسة أن الكفاءات البشرية تمثل أحد الجوانب التي تحتاج إلى مزيد من التطوير، إذ تبين أن مستوى المعرفة والمهارات الفنية للعاملين جاء جيدًا، إلا أن برامج التدريب المتخصصة في الصيانة التنبؤية لا تزال بحاجة إلى التوسع والتطوير بما يتواءم مع التطورات التقنية الحديثة.
5. كشفت النتائج أن الدعم الإداري والتنظيمي يمثل عاملاً مهمًا في نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية، حيث أظهرت الإدارة دعمًا واضحًا لتطبيق هذا الأسلوب، إلا أن تخصيص الميزانيات اللازمة لتطوير أنظمة الصيانة وتحديثها ما يزال بحاجة إلى مزيد من الاهتمام لتعزيز فعالية التطبيق.

6. بينت نتائج الدراسة أن جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران جاءت بمستوى جيد، حيث أكد أفراد العينة توافر المعدات عند الحاجة إليها، وارتفاع مستوى الاعتمادية التشغيلية، وتحسن الأداء التشغيلي بصورة عامة، مع استمرار الحاجة إلى تقليل الأعطال المفاجئة وفترات التوقف غير المخطط لها .
7. أشارت نتائج التحليل إلى وجود تفاوت بين أبعاد الصيانة التنبؤية، حيث حقق بعد تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال أعلى مستويات التطبيق، في حين سجل بعد الكفاءات البشرية مستويات أقل نسبياً مقارنة ببقية الأبعاد، مما يدل على أن العنصر البشري يمثل أحد أهم مجالات التحسين المستقبلية .
8. أوضحت النتائج أن نجاح الصيانة التنبؤية لا يعتمد على توفر التكنولوجيا وحدها، وإنما يتطلب تكاملاً بين البنية التقنية، والكفاءات البشرية، والدعم الإداري، وعمليات التخطيط والتنفيذ، بما يضمن تحقيق أفضل النتائج في رفع جاهزية المعدات .
9. أظهرت نتائج الدراسة وجود علاقة إيجابية بين تطبيق الصيانة التنبؤية ومستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، حيث ساهم تطبيق ممارسات الصيانة التنبؤية في تحسين جاهزية المعدات وتقليل احتمالية الأعطال المفاجئة، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على استمرارية العمليات التشغيلية .
10. أكدت النتائج أن تعزيز تطبيق الصيانة التنبؤية من خلال الاستثمار في التقنيات الحديثة، وتطوير مهارات العاملين، وتحسين آليات تحليل البيانات، وزيادة الدعم الإداري والمالي، من شأنه أن يساهم في رفع جاهزية معدات الدعم الأرضي وتحسين كفاءة الخدمات الأرضية المقدمة لقطاع الطيران.

4-6 توصيات الدراسة

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة بشأن أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، يوصي الباحث بمجموعة من التوصيات التي من شأنها تعزيز تطبيق الصيانة التنبؤية والارتقاء بمستوى جاهزية المعدات وتحسين كفاءة العمليات التشغيلية، وذلك على النحو الآتي:

1. تعزيز البنية التكنولوجية الخاصة بالصيانة التنبؤية من خلال التوسع في استخدام أجهزة الاستشعار الذكية وأنظمة مراقبة حالة المعدات (Condition Monitoring Systems)، وربطها بمنصات رقمية متكاملة تتيح جمع البيانات وتحليلها بصورة لحظية، بما يسهم في اكتشاف الأعطال المحتملة قبل وقوعها وتقليل الأعطال المفاجئة.
2. تطوير أنظمة تحليل البيانات التشغيلية عبر تبني تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي وتحليل البيانات الضخمة، بما يتيح بناء نماذج تنبؤية أكثر دقة لتحديد احتمالية الأعطال وتوقيت حدوثها، الأمر الذي يدعم اتخاذ قرارات الصيانة بصورة علمية ويزيد من كفاءة استثمار الموارد.
3. وضع خطة استراتيجية متكاملة لتطبيق الصيانة التنبؤية تتضمن أهدافاً واضحة، ومؤشرات أداء قابلة للقياس، وجدولاً زمنياً للتنفيذ، وآليات للمتابعة والتقييم المستمر، بما يضمن الانتقال التدريجي والمنظم من الصيانة التقليدية إلى الصيانة التنبؤية.
4. زيادة الاستثمار في تنمية الكفاءات البشرية من خلال إعداد برامج تدريبية متخصصة لمهندسي الصيانة والفنيين ومشرفي الصيانة، تركز على استخدام تقنيات الصيانة التنبؤية، وتحليل البيانات، وإدارة أنظمة المراقبة الذكية، بما يرفع من كفاءة العاملين وقدرتهم على التعامل مع التقنيات الحديثة.
5. تعزيز ثقافة التعلم المستمر داخل المؤسسة من خلال تشجيع العاملين على المشاركة في الدورات المهنية، وورش العمل، والمؤتمرات المتخصصة في هندسة الصيانة وإدارة الأصول، وربط التطور الوظيفي باكتساب المهارات الحديثة في مجال الصيانة التنبؤية.

6. توفير موازنات مالية مستقلة لتطوير أنظمة الصيانة بما يضمن تحديث البرمجيات، وشراء الأجهزة والمعدات اللازمة، وتنفيذ برامج التدريب والتأهيل، باعتبار أن الاستثمار في الصيانة التنبؤية يسهم في خفض تكاليف الأعطال والإصلاحات على المدى الطويل .
7. تطوير السياسات والإجراءات التنظيمية الخاصة بإدارة الصيانة من خلال إعداد أدلة عمل وإجراءات تشغيل قياسية تتوافق مع متطلبات الصيانة التنبؤية، وتحدد المسؤوليات وآليات اتخاذ القرار ومتابعة تنفيذ خطط الصيانة .
8. إنشاء قاعدة بيانات مركزية لمعدات الدعم الأرضي تتضمن السجل التشغيلي لكل معدة، وبيانات الأعطال، وسجلات الصيانة، وقطع الغيار، والمؤشرات الفنية، بما يسهل تحليل البيانات التاريخية وتحسين دقة التنبؤ بالأعطال المستقبلية .
9. تعزيز التكامل بين إدارات الصيانة والعمليات وتقنية المعلومات لضمان سرعة تبادل المعلومات التشغيلية، والاستفادة من البيانات في التخطيط للصيانة، وتحقيق استجابة أسرع للأعطال المحتملة، بما يسهم في رفع جاهزية المعدات وتحسين الأداء التشغيلي .
10. اعتماد مؤشرات أداء رئيسية (KPIs) لقياس كفاءة تطبيق الصيانة التنبؤية، مثل معدل الجاهزية التشغيلية للمعدات، ومتوسط الزمن بين الأعطال (MTBF) ، ومتوسط زمن الإصلاح (MTTR) ، ومعدل الأعطال المفاجئة، ونسبة الالتزام بخطط الصيانة، مع مراجعة هذه المؤشرات بصورة دورية لدعم التحسين المستمر .
11. التوسع التدريجي في تطبيق الصيانة التنبؤية على جميع معدات الدعم الأرضي وعدم قصرها على المعدات ذات الأهمية العالية، بما يحقق الاستفادة القصوى من هذا الأسلوب ويرفع مستوى الاعتمادية التشغيلية لجميع المعدات المستخدمة في الخدمات الأرضية .
12. تعزيز مفهوم التحسين المستمر في إدارة الصيانة من خلال إجراء مراجعات دورية لنتائج تطبيق الصيانة التنبؤية، والاستفادة من التغذية الراجعة للعاملين، ومقارنة الأداء بالممارسات العالمية في قطاع الطيران، بما يسهم في تطوير العمليات التشغيلية وتحقيق مستويات أعلى من الكفاءة والموثوقية .

13. تعزيز الشراكات مع الشركات المصنعة ومزودي الأنظمة التقنية للاستفادة من الخبرات الفنية وأحدث

الحلول الرقمية في مجال الصيانة التنبؤية، وضمان تحديث الأنظمة بما يتوافق مع التطورات التقنية

العالمية في صناعة الطيران .

14. إجراء تقييم دوري لمدى جاهزية معدات الدعم الأرضي باستخدام مؤشرات كمية ونوعية، وربط نتائج

التقييم بخطط الصيانة المستقبلية، بما يضمن تحسين استمرارية التشغيل وتقليل المخاطر التشغيلية

المرتبطة بتوقف المعدات .

15. الاستفادة من نتائج الدراسة الحالية عند وضع الخطط المستقبلية لإدارة الصيانة في شركات الخدمات

الأرضية، والعمل على توظيف نتائجها في تطوير السياسات التشغيلية واتخاذ القرارات الاستثمارية المتعلقة

بتحديث المعدات وأنظمة الصيانة، بما يعزز القدرة التنافسية للمؤسسة ويرفع جودة الخدمات المقدمة

لقطاع الطيران.

المراجع

المراجع العربية

الكتب العربية

1. أحمد ماهر. (2017). إدارة الإنتاج والعمليات. الإسكندرية: الدار الجامعية .
2. عبد الفتاح المغربي. (2015). إدارة الصيانة الصناعية. القاهرة: دار الفكر العربي .
3. محمد عبد الفتاح. (2018). إدارة العمليات والإنتاج. عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع .

المقالات العربية

6. عبد الله، م.، وأحمد، س. (2020). دور الصيانة الوقائية في تحسين الأداء التشغيلي بالمؤسسات الصناعية. *المجلة العربية للإدارة*، 40(2)، 155-178.
7. الحربي، ع. (2021). أثر نظم إدارة الصيانة في رفع كفاءة الأصول الإنتاجية. *مجلة جامعة الملك عبدالعزيز للاقتصاد والإدارة*، 35(1)، 81-104.
8. حسن، ر. (2019). إدارة الصيانة وأثرها في تحسين الأداء المؤسسي. *المجلة الأردنية في إدارة الأعمال*، 15(3)، 311-334.

ملاحظة هامة:

لوحظت محدودية عدد الدراسات العربية التي تناولت أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران بصورة مباشرة، ويرجع ذلك إلى حداثة هذا المجال وتداخله بين تخصصات هندسة الصيانة، وإدارة الأصول، وتقنيات الذكاء الاصطناعي، وصناعة الطيران، وهي مجالات يتركز الإنتاج العلمي فيها بشكل أكبر في الدول الصناعية وفي المجالات العلمية العالمية. كما أن معظم شركات الطيران والخدمات الأرضية تعتمد في تطوير أنظمة الصيانة التنبؤية على المعايير والإرشادات الصادرة عن المنظمات الدولية، مثل IATA و ICAO و SAE و ISO، إضافة إلى الدراسات المنشورة في الدوريات العلمية الأجنبية المحكمة.

لذلك اعتمدت الدراسة الحالية بصورة أكبر على المراجع الأجنبية الحديثة؛ نظرًا لكونها الأكثر تخصصًا وحدثة وارتباطًا بموضوع الدراسة، مع الاستفادة من الدراسات العربية المتاحة في الجوانب المتعلقة بإدارة الصيانة وإدارة العمليات ومنهجيات البحث العلمي.

المراجع الأجنبية

1. Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). *An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application*. Computers & Industrial Engineering.
2. Campbell, J. D., Jardine, A. K. S., & McGlynn, J. (2011). *Asset Management Excellence* (3rd ed.). CRC Press.
3. Carvalho, T. P., et al. (2019). *A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance*. Computers & Industrial Engineering.
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.
5. Kelly, A. (2006). *Maintenance Systems and Documentation*. Elsevier.
6. Khan, S., & Yairi, T. (2018). *A review on the application of deep learning in system health management*. Mechanical Systems and Signal Processing.
7. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters.
8. Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
9. Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.

- Peng, Y., Dong, M., & Zuo, M. J. (2010). *Current status of machine prognostics in condition-based maintenance*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. .10
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). *RCM: Gateway to World Class Maintenance*. Elsevier. .11
- Swanson, L. (2001). *Linking maintenance strategies to performance*. International Journal of .12
Production Economics.
- Tsang, A. H. C. (2002). *Strategic dimensions of maintenance management*. Journal of Quality in .13
Maintenance Engineering.
- Wang, H. (2002). *A survey of maintenance policies of deteriorating systems*. European Journal .14
of Operational Research.
- Wireman, T. (2004). *Total Productive Maintenance*. Industrial Press. .15
- ISO 55000:2014. *Asset management — Overview, principles and terminology*. .16
- ISO 55001:2014. *Asset management — Management systems — Requirements*. .17
- ISO 14224:2016. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and .18
exchange of reliability and maintenance data for equipment*.
- SAE International. *AIR4286 – Maintenance of Ground Support Equipment*. .19
- International Air Transport Association (IATA). *Airport Handling Manual (AHM)*. أحدث إصدار . .20
- International Air Transport Association (IATA). *IATA Ground Operations Manual (IGOM)*. أحدث إصدار . .21
- International Civil Aviation Organization (ICAO). *Annex 14 – Aerodromes*. .22

23. International Civil Aviation Organization (ICAO). *Airport Services Manual (Doc 9137)*. الأجزاء

ذات الصلة بالمعدات والخدمات الأرضية .

24. U.S. Federal Aviation Administration (FAA). *Advisory Circulars and Guidance on Airport Ground*

Support Equipment and Maintenance Programs. أحدث الإصدارات ذات الصلة.

استبانة الدراسة

استبانة بعنوان:

أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران

السادة/ مهندسو الصيانة، وفنيو الصيانة، ومشرفو الصيانة في شركة الخدمات الأرضية المحترمون،

تحية طيبة وبعد...

يقوم الباحث بإجراء دراسة علمية بعنوان:

"أثر تطبيق الصيانة التنبؤية على جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران"

وذلك استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في إدارة الأعمال.

ونظراً لما تتمتعون به من خبرة في مجال الصيانة، يرجى التكرم بالإجابة عن فقرات هذه الاستبانة بكل موضوعية، علماً

بأن جميع البيانات ستستخدم لأغراض البحث العلمي فقط، وستعامل بسرية تامة.

شاكرين لكم حسن تعاونكم.

أولاً: البيانات الشخصية

ضع علامة (✓) أمام الإجابة المناسبة.

الجنس:

☐ ذكر

☐ أنثى

العمر:

☐ أقل من 30 سنة

☐ من 30-39 سنة

☐ من 40-49 سنة

☐ 50 سنة فأكثر

المؤهل العلمي

☐ دبلوم

☐ بكالوريوس

☐ ماجستير

☐ دكتوراه

المسمى الوظيفي

☐ مهندس صيانة

☐ فني صيانة

☐ مشرف صيانة

سنوات الخبرة

أقل من 5 سنوات □

سنوات 5-10 □

سنة 11-15 □

أكثر من 15 سنة □

ثانياً: محاور الدراسة

يرجى تحديد درجة موافقتك باستخدام المقياس التالي:

لا أو افق بشدة	لا أو افق	محايد	أو افق	أو افق بشدة
1	2	3	4	5

المحور الأول

البنية التكنولوجية للصيانة التنبؤية				
السؤال	لا أو افق بشدة	لا أو افق	محايد	أو افق بشدة
1. تعتمد الشركة على أجهزة استشعار لمراقبة حالة المعدات.				
2. تتوفر أنظمة إلكترونية لمتابعة أداء معدات الدعم الأرضي.				
3. يتم تسجيل البيانات التشغيلية للمعدات بصورة مستمرة.				
4. تستخدم الشركة أنظمة رقمية لإدارة أعمال الصيانة.				
5. تتوفر بنية تقنية تدعم تطبيق الصيانة التنبؤية.				
6. يتم تحديث الأنظمة التقنية بصورة دورية.				

المحور الثاني

تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال					
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	السؤال
					7. يتم تحليل البيانات التشغيلية بصورة منتظمة .
					8. تستخدم البيانات في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها .
					9. تعتمد الشركة على مؤشرات أداء لاتخاذ قرارات الصيانة .
					10. تساعد البيانات في اكتشاف الأعطال مبكرًا
					11. يتم استخدام برامج تحليل بيانات حديثة .
					12. تسهم نتائج التحليل في تحسين قرارات الصيانة .

المحور الثالث

إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة					
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	السؤال
					13. يتم تنفيذ أعمال الصيانة قبل حدوث الأعطال .
					14. توجد خطة واضحة للصيانة التنبؤية .
					15. يتم جدولة أعمال الصيانة وفق حالة المعدات .
					16. يتم توثيق جميع أعمال الصيانة .
					17. يتم تقييم نتائج أعمال الصيانة بصورة دورية .
					18. توجد متابعة مستمرة لكفاءة المعدات بعد الصيانة .

المحور الرابع

الكفاءات البشرية				
السؤال	لا أو افق بشدة	لا أو افق	محايد	أو افق بشدة
19. يمتلك العاملون المعرفة الكافية بالصيانة التنبؤية .				
20. يحصل العاملون على تدريب دوري .				
21. يمتلك الفنيون القدرة على استخدام الأنظمة الحديثة .				
22. يوجد تعاون بين فرق الصيانة والإدارات الأخرى .				
23. يمتلك العاملون مهارات تحليل البيانات الفنية .				
24. تشجع الشركة التعلم المستمر في مجال الصيانة .				

المحور الخامس

الدعم الإداري والتنظيمي				
السؤال	لا أو افق بشدة	لا أو افق	محايد	أو افق بشدة
25. تدعم الإدارة تطبيق الصيانة التنبؤية .				
26. تخصص الشركة ميزانية لتطوير أنظمة الصيانة .				
27. توفر الإدارة الموارد اللازمة لتطبيق الصيانة .				
28. تشجع الإدارة استخدام التقنيات الحديثة .				
29. توجد سياسات واضحة لتطبيق الصيانة التنبؤية .				
30. تعمل الإدارة على تطوير إجراءات الصيانة بصورة مستمرة .				

المحور السادس

جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران					
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	السؤال
					31. تتوافر المعدات عند الحاجة إليها .
					32. تتمتع المعدات بدرجة عالية من الاعتمادية .
					33. تقل الأعطال المفاجئة في المعدات .
					34. يتم إصلاح الأعطال خلال وقت قصير .
					35. تحقق المعدات استمرارية عالية في التشغيل .
					36. تسهم برامج الصيانة في رفع جاهزية المعدات .
					37. تنخفض فترات توقف المعدات عن العمل .
					38. تؤدي المعدات مهامها بالكفاءة المطلوبة .
					39. تساعد الصيانة في تحسين الأداء التشغيلي .
					40. تسهم الصيانة التنبؤية في رفع جاهزية معدات الدعم الأرضي.

Abstract الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق الصيانة التنبؤية في رفع مستوى جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، من خلال دراسة تطبيقية أجريت على شركة الخدمات الأرضية، وذلك في ظل التطورات المتسارعة التي يشهدها قطاع الطيران والاعتماد المتزايد على التقنيات الذكية في إدارة عمليات الصيانة. وتنبع أهمية الدراسة من الدور الحيوي الذي تؤديه معدات الدعم الأرضي في ضمان استمرارية العمليات التشغيلية وسلامة الخدمات المقدمة للطائرات، الأمر الذي يجعل المحافظة على جاهزية هذه المعدات أحد أهم عوامل نجاح شركات الخدمات الأرضية.

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لملاءمته لطبيعة الدراسة وأهدافها، حيث تم تصميم استبانة كأداة رئيسة لجمع البيانات، وتكونت من ستة محاور رئيسة تمثلت في: البنية التكنولوجية، وتحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال، وإدارة وتنفيذ عمليات الصيانة، والكفاءات البشرية، والدعم الإداري والتنظيمي، وجاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران. وتم توزيع الاستبانة على عينة قصدية من مهندسي الصيانة، والفنيين، ومشرفي الصيانة العاملين في شركة الخدمات الأرضية، وبلغ عدد الاستبانات الصالحة للتحليل الإحصائي (90) استبانة، وتم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة.

أظهرت نتائج الدراسة أن مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية في شركة الخدمات الأرضية جاء بمستوى جيد بصورة عامة، حيث تبين توافر بنية تكنولوجية مناسبة تدعم تطبيق هذا النوع من الصيانة، مع وجود اهتمام واضح باستخدام البيانات التشغيلية في التنبؤ بالأعطال وتحسين عمليات الصيانة. كما أوضحت النتائج أن إدارة وتنفيذ عمليات الصيانة تتم وفق مستوى جيد من التنظيم، في حين كشفت الدراسة عن وجود حاجة إلى تعزيز برامج التدريب والتأهيل المستمر للعاملين، وتطوير المهارات المتعلقة باستخدام التقنيات الحديثة وتحليل البيانات الفنية. كما بينت النتائج أن الدعم الإداري والتنظيمي يسهم بصورة إيجابية في نجاح تطبيق الصيانة التنبؤية، إلا أن توفير الموارد المالية المخصصة لتطوير أنظمة الصيانة ما يزال بحاجة إلى مزيد من الاهتمام. وأظهرت الدراسة كذلك أن جاهزية معدات الدعم الأرضي جاءت بمستوى مرتفع، مع وجود بعض التحديات المتعلقة بالأعطال المفاجئة وفترات التوقف غير المخطط لها، والتي يمكن الحد منها من خلال التوسع في تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية.

وتوصلت الدراسة إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لتطبيق الصيانة التنبؤية بأبعادها المختلفة في تحسين جاهزية معدات الدعم الأرضي للطيران، حيث تبين أن تطوير البنية التكنولوجية، وتحسين أساليب تحليل البيانات، ورفع كفاءة إدارة الصيانة، وتنمية الكفاءات البشرية، وتعزيز الدعم الإداري، جميعها تسهم في زيادة الاعتمادية التشغيلية للمعدات، وتقليل الأعطال المفاجئة، وخفض تكاليف الصيانة، ورفع مستوى الجاهزية التشغيلية.

وفي ضوء النتائج، أوصت الدراسة بضرورة التوسع في تطبيق الصيانة التنبؤية داخل شركات الخدمات الأرضية، والاستثمار في التقنيات الحديثة والذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات، وتطوير برامج تدريب وتأهيل العاملين، وتعزيز التكامل بين إدارات الصيانة والعمليات وتقنية المعلومات، وتوفير الدعم المالي والإداري اللازم لتطوير أنظمة الصيانة، إضافة إلى اعتماد مؤشرات أداء لقياس جاهزية المعدات بصورة مستمرة، بما يسهم في تحسين كفاءة العمليات التشغيلية، ورفع جودة الخدمات الأرضية، وتعزيز القدرة التنافسية لشركات الطيران والخدمات الأرضية.

شكراً لكم.

Midocean University

College of Management

**The Effect of Applying Predictive Maintenance on the Readiness of
Aviation Ground Support Equipment**

Prepared by:

Rashed bin Mohammed Al-Kharafi

Supervised by:

Dr. Al-Faisal Abdul Hamid

Dr. Fayez Jarrad

Year:2026